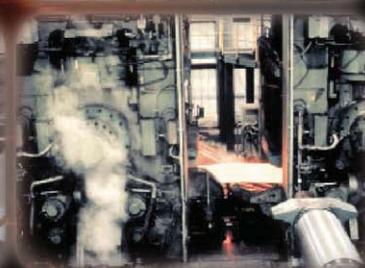




Hardi Sudjana

# TEKNIK PENGECORAN LOGAM



untuk  
Sekolah Menengah Kejuruan

## JILID 3



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan  
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah  
Departemen Pendidikan Nasional

TEKNIK PENGECORAN LOGAM JILID 3

untuk SMK

Hardi Sudjana

Hardi Sudjana

# TEKNIK PENGECORAN JILID 3

**SMK**



**Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan**  
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah  
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional  
Dilindungi Undang-undang

# TEKNIK PENGECORAN JILID 3

Untuk SMK

Penulis Utama : Hardi Sudjana

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

SUD t	SUDJANA, Hardi Teknik Pengecoran Jilid 3 untuk SMK/oleh Hardi Sudjana -- -- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008. xvi. 143 hlm Daftar Pustaka : A1 Glosarium : B1-B8 ISBN : 978-979-060-122-2 978-979-060-125-3
----------	---

Diterbitkan oleh  
**Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan**  
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah  
Departemen Pendidikan Nasional  
Tahun 2008

## KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, telah melaksanakan kegiatan penulisan buku kejuruan sebagai bentuk dari kegiatan pembelian hak cipta buku teks pelajaran kejuruan bagi siswa SMK. Karena buku-buku pelajaran kejuruan sangat sulit di dapatkan di pasaran.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK dan telah dinyatakan memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkan *soft copy* ini diharapkan akan lebih memudahkan bagi masyarakat khususnya para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada d luar negeri untuk mengakses dan memanfaatkannya sebagai sumber belajar.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para peserta didik kami ucapkan selamat belajar dan semoga dapat memanfaatkan buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, 17 Agustus 2008  
Direktur Pembinaan SMK

## Kata Pengantar

Pengecoran logam merupakan salah satu metoda pembentukan benda kerja atau bahan baku benda kerja yang telah sejak lama dilakukan bahkan jauh sebelum berkembangnya Ilmu pengetahuan dan teknologi sebagaimana bukti-bukti yang ditemukan oleh archaeologist berupa benda kuno seperti koin-koin emas, perak dan perunggu dalam bentuk tiga dimensi dibuat melalui proses pengecoran, artinya paling tidak proses pengecoran sudah dilakukan sejak berkembangnya peradaban manusia.

Dalam berbagai hal benda-benda kerja yang dibentuk melalui proses pengecoran memiliki keunggulan baik sifat maupun efisiensinya pembentukannya, bahkan tidak dimiliki oleh bahan yang dibentuk dengan cara lain, misalnya pada besi/baja tempa, dimana benda-benda tuangan (hasil pengecoran) sifat-sifatnya dapat ditentukan oleh formulasi campuran dan dapat diperbaiki menurut kebutuhan kita, bentuk dan dimensinya dapat dibentuk melalui pengecoran ini, misalnya rongga-rongga, saluran-saluran dan lain-lain yang mungkin tidak dapat dilakukan dengan cara lain, dengan demikian benda tuangan berkembang sejalan dengan modernisasi teknologi itu sendiri hal ini dikarenakan benda tuangan memiliki keunggulan dan dapat diterima diberbagai jenis produk, seperti permesinan, automotif, listrik dan elektronik, konstruksi/ bangunan gedung, asesoris dan lain-lain. Namun demikian jika kita lihat industri manufaktur yang bergerak dibidang pengecoran ini jumlahnya masih relative kecil dengan kualitas produknya pun masih rendah walaupun ada produk dengan kualitas tinggi tetapi masih dengan teknologi luar negeri. Hal ini menjadi tantangan bagi kita semua agar dapat berkompetisi dengan bangsa lain terutama dalam era globalisasi seperti sekarang ini.

Buku teks ini merupakan salah satu upaya pemerintah untuk mengejar ketertinggalan sebagaimana disebutkan yang diharapkan menjadi bahan rujukan sebagai dasar pengembangan teknik pengecoran di SMK untuk dikembangkan dan disempurnakan melalui temuan-temuan dalam praktik di sekolah serta memotivasi pelaku-pelaku pendidikan di sekolah khususnya guru praktik untuk senantiasa mengembangkan materi bahan ajar sesuai dengan bidangnya, memberikan kritik dan saran untuk menyempurnakan dan melengkapi buku teks ini agar dapat membekali peserta didik secara optimal.

Akhirnya penulis berharap mudah-mudahan buku teks ini ada guna dan manfaatnya dalam pengembangan teknologi khususnya dibidang pengecoran logam dan pendidikan teknologi pada umumnya.

Penulis,

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
KATA PENGANTAR DIREKTUR PEMBINAAN SMK.....	ii
DAFTAR ISI .....	iii
ABSTRAKSI .....	vii
SINOPSIS .....	x
ANALISIS URUTAN LOGIS STANDAR KOMPETENSI.....	xiii
DIAGRAM PENCAPAIAN.....	xvi
<b>BUKU JILID 1</b>	
<b>BAB I MENGENAL MACAM-MACAM BAHAN TEKNIK (ENGINEERING MATERIAL)</b>	<b>1</b>
Bahan-bahan Teknik ( <i>Materials for Engineering</i> ) dan cara pemilihannya.....	1
A. <i>Bahan alam</i> .....	2
B. <i>Bahan-bahan tiruan (synthetic materials)</i> .....	2
C. Pemakaian secara umum dari bahan-bahan plastic..	6
D. Macam-macam bahan logam (materials metals) Bahan-bahan Logam yang digunakan secara umum	8
E. Bahan-bahan Logam Non-Ferro (Non-Ferrous Metals) .....	10
F. Sifat dan berbagai karakteristik dari beberapa logam non-Ferro.....	12
G. Macam-macam Paduan dari logam non-Ferro (Non- Ferrous Alloys) .....	26
H. Pembentukan larutan.....	53
I. Daftar Istilah dan penamaan yang digunakan dalam British Standard for Aluminium Alloys.....	56
J. Nickel Paduan.....	57
K. Seng dan paduannya (Zinc and its Alloys) .....	61
L. Magnesium dan paduannya (Zinc and its Alloys) .....	65
<b>BAB II PENGOLAHAN BIJIH BESI MENJADI BAHAN BAKU</b>	<b>72</b>
A. <i>Pemisahan</i> logam dari bijih .....	73
B. Logam besi .....	75
C. Phosphorus .....	75
D. Peleburan Bijih besi .....	76
E. Cokas dan kapur .....	76

F. Proses peleburan .....	77
G. Komposisi unsur di dalam besi mentah .....	80
H. Pengolahan besi kasar (pig iron) menjadi bahan baku .....	81
<b>BAB III BESI TUANG</b> .....	<b>94</b>
A. Pengertian .....	94
B. Proses produksi penuangan .....	95
C. Dapur Cupola .....	96
D. Dapur udara atau dapur api .....	96
E. Dapur putar .....	96
F. Dapur listrik .....	96
G. Kadar carbon didalam besi tuang .....	99
H. Pengendalian struktur selama pendinginan .....	99
I. Berbagai alasan pembentukan melalui pengecoran.....	101
J. Besi tuang putih dan besi tuang kelabu .....	106
<b>BAB IV PEMBENTUKAN LOGAM PADUAN</b> .....	<b>119</b>
A. Berbagai alasan pembentukan logam paduan .....	119
B. Dasar-dasar pencampuran dalam persenyawaan logam .....	120
C. Struktur larutan padat dari bahan paduan dan perubahannya dalam proses pendinginan hingga mencapai temperatur ruangan .....	122
D. Diagram keseimbangan thermal .....	123
E. Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam larut secara penuh disetiap proporsi dalam keadaan padat .....	125
F. Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam yang tidak larut secara penuh ke dalam larutan padat .....	127
G. Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan batas larutan di dalam larutan padat .....	129
H. Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan bentuk campuran antar logam .....	131
<b>BAB V PEMILIHAN LOGAM SEBAGAI BAHAN BAKU</b> .....	<b>136</b>
A. Pembentukan logam menjadi bahan baku .....	136
B. Pengelompokkan dan standarisasi baja .....	137

**BUKU JILID 2**

**BAB VI PEMBENTUKAN PRODUK BENDA KERJA DENGAN CARA PENGECORAN**

	144
<b>A. Pengecoran atau penuangan (Casting)</b> .....	144
1 Sand Casting (penuangan dengan cetakan pasir).....	145
2 Bahan cetakan dan bahan teras.....	148
3 Penguatan cetakan.....	149
4 Pendukung teras.....	150
5 Rangka cetakan (frame). .....	150
6 Perkakas cetak. ....	152
7 Proses pembuatan cetakan. ....	153
<b>B. Proses peleburan (pencairan) logam tuangan (cor)</b>	177
1. Berat Jenis, titik Cair dan koefisien kekentalan.....	177
2. Proses peleburan bahan tuangan.....	179
3. Prosedur kerja pengoperasian dapur kupola.....	180
4. Proses peleburan dengan menggunakan dapur Listrik.....	182
<b>C. Proses penuangan (pengecoran)</b> .....	186
1. Centrifugal casting (pengecoran) .....	186
2. Continouos casting (pengecoran) .....	189
3. Shell Moulding.....	190
4. Die Casting.....	191
5. Investment casting.....	195
<b>D. Faktor-faktor penting dalam proses penuangan (pengecoran)</b> .....	199
1. Tambahan penyusutan.....	199
2. Tambahan penyelesaian mesin (machining).....	200
3. Tambahan Pelengkungan (Bending Allowance).....	201
4. Sistem saluran.....	202
5. Standarisasi ukuran saluran.....	208
6. Chill – Iron.....	211

**BAB VII PENGUKURAN DAN PENANDAAN**

	224
<b>A. Pengertian</b> .....	224
<b>B. Pengukuran dan penandaan</b> .....	229
<b>C. Pengukuran dengan mistar sorong (Venier caliper)</b> ..	238
<b>D. Pengukuran dengan mikrometer</b> .....	245
<b>E. Pengukuran dengan pengukur tinggi</b> .....	250
<b>F. Penandaan benda kerja</b> .....	252

<b>BAB VIII MEMBACA DAN MENGGUNAKAN GAMBAR TEKNIK</b>	257
<b>A. Gambar rencana lengkap</b> .....	257
<b>B. Gambar susunan atau rakitan</b> .....	258
<b>C. Gambar bagian (Detail drawings)</b> .....	258
<b>D. Proyeksi</b> .....	261
1. Proyeksi Orthogonal ( <i>Orthographic Projection</i> ).....	261
2. Proyeksi Isometrik ( <i>Isometric Projection</i> ) .....	264
<b>E. Ukuran dan tanda pengerjaan</b> .....	272
1. Tanda ukuran untuk ulir (Screw Threads)....	272
2. Alat Bantu ukuran (Auxiliary dimension).....	272
3. Chamfers.....	273
4. Ukuran tidak diskala dan garis pemotongan (Breaklines) .....	273
5. Tabulasi ukuran .....	273
6. Penandaan .....	275
7. Toleransi (Tolerances) .....	278
8. Penggambaran benda-benda tuangan.....	280
9. Tanda pengerjaan.....	285
10. Toleransi Produk pengecoran dengan cetakan pasir	287
11. Penyusutan.....	289
12. Sudut tuangan .....	290
13. Radius tuangan dan perubahan tebal.....	293
14. Penunjukkan ukuran benda tuangan.....	297
15. Toleransi ukuran benda Tuangan.....	301
16. Data Teknis .....	304
 <b>BUKU JILID 3</b>	
<b>BAB IX PROSES PEMESINAN</b>	307
<b>A. Umum</b> .....	307
<b>B. Pembentukan benda kerja dengan mesin perkakas</b>	308
1. Pembentukan benda kerja dengan mesin bubut	355
2. Pembentukan benda kerja dengan mesin Frais (Milling) .....	
3. Pembentukan benda kerja dengan menggunakan mesin EDM.....	390

<b>BAB X PENGUJIAN LOGAM</b> .....	407
<b>A. Syarat-syarat kualitas logam sebagai bahan teknik</b> ...	407
1. Kualitas fungsional.....	407
2. Kualitas Mekanik.....	409
<b>B. Pengujian Sifat mekanik</b> .....	409
1. Kekerasan ( <i>Hardness</i> ) .....	409
2. Pengujian Tarik ( <i>Tensile Test</i> ) .....	433
3. Pengujian Lengkung ( <i>Bend Test</i> ) .....	444
4. Pengujian Pukul <i>Takik</i> ( <i>Impact Test</i> ) .....	453
5. Pengujian Geser.....	457
<b>C. Pemeriksaan bahan (<i>Materials Inspection</i>)</b> .....	459
1. Pemeriksaan cacat luar.....	460
2. Pemeriksaan cacat dalam ( <i>Checks for internal defects</i> ) .....	462
<b>D. Metallography</b> .....	466
<b>BAB XI PERKAKAS PERTUKANGAN KAYU DALAM PROSES PENGECORAN LOGAM</b>	475
<b>A. Umum</b> .....	475
<b>B. Kayu sebagai bahan teknik</b> .....	475
<b>C. Perkakas pertukangan kayu</b> .....	476
<b>D. Berbagai peralatan dan perkakas pendukung</b> .....	481
1. Pemegang benda kerja .....	481
2. Perkakas tangan dengan operasi manual .....	485
3. Bor kayu dengan operasi manual ( <i>Bit Brace</i> ) .....	489
4. Alat ukur dan penandaan dalam pertukangan kayu.....	490
<b>E. Pembuatan model (<i>pattern</i>) dengan kayu</b> .....	492
<b>BAB XII MENGENAL BERBAGAI SISTEM KONVERSI ENERGI</b> ...	496
<b>A. Sistem pesawat kerja</b> .....	496
<b>B. Power pack, system konversi energy, Transmisi dan pengendaliannya</b> .....	496
<b>C. Konversi energi</b> .....	503
<b>D. System Transmisi</b> .....	504
<b>E. Kopeling (<i>Couplings</i>)</b> .....	507
1. Compression Coupling.....	508
2. Flexible Coupling-Disk type.....	508
<b>F. Clutch (<i>Clutch</i>)</b> .....	511
1. Dog-tooth Clutch.....	511
2. Universal Joints.....	512

3. Cone-type Clutch.....	512
4. Expanding-type clutch.....	513
5. Plate-type Clutch.....	513
6. Magnetic Clutches.....	514
7. Sprag Clutches.....	514
<b>G. System satuan yang digunakan dalam konversi energy menurut Standar Internasional (SI Units).....</b>	<b>515</b>
<b>H. Power transmisi.....</b>	<b>516</b>
1. Sabuk datar (Flat Belt).....	517
2. Pulley untuk sabuk datar.....	518
3. Sabuk “V” (“V” - Belt) - <i>adjustable Vee belting</i> .....	518
4. Alur V pada pulley.....	519
5. Merakit penggerak.....	520
6. Sistem transmisi mekanik dengan menggunakan rantai.....	520
7. Standarisasi dimensional roller chains.....	522
8. Silent Chains and Toothed belt.....	528
<b>BAB XIII KESELAMATAN KERJA</b>	<b>531</b>
<b>A. Kebijakan pemerintah dalam penerapan Keselamatan dan Kesehatan kerja (K3)- tahun 2008. ....</b>	<b>531</b>
<b>B. Keselamatan ditempat kerja.....</b>	<b>533</b>
<b>C. Kecelakaan (<i>Accident</i>) .....</b>	<b>538</b>
<b>D. Penyebab kecelakaan.....</b>	<b>539</b>
<b>E. Pencegahan terhadap kecelakaan.....</b>	<b>539</b>
<b>F. <i>Pertolongan</i> pertama (<i>First-aid</i>) .....</b>	<b>541</b>
<b>G. Kebiasaan menjaga kebersihan.....</b>	<b>541</b>
<b>H. Faktor keselamatan di bengkel kerja.....</b>	<b>543</b>
<b>I. <i>Kelengkapan</i> keselamatan kerja peralatan tangan.....</b>	<b>543</b>
<b>J. <i>Pemesinan</i>.....</b>	<b>544</b>
<b>K. <i>Penyelamatan</i> diri akibat kebakaran (<i>Fire fighting</i>).....</b>	<b>545</b>
<b>L. Jenis api dan alat pemadamnya.....</b>	<b>548</b>

DAFTAR PUSTAKA .....

DAFTAR GAMBAR .....

DAFTAR TABEL .....

LAMPIRAN .....

## ABSTRAKSI

Proses rekayasa dibidang Teknologi pada dasarnya merupakan upaya optimalisasi penggunaan sumber daya alam secara efektif dan efisien agar memberikan manfaat sebesar-besarnya untuk kepentingan hidup manusia. Perkembangan peradaban manusia ditandai dengan meningkatnya kebutuhan dan kemudahan dalam mencapai tujuan yang diinginkannya, oleh karena itu berbagai cara dilakukannya dan selalu mencari berbagai alternative yang lebih baik dan efisien melalui pemanfaatan energi yang ada. Ketersediaan sumber energi alam serta meningkatnya populasi manusia, kembali manusia dituntut untuk mencari dan menemukan energi alternative yang lebih efisien pula. Dengan demikian modernisasi peradaban manusia akan menuntut manusia itu sendiri untuk selalu berfikir dan berusaha mengembangkan Ilmu pengetahuan dan keterampilannya agar dapat memanfaatkan dan menemukan Teknologi baru yang lebih baik dan tepat guna, karena pada dasarnya alam telah menyediakan berbagai materi yang cukup, hanya karena keterbatasan pengetahuan kita materi tersebut tidak dapat dimanfaatkan, terlebih lagi pada era globalisasi dimana bangsa yang maju akan lebih menguasai bangsa yang lemah.

Berdasarkan pada kenyataan ini nampak jelas bahwa pengetahuan tentang materi dan sumber daya alam ini mutlak harus dikuasai agar dapat mengolah dan menggunakannya secara tepat dan efisien sehingga memberikan manfaat secara optimal untuk kehidupan manusia. Secara sederhana kita akan bertanya: *Materi apa yang akan kita olah dan kita manfaatkan, jika kita tidak mengetahui materi tersebut?*

Logam merupakan salah satu materi alam yang memiliki peranan penting dalam mendukung berbagai sektor kehidupan manusia yang memerlukan pengembangan dengan berbagai penerapan teknologi. Untuk itu banyak hal yang harus diketahui dan difahami karena ternyata logam ini sangat kompleks dan bervariasi dari jenis hingga sifat dan karakteristiknya. Para Ilmuwan telah sejak lama melakukan analisis dan dapat kita gunakan sebagai dasar teoritis untuk dikembangkan secara produktif.

Teknik Pengecoran merupakan salah satu metoda yang dapat mengimplementasikan pengetahuan dan keterampilan tentang ilmu logam ke dalam bentuk berbagai produk yang bermanfaat, melalui re-komposisi dari berbagai unsur logam menjadi sebuah unsur logam paduan sehingga akan diperoleh suatu produk dengan sifat tertentu, yang selanjutnya akan diketemukan sebuah formulasi baru yang lebih baik dan teruji secara ilmiah untuk dimanfaatkan menjadi produk berstandar yang bernilai tinggi sesuai dengan kebutuhan kualitas produk yang

disyaratkan, dimana proses pembentukan benda kerja melalui proses pengecoran dilakukan dengan memilih berbagai jenis bahan yang sesuai dengan sifat produk yang dikehendaki, melakukan peleburan atau pencairan melalui pemanasan, menuangkannya ke dalam cetakan untuk memperoleh bentuk dan dimensi benda yang diinginkan serta melakukan pengujian untuk mengetahui kesesuaian kualitas produk terhadap kualitas yang disyaratkan. Untuk itu maka berbagai pengetahuan sebagai dasar pelaksanaannya harus dikuasai, antara lain :

1. Pengetahuan Logam dan bahan-bahan Teknik
2. Membaca dan menggunakan Gambar
3. Memilih dan menggunakan alat ukur serta alat penandaan
4. Teknologi pengecoran dan pembuatan produk melalui pengecoran
5. Pengujian dan pemeriksaan
6. Mengetahui berbagai metoda dan system Conversi energy
7. Pengetahuan tentang perkakas pertukangan kayu dengan operasi mekanik dan manual.
8. Menerapkan berbagai aspek keselamatan dan kesehatan kerja (K3)

## SINOPSIS

Buku teks ini merupakan salah satu referensi untuk membantu siswa SMK dalam mencapai kompetensi kejuruan dibidang pengecoran logam yang mencakup berbagai aspek prasyarat kerja yang harus dipelajari dan dikuasai sehingga dapat melakukan kegiatan praktik sesuai dengan ketentuan prosedur kerja yang benar.

Melalui buku Teks ini sedikitnya akan memberi gambaran kepada peserta didik khususnya siswa SMK untuk mencari dan mengembangkan pengetahuan dan keterampilannya serta memperkaya wawasan keilmuannya dari berbagai sumber yang relevan, yang tidak dimuat pada Buku Teks ini.

Buku Teks ini disusun berdasarkan analisis persyaratan penguasaan materi pendukung yang secara utuh harus dimiliki siswa SMK sebagai calon tenaga kerja yang akan bekerja pada bidang pengecoran logam, antara lain meliputi pemahaman teoritis tentang :

1. Bahan-bahan teknik yang terdiri atas bahan alam, bahan tiruan, bahan logam dan bahan non-logam, logam ferro dan logam non-ferro dari berbagai sifat dan karakteritiknya yang dapat dipilih dan digunakan sebagai bahan pembuat cetakan model (pattern) melalui pencetakan pasir (sand-cast), cetakan logam (die-cast), serta sebagai bahan baku produk pengecoran, antara lain sifat mekanik secara umum, berat jenis, dan titik cair (melting point) dari berbagai jenis logam.
2. Bahan logam menjadi bagian pembahasan yang luas dan memerlukan pengembangan yang lebih aplikatif oleh guru dan siswa disekolah melalui pengalaman secara praktis, khususnya dalam memformulasikan bahan-bahan tersebut menjadi produk pengecoran yang dapat memenuhi kualitas mutu yang disyaratkan.
3. Membaca dan menggunakan gambar teknik merupakan materi pendukung pelaksanaan pekerjaan bagi operator mesin maupun tenaga kerja pengecoran logam, pada gambar teknik khususnya gambar kerja memuat berbagai informasi pekerjaan yang meliputi dimensional geometris dan berbagai persyaratannya termasuk besaran penyimpangan yang diizinkan, allowance yang harus dipersiapkan dalam pembuatan cetakan yang berhubungan dengan kemungkinan terjadinya perubahan ukuran yang disebabkan oleh adanya penyusutan, bending, pengerjaan mesin (machining) dan lain-lain, dimana gambar kerja akan memandu kita dalam menentukan langkah-langkah kerja, dengan mesin jenis apa benda

kerja tersebut harus dikerjakan dan alat ukur apa yang harus digunakan dan lain-lain.

4. Pengukuran dan penandaan (measurement and marking out) merupakan bagian dari proses pekerjaan yang selalu dilakukan untuk menentukan dan mengendalikan dimensional produk pekerjaan baik pada perencanaan pekerjaan, selama proses pengerjaan maupun pemeriksaan kesesuaian hasil pekerjaan yang berhubungan dengan dimensional produk yang disyaratkan. Proses pengukuran dilakukan sejak persiapan selama proses, hingga akhir proses produksi. Oleh karena itu pemahaman tentang alat ukur harus dikuasai secara menyeluruh baik pada alat-alat ukur sederhana, alat penandaan maupun alat-alat ukur presisi, serta berbagai metoda pengukuran termasuk penggunaan alat ukur bantu agar dapat menentukan dimensi pekerjaan hingga bagian yang sangat rumit.
5. Proses pemesinan merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari proses manufactur dimana sejak persiapan cetakan, pembuatan model luar maupun inti diperlukan pengoperasian mesin dan perkakas baik perkakas untuk pengerjaan logam maupun perkakas pertukangan kayu.  
Pekerjaan pemesinan merupakan bagian penting yang harus difahami oleh operator kerja bidang pengecoran logam terutama dalam hubungannya dengan pembuatan dies atau cetakan logam (mould) seperti mesin-mesin EDM yang lebih spesifik untuk fungsi tersebut.  
Proses pemesinan sering diperyaratkan pada benda-benda produk pengecoran, biasanya produk tersebut merupakan part atau bagian dari rakitan beberapa komponen, walaupun tidak merupakan bagian dari pekerjaan pengecoran, tetapi sedikitnya bagian dari benda kerja hasil pengecoran (casting) yang harus dikerjakan lanjut melalui pemesinan merupakan bagian yang telah direncanakan dalam urutan pekerjaan pengecoran, akan tetapi pembahasan ini lebih kepada hal-hal yang berhubungan dengan pembentukan benda-benda tuangan atau cor (casting) yang biasanya memiliki bentuk yang tidak beraturan sehingga diperlukan perhatian khusus terutama dalam memegang benda kerja (casting) tersebut pada peralatan mesin yang tersedia, atau pembuatan alat bantu yang sesuai dengan kebutuhan pemotongan pada fungsi mesin perkakas tersebut.
6. Teknik peleburan sangat berhubungan dengan pengetahuan logam didalamnya memuat berbagai sifat pencampuran bahan paduan serta derajat pemanasan yang diperlukan untuk jenis logam yang diperlukan. Dalam pembahasan ini memuat berbagai dapur lebur yang umum dan dapat digunakan dalam proses pengecoran.
7. Teknik pengecoran merupakan metoda proses pembentukan benda kerja dengan cara mencairkan logam tertentu dan menuangkannya ke dalam cetakan yang telah dipersiapkan, pada bagian ini dibahas

langkah-langkah secara umum serta berbagai contoh untuk pembuatan produk pengecoran, penentuan jenis saluran, proses pengecoran dengan grafitasi, penekanan (pressure) serta sentrifugal casting dan lain-lain.

8. Pengujian dan pemeriksaan meliputi pengujian terhadap sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan tarik dan reaksi bahan akibat pembebanan tarik, kekuatan geser, kekuatan lengkung dan lain-lain yang dikelompokkan dalam *Destructif Test* (DT), Pemeriksaan terhadap sifat physic yang dikelompokkan dalam *Non Destructif Test* (NDT) yang meliputi pemeriksaan cacat luar dan cacat dalam dan pemeriksaan pada mikrostruktur (Metallography).
9. Keselamatan kerja yang memberikan gambaran kecelakaan akibat kelalaian dalam operasi pekerjaan, penanganan bahaya kebakaran.

## Analisis Urutan Logis STANDAR KOMPETENSI

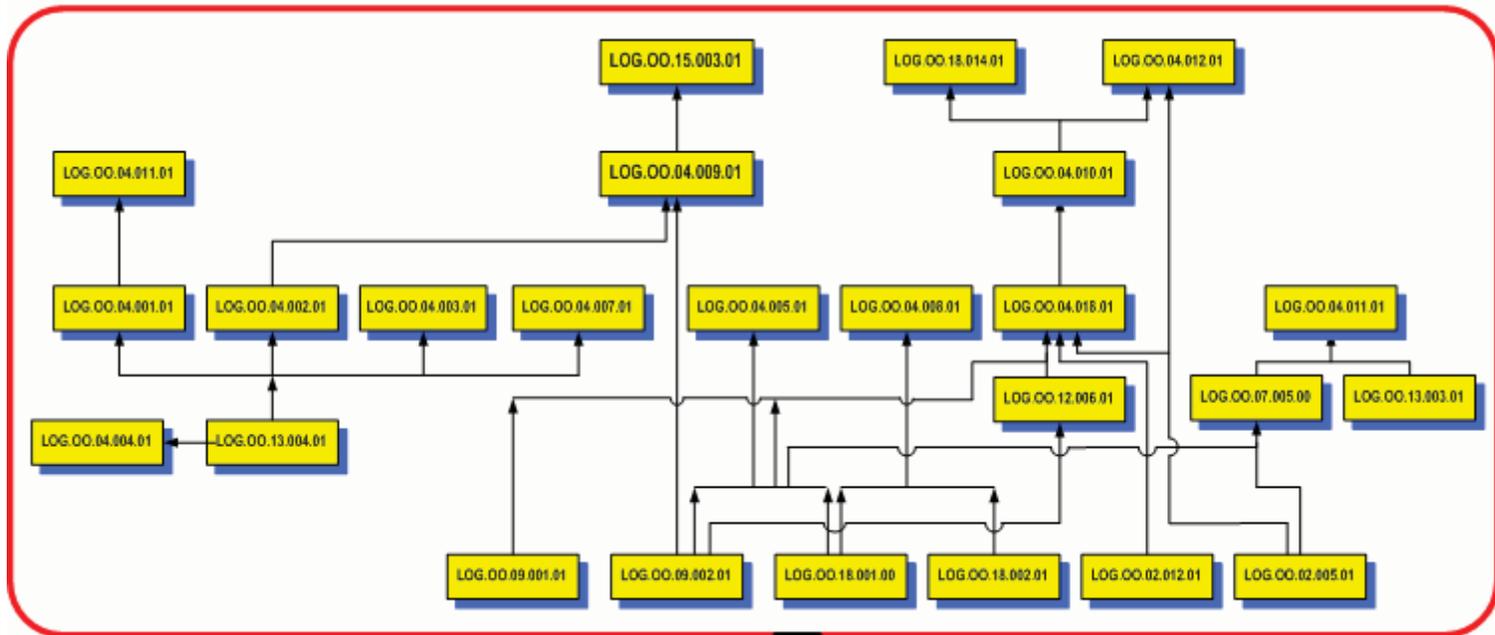
NO	KODE STANDAR KOMPETENSI	DAPAT BERDIRI SENDIRI		TERGANTUNG PADA KOMPETENSI MANA	MENUJU KOMPETENSI MANA
		YA	TIDAK		
240	LOG.OO.04.001.01		√	LOG.OO.13.004.01,	LOG.OO.06.007.01
241	LOG.OO.04.002.01		√	LOG.OO.13.004.01,	LOG.OO.04.009.01
242	LOG.OO.04.003.01		√	LOG.OO.13.004.01	
243	LOG.OO.04.004.01	√			
244	LOG.OO.04.005.01		√	LOG.OO.09.002.01 LOG.OO.18.001.00	
245	LOG.OO.04.006.01	√			
246	LOG.OO.04.007.01		√	LOG.OO.13.004.01	
247	LOG.OO.04.008.01		√	LOG.OO.18.001.00 LOG.OO.18.002.00	
248	LOG.OO.04.009.01		√	LOG.OO.04.002.01 LOG.OO.09.002.00	LOG.OO.15.003.01
249	LOG.OO.04.010.01		√	LOG.OO 02.012.01 LOG.OO 04.018.01 LOG.OO 09.001.01 LOG.OO 09.002.01 LOG.OO 12.006.01 LOG.OO 18.001.01 LOG.OO 18.002.01	LOG.OO.18.014.01 LOG.OO.04.012.01
250	LOG.OO04.011.01		√	LOG.OO02.005.01 LOG.OO07.005.01 LOG.OO13.003.01 LOG.OO09.002.01 LOG.OO18.001.01	
251	LOG.OO.04.012.01		√	LOG.OO02.005.01 LOG.OO02.012.01 LOG.OO04.010.01 LOG.OO04.018.01 LOG.OO09.001.01 LOG.OO09.002.01 LOG.OO12.006.01 LOG.OO18.001.01 LOG.OO18.002.01	
252	LOG.OO.04.018.01		√	LOG.OO02.005.01 LOG.OO09.001.01 LOG.OO09.002.01 LOG.OO18.001.01	LOG.OO.04.010.01 LOG.OO.04.012.01

**Keterangan Kode Standar Kompetensi:**

KODE STANDAR KOMPETENSI	STANDAR KOMPETENSI
LOG.00.09.001.01	Menggambar dan membaca sketsa
LOG.00.09.001.01	Membaca gambar teknik
LOG.00.07.005.01	Bekerja dengan mesin umum
LOG.00.18.001.01	Menggunakan perkakas tangan
LOG.00.18.002.01	Menggunakan perkakas bertenaga/operasi digenggam
LOG.00.13.003.01	Bekerja secara aman dengan bahan kimia dan industri
LOG.00.13.004.01	Bekerja dengan aman dalam mengolah logam/gelas cair
LOG.00.04.001.01	Operasi tanur peleburan
LOG.00.04.002.01	Pengecoran tanpa tekanan
LOG.00.04.003.01	Mengoperasikan mesin pengecoran bertekanan
LOG.00.04.004.01	Mempersiapkan dan mencampur pasir untuk cetakan pengecoran logam
LOG.00.04.005.01	Membuat cetakan dan inti secara manual (jobbing)
LOG.00.04.006.01	Mengoperasikan mesin cetak dan mesin inti
LOG.00.04.007.01	Penuangan cairan logam
LOG.00.04.008.01	Pembersihan dan pemotongan produk pengecoran
LOG.00.04.009.01	Inspeksi dan pengujian benda tuang
LOG.00.04.010.01	Pengembangan dan pembuatan pola kayu
LOG.00.04.011.01	Membuat pola resin
LOG.00.04.012.01	Assembling pola plat
LOG.00.04.013.01	Mengembangkan dan membuat pola polistiren
LOG.00.04.018.01	Operasi mesin kerja kayu secara umum
LOG.00.15.003.01	Melakukan Pemeriksaan Dasar

KODE STANDAR KOMPETENSI	STANDAR KOMPETENSI
LOG.00.06.007.01	Melakukan proses pemanasan/ <i>quenching</i> , <i>tempering</i> dan <i>annealing</i>
LOG.00 12.006.01	Pemberian tanda batas (teknik dasar)
LOG.0012.003.01	Mengukur dengan alat ukur mekanik presisi
LOG.0018.014.01	Membuat perkakas.mal ukur dan matras
LOG.00 02.012.01	Melakukan perhitungan matematika
LOG.0002.005.01	Mengukur dengan menggunakan alat ukur
LOG.0015.003.01	Melakukan Pemeriksaan Dasar

## DIAGRAM PENCAPAIAN STANDAR KOMPETENSI TEKNIK PENGECORAN





## **BAB IX PROSES PEMESINAN (MACHINING PROCESSES)**

### **A. U m u m**

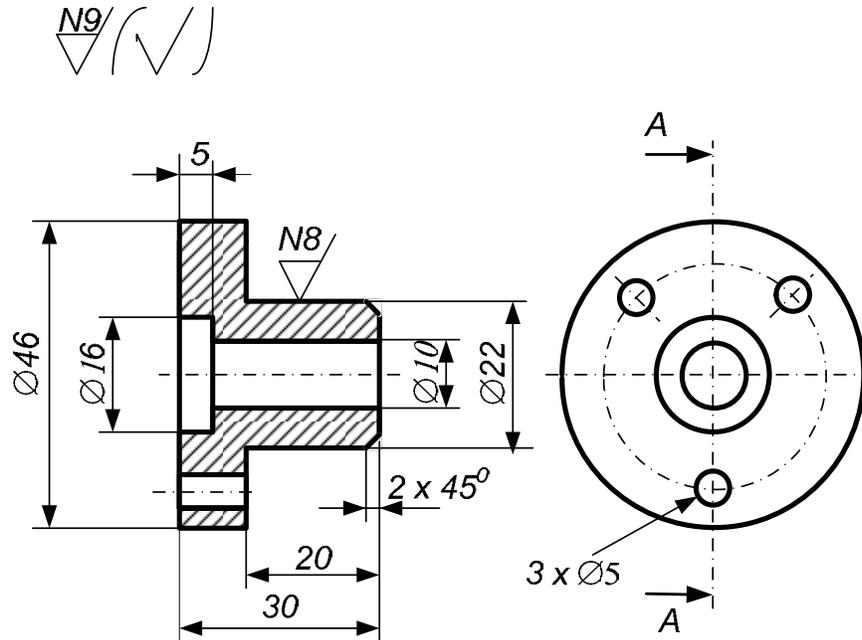
Proses pemesinan merupakan proses lanjutan dalam pembentukan benda kerja atau mungkin juga merupakan proses akhir setelah pembentukan logam menjadi bahan baku berupa besi tempa atau baja paduan atau dibentuk melalui proses pengecoran yang dipersiapkan dengan bentuk yang mendekati kepada bentuk benda yang sebenarnya.

Baja atau besi tempa sebagai bahan produk yang akan dibentuk melalui proses pemesinan biasanya memiliki bentuk profil berupa bentuk dan ukuran yang telah distandarkan misalnya, bentuk bulat "O", segi empat, segi enam "L", "I" "H" dan lain-lain.

Bahan benda kerja yang dibentuk melalui proses pengecoran memiliki bentuk yang bervariasi sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan. Pembentukan benda kerja melalui proses pengecoran ini telah direncanakan dan dianalisis sedemikian rupa sehingga jika benda kerja menghendaki bentuk akhir melalui proses pemesinan tertentu sebagaimana diinformasikan pada gambar kerja, maka bagian ini telah dipersiapkan. (Lihat membaca dan menggunakan gambar dan pembentukan benda kerja melalui proses pengecoran). Oleh karena itu Gambar kerja merupakan dokumen penting yang menjadi acuan dalam pelaksanaan proses produksi mulai penerimaan bahan baku hingga penyerahan produk kepada pemakai dan sebagai dasar pertanggung jawaban terhadap kualitas dari produk tersebut.

Angka kekasaran permukaan atau yang disebut Roughness Value (Ra) yang tertera pada gambar mengisaratkan kepada kita mengenai bentuk permukaan akhir dari produk yang diinginkan, sebagaimana diperlihatkan pada contoh gambar 9.1 berikut.

Jika Nilai Ra itu berada pada kisaran 6,3 sampai 50 (N9 sampai N50) maka kekasaran permukaan dapat tercapai melalui proses pengecoran (Sand Casting).



**Gambar 9.1** Contoh gambar kerja dari bahan besi tuang (casting)

Proses pemesinan yang berhubungan dengan pembentukan produk pengecoran memerlukan kecakapan khusus yang berbeda dengan proses pemesinan pada baja dengan bentuk tertentu seperti bulat; segi empat atau segi enam, terutama dalam memegang benda kerja itu sendiri pada mesin perkakas selama proses pemotongan itu berlanjut dimana benda hasil pengecoran memiliki bentuk yang tidak beraturan, serta khusus dalam pekerjaan pembubutan dimana benda kerja akan berputar, keseimbangan putaran juga perlu diperhatikan jika benda tidak berada sesumbu dengan sumbu mesin itu sendiri (Counter balance).

#### **B. Pembentukan benda kerja dengan mesin perkakas**

Kekasaran permukaan Benda kerja yang dipersyaratkan untuk dikerjakan melalui pekerjaan pemesinan ialah benda kerja yang digambarkan dengan tanda angka kekasaran N8 atau dengan besaran angka toleransi dari ukuran benda yang dikehendaki. Pada bentuk tertentu dimungkinkan untuk dikerjakan pada mesin bubut, frais atau skrap.

Dalam pelaksanaan proses pekerjaan dengan menggunakan mesin perkakas diperlukan 3 aspek penting yang harus difahami, antara lain :

- Membaca dan menggunakan gambar kerja ( Lihat Bab VIII)
- Memilih dan menggunakan alat ukur (Lihat Bab XII)
- Menguasai teknologi pemotongan

### ***Teknologi pemotongan***

Teknologi pemotongan merupakan salah satu aspek persyaratan pengetahuan dan keterampilan yang harus dikuasai oleh seorang operator mesin dalam melakukan proses pembentukan, aspek-aspek yang tercakup dalam teknologi pemotongan ini antara lain :

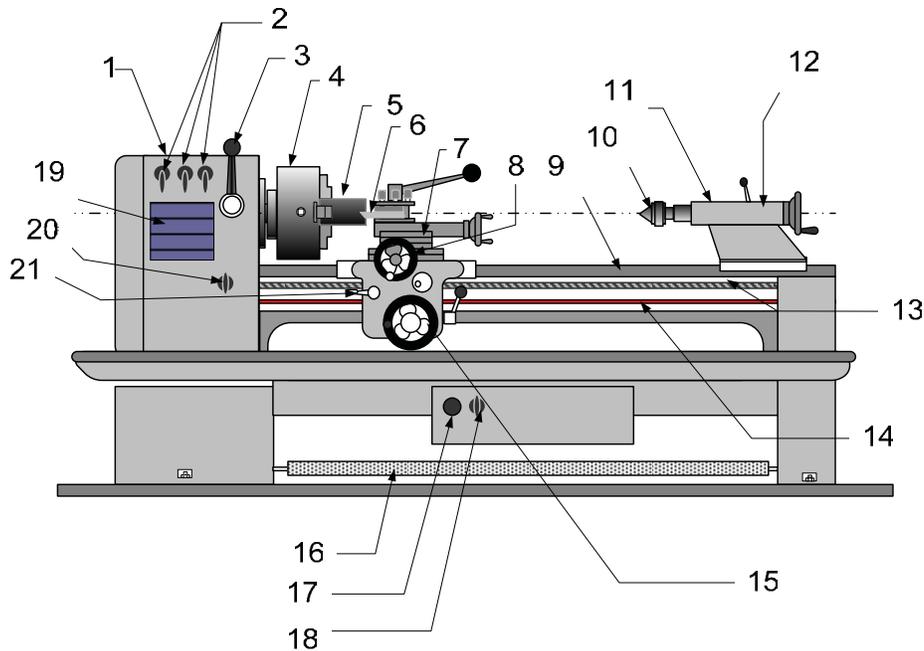
- Pengetahuan tentang bahan-bahan produk (Lihat Bab I Tentang macam-macam bahan Teknik), yang diperlukan untuk menentukan sifat pemotongan dari setiap bahan teknik seperti kecepatan pemotongan dan jenis alat potong yang sesuai dengan jenis bahan tersebut.
- Mesin perkakas dan karakteristiknya, yakni pengetahuan tentang Mesin Perkakas dan kelengkapannya, jenis, fungsi dan cara pengoperasiannya.
- Pengetahuan tentang alat-alat potong yang meliputi bentuk, fungsi pemakaian.
- Pengetahuan tentang cara pemasangan dan mengeset benda kerja pada mesin perkakas

#### ***1. Pembentukan benda kerja dengan mesin bubut***

Mesin bubut adalah salah satu mesin perkakas yang paling banyak digunakan dibengkel-bengkel karena memiliki fungsi yang bervariasi dalam pengerjaan berbagai bentuk benda kerja, seperti membentuk benda bulat, membentuk bidang datar, mengebor, mengulir, membentuk tirus, memotong mengartel, serta membentuk benda-benda bersegi. Hampir semua aspek bentuk benda kerja dapat dikerjakan dengan mesin bubut, bahkan dari benda-benda yang tidak beraturan bentuk tersebut dapat tercapai melalui berbagai metoda pemasangan benda kerja pada mesin bubut.

Setiap mesin memiliki prosedur pengoperasian yang berbeda-beda walaupun bagian-bagian utama dari mesin dihampir semua merek mesin bubut memiliki bagian yang sama, setiap pabrik pembuat mesin berusaha memberikan kemudahan dalam pengoperasian dari mesin yang dibuatnya, sistem palayanan dan

pengendalian proses kerja mesin ditempatkan sedapat mungkin ditempat yang mudah dijangkau. Perhatikan salah satu konstruksi dan bagian-bagian utama dari mesin bubut pada gambar 9.2 berikut.



**Gambar 9.2** Mesin bubut dengan bagian-bagian utamanya

Keterangan :

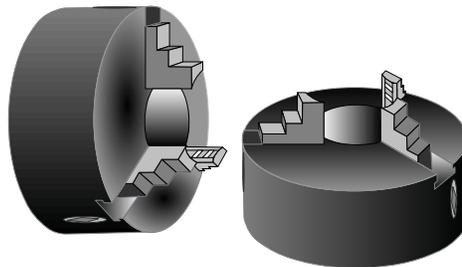
No	Nama bagian	No	Nama bagian
1	Head stock	11	Tail stock
2	Knob pengatur kecepatan putaran	12	Pengunci barel
3	Handle pengatur putaran	9	Lead screw
4	Chuck	14	Feeding shaft
5	Benda kerja	15	Roda pemutar/penggerak eretan memanjang
6	Pahat (tool)	16	Rem mesin
7	Tool post dan eretan atas	17	Main swich
8	Eretan lintang	18	Coolant motor switch
9	Bed Mesin	19	Tabel Mesin
10	Senter jalan	20	Pengatur arah feeding shaft
		21	Handle lead screw.

**a. Metoda pemegangan benda kerja pada mesin bubut**

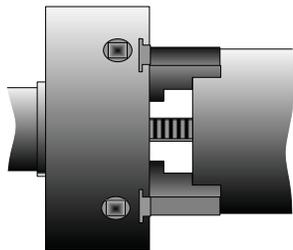
Pemasangan benda kerja pada mesin bubut dapat dilakukan dengan berbagai cara sesuai dengan bentuk benda serta tujuan pembentukan yang dihasilkan melalui proses pembubutan tersebut. Fasilitas pencekaman benda kerja pada mesin bubut disediakan baik untuk kegunaan mencekam benda kerja dengan bentuk-bentuk yang umum maupun yang khusus, namun jika benda kerja dengan bentuk yang berbeda dari peralatan yang tersedia, maka dimungkinkan untuk membuat bentuk pemegang benda kerja tersebut sesuai dengan kebutuhan.

- **Chuck rahang 3 (Three jaw/self centering jaw chuck)**

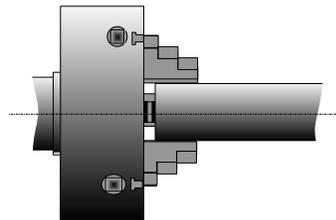
Self Centering chuck ialah chuck yang biasanya memiliki rahan (jaw) tiga buah yang masing-masing memiliki tiga pemutar untuk arah mengunci dan membuka jepitan terhadap benda kerja, namun dalam pemakaiannya jika salah satu dari lubang kunci ini diputar maka semua jaw akan bergerak serempak mengunci atau membuka. Kendati pemakaiannya hanya untuk memegang benda kerja yang berbentuk bulat atau bersegi tiga atau enam, Chuck ini paling banyak digunakan karena sepat memosisikan benda kerja pada posisi senter (lihat gambar 9.3).



**Gambar 9.3** Chuck rahang 3 (Three jaw/self centering jaw chuck)



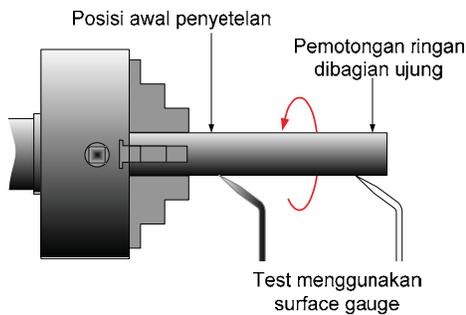
**Gambar 9.4** Penjepitan benda kerja dengan chuck rahang 3 Universal dengan rahang terbalik



**Gambar 9.5** Penjepitan benda kerja dengan chuck rahang 3 universal dengan posisi normal

- **Four Jaw Independent Chuck (Chuck rahang 4 independent)**

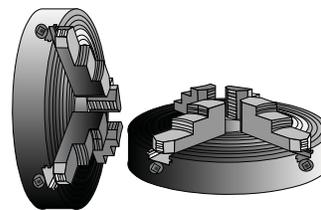
Chuck rahang 4 yang bersifat independent ini dirancang untuk memegang benda kerja segi empat, membubut bentuk eksentrik, bahkan benda bersegi dengan posisi pembubutan jauh dari posisi senter benda kerja.



**Gambar 9.7** Penyetelan benda kerja dalam pemasangannya pada chuck rahang 4 independent



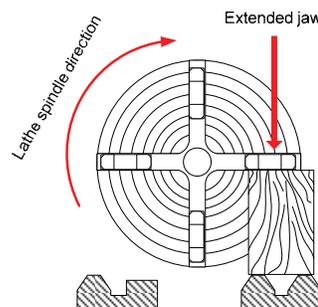
**Gambar 9.6** Produk pengecoran untuk dikerjakan lanjut pada mesin bubut



**Gambar 9.8** Chuck rahang 4 (chuck (independent))

Chuck Mesin bubut merupakan kelengkapan mesin yang dapat diganti sesuai dengan keperluan pemakaian chuck itu sendiri dalam memegang benda kerja.

Jika sewaktu-waktu diperlukan penggantian chuck maka kita dapat membukanya dari screw spindle nose dibagian head stock. Untuk melepas chuck dari spindle nose secara sederhananya ialah memutar chuck pada arah yang berlawanan dengan arah putaran pada pembubutan biasa. Lihat gambar 9.9 dalam membuka chuck tersebut.



**Gambar 9.9** Melepas chuck dari screw spindle nose

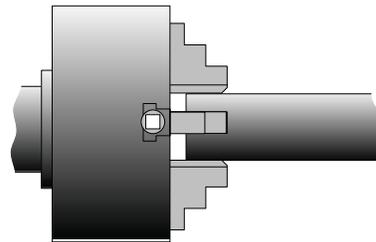
Namun kadang-kadang chuck ini juga terkunci kuat pada spindle nose karena selama pemakaian dalam pembubutan menghasilkan gerakan mengunci pada spindle nose tersebut, untuk itu sebagai langkah-langkah yang dapat dilakukan dalam membuka chuck itu dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Memutar chuck dengan bantuan bar yang diungkitkan diantara kedua Jaw.
2. Menyetel posisi jawa hingga melebihi diameter luarnya
3. Menempatkan balok kayu dibagian belakan bed dan langsung menahan pada jaw
4. Putar spindle mesin melalui sabuk dan pulley oleh tangan hingga mengendur.
5. Tempatkan chuck secara pelan-pelan diatas bed mesin.

- **Metoda *mencekam* benda kerja pada chuck rahang 4**

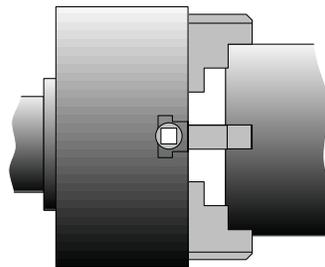
Sebagaimana yang dilakukan dalam pemakaian Chuck rahang 3 dimana memiliki dua jenis rahang (jaw) terdiri atas Jaw normal dan jaw terbalik, namun pada chuck rahang empat biasanya jaw itu dapat dibalik posisinya.

Untuk benda-benda kerja yang berukuran kecil dapat dicekam dengan jaw pada posisi normal akan tetapi untuk benda-benda yang lebih besar maka jaw dapat dibalik sehingga dapat mencekam benda kerja dengan kuat. Lihat gambar 9.10



**Gambar 9.10** Benda kerja dicekam dengan jaw pada posisi normal

Chuck rahang 4 biasanya memiliki bagian rahang yang dapat dibuka hanya dibagian rahangnya dengan sambungan baut. Tetapi ada juga rahang (jaw) untuk rahang empat ini dapat dilepas melalui ulir penguncinya sehingga dapat diubah posisinya pada posisi terbalik untuk mencekam benda kerja yang ukuran besar (lihat gambar 9.11).

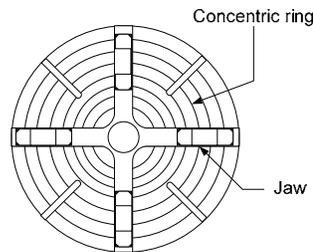


**Gambar 9.11** Benda kerja dicekam dengan jaw pada posisi terbalik

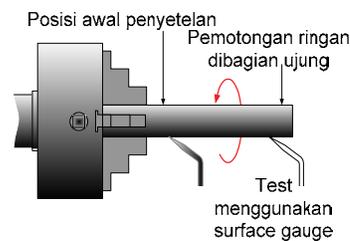
- **Penyetelan benda kerja (set up) pada independen Jaw**

Untuk penyetelan posisi benda kerja dalam proses pembubutan dengan menggunakan chuck rahang empat diperlukan kecermatan karena gerakan jaw (rahang) dari chuck bergerak secara independent antara jaw yang satu dengan jaw yang lainnya. Oleh karena itu untuk penyetelannya dapat dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

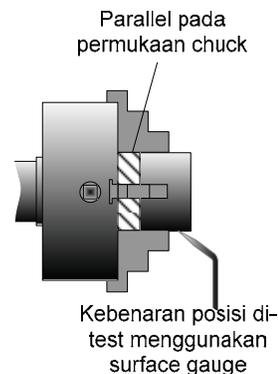
- Ukur diameter benda kerja dan jepitlah benda kerja dengan kuat
- Stel jaw sesuai dengan selisih ukuran diameter benda kerja sebanding dengan jarak perbedaan pada "concentric ring" Lihat gambar 9.12
- Kendurkan dua rahang yang berdekatan untuk memberikan ruangan pergeseran benda kerja.
- Tempatkan benda kera di dalam chuck jangan terjadi kesalahan atau perubahan, jepit perlahan lahan melalui gerakan rahang.
- Berikan lapisan pelindung diantara jaw dan benda kerja jika diperlukan.
- Pemasangan benda kerja yang panjang sebagaimana terlihat pada gambar 9.13 diperlukan pemeriksaan kebenaran putaran antara pangkal dimana bagian terdekat dengan rahang (jaw) dengan dibagian ujung dari benda kerja,



**Gambar 9.12** Chuck rahang 4 independent



**Gambar 9.13** Pemeriksaan kebenaran putaran dengan surface gauge



**Gambar 9.14** Pengukuran sebelum pembubutan muka

Untuk benda kerja yang pendek dan diameter besar dengan pemasangan pada posisi rahang normal dapat dilakukan dengan menentukan kesejajaran bagian permukaan benda kerja dengan permukaan chuck, untuk hal ini sebaiknya salah satu permukaan yang akan dijadikan pedoman (basis pengukuran) diratakan terlebih dahulu dengan metoda pembubutan muka (facing). Lihat gambar 9.14.

Metoda pendekatan dapat pula dilakukan dengan menggunakan kapur pada putaran benda kerja, posisi puncak akan terlihat pada goresan kapur, akan tetapi dengan menggunakan kapur ini tidak terlihat jarak ukur penyimpangannya.

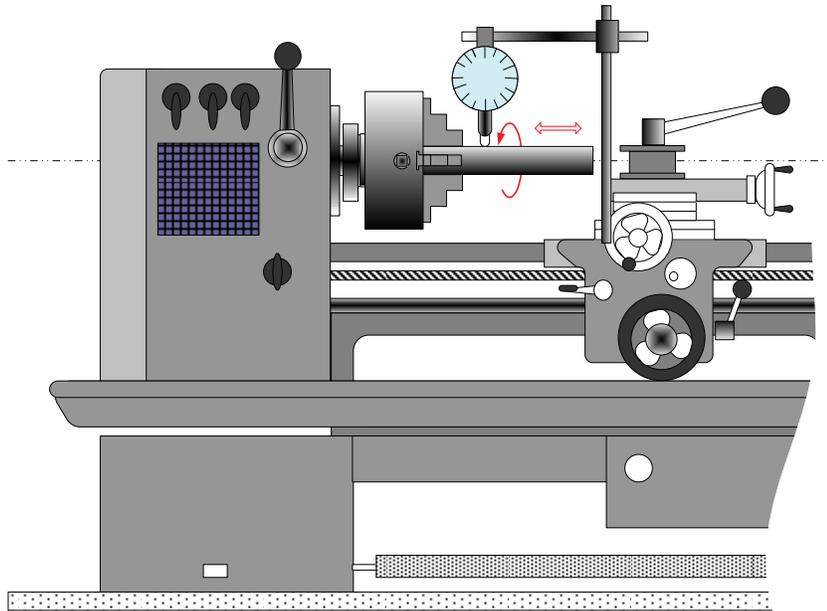
Penyetelan posisi kesesumbuan dari benda kerja dalam pencekaman pada chuck ini benar-benar harus dilakukan walaupun sangat sulit, namun untuk hasil yang lebih akurat penyetelan ini ialah dengan menggunakan Dial Indikator.

Penyetelan kebenaran posisi dari benda kerja yang dipasang pada chuck rahang 4 dengan menggunakan dial indikator ini, langkah pelaksanaannya sama dengan penyetelan yang telah diuraikan, namun jumlah penyimpangan dari posisi yang seharusnya akan terindikasi pada dial Indikator. (lihat gambar 9.15)

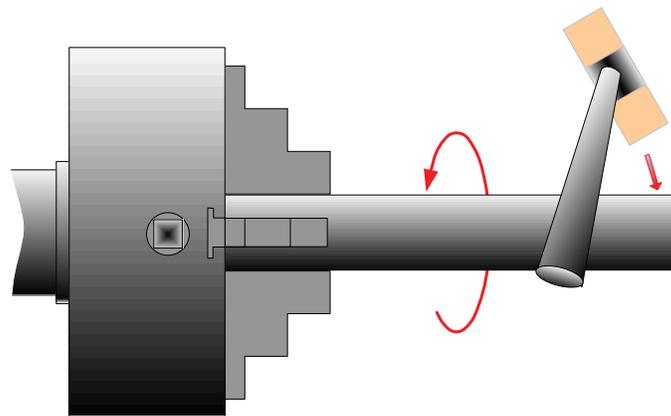
- Tentukan posisi rahang (jaw) pada dua posisi atas dan posisi bawah.
- Longgarkan rahang (jaw) yang berada pada posisi di atas hingga kira-kira  $1\frac{1}{2}$  pada posisi eksentrik, kemudian keraskan jaw yang berada pada posisi bawah hingga mencapai posisi penyetelan yang benar, dan diakhiri dengan pengencangan rahang yang berada pada kelonggaran posisi bagian bawah, penyetelan akhir digunakan palu lunak dengan pemukulan ringan.
- Periksa kembali kekencangan semuanya pada setiap rahang

*Perhatian :*

*Selalu pemegang kunci Chuck, tidak boleh meninggalkan kunci chuck pada chuck !*



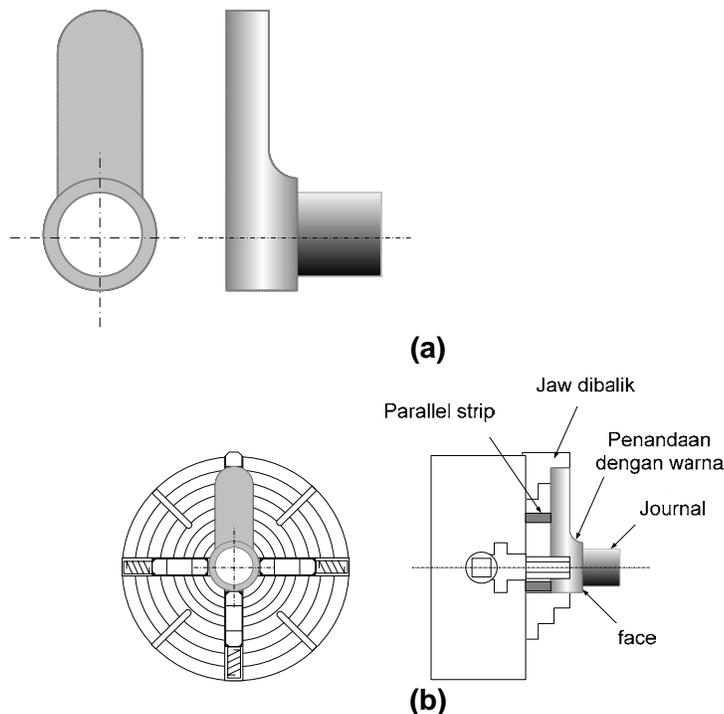
**Gambar 9.15;** Penyetelan benda kerja dengan menggunakan dial indikator



**Gambar 9.16** Penyetelan akhir dengan pemukulan palu lunak

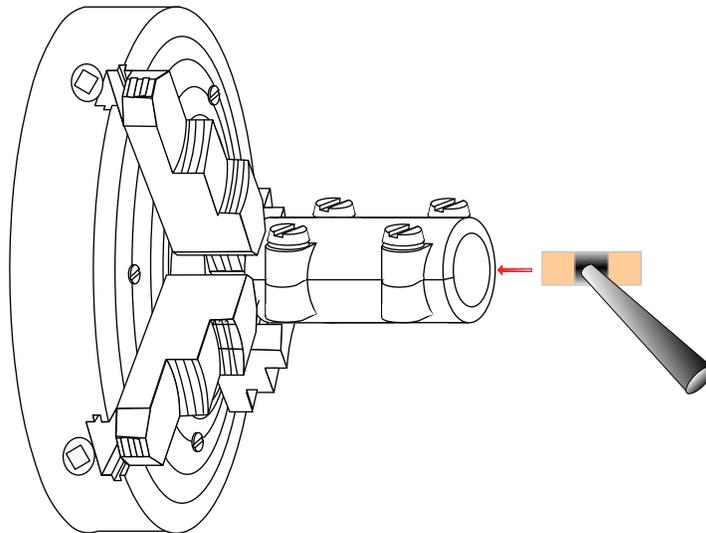
- **Penyetelan benda kerja dengan bentuk tidak beraturan dari benda tuangan (Casting)**

Pemasangan benda tuangan (casting) yang biasanya memiliki bentuk yang tidak beraturan, diperlukan penyetelan dengan pergeseran rahang dengan jarak yang juga tidak beraturan pula sesuai dengan posisi pekerjaan atau bidang atau bagian dari benda tersebut yang akan dibentuk melalui proses pekerjaan bubut. Jika diasumsikan benda kerja seperti pada gambar 9.18a memiliki permukaan yang rata atau telah dikerjakan, maka langkah penyetelan yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut :



**Gambar 9.17** Penyetelan dengan pergeseran rahang

- Usahakan agar Casting berada pada posisi terdekat pada “con centric ring” agar lebih mudah menunjukkan arah pergeseran.
- Tentukan posisi casting yang akan dimachining berlawanan positif dengan titik permukaan chuck, tentukan jaraknya dengan menggunakan parallel strip dengan step dari permukaan rahang chuck. Hal ini harus dipastikan bahwa machining berada sejajar dengan bidang segi empat, Casting ini dapat juga diarahkan dengan dukungan tail stock dengan bantalan kayu untuk menekannya.



**Gambar 9.18** Penyetelan benda kerja dengan bantuan palu lunak

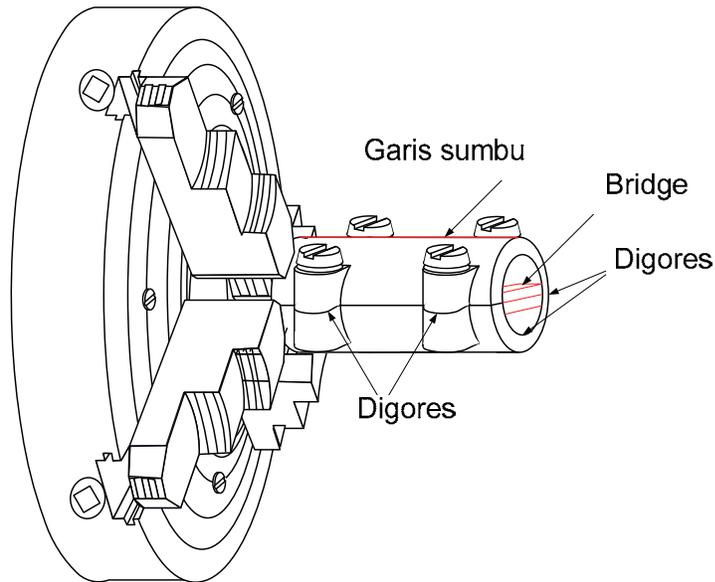
Penyetelan jaw chuck dibagian bidang machining untuk casting (benda tuangan) sering kali diperlukan penandaan (marking out) sebagai acuan dalam penyetelan. Hal ini merupakan bagian dari penerapan membubut eksentrik, dimana membubut benda kerja yang terdiri atas dua bentuk lingkaran dengan dua garis sumbu yang berbeda. Lakukan hanya pada dua rahang yang distel yang lain hanya akan digunakan setelah penyetelan kedua rahang ini berada pada posisi yang mendekati benar. Tepatkan posisi ujung benda tuangan pada alur rahang chuck dengan bantuan palu (gambar 9.18).

*Catatan :*

1. Untuk keamanan yakinkan bahwa merubah kedudukan rahang (jaw) pada posisi terbalik akan aman terhadap bagian mesin bubut yang lainnya
  2. Lepaskan Parallel plat sebelum memberikan gerakan memutar pada mesin.
- b. Penandan dan *penyetelan* untuk pembagian bentuk benda tuangan (Casting).**

Proses pembubutan benda kerja hasil penuangan sebagaimana diperlihatkan pada contoh yang digambarkan pada Gambar 9.19 "Dudukan bearing", diperlukan bentuk akhir dengan posisi lubang berada ditengah-tengah sejajar sepanjang sumbu, dimana setelah

proses machining akan mengikat bersama oleh baut pengikatnya atau penyolderan (Tinning) yang akan mengikat setelah pemanasan.

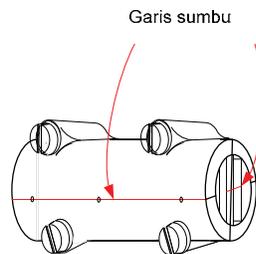


**Gambar 9.19** Posisi ujung benda tuangan pada alur rahang chuck

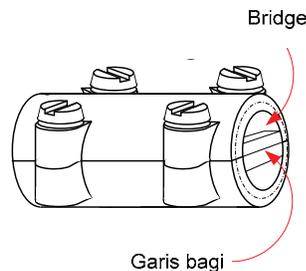
### Penandaan (Marking out)

Untuk penandaan dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Pasangkan *bridge* pada salah satu ujung lubang silinder.
- Goreskan garis pembagian memotong tengah-tengah *bridge* (gambar 9.20)
- Posisi garis bagi vertikal dan casting (benda kerja) horizontal. (gambar 9.21).
- Buat garis lingkaran keliling diameter bekas pengeboran.
- Periksa kembali hasil penandaan.



**Gambar 9.20** Penandaan

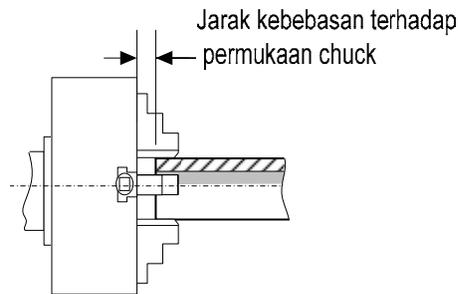


**Gambar 9.21** Dudukan bearing

**c. Pemasangan atau penyetelan (Setting up)**

Pemasangan benda kerja dengan bentuk yang tidak beraturan seperti benda tuangan (casting), dipertimbangkan dengan kebutuhan penyetelan bagian bagian lain, antara lain dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

- Pasanglah benda kerja dengan memberikan kebebasan yang cukup untuk melewati boring bar (lihat gambar 9.22)
- Posisikan jaw mendekati kebenaran posisi penjepitan benda kerja (Casting)
- Tempatkan kelengkapan penggores pada tool post dan tentukan sudutnya setinggi senter mesin bubut.



**Gambar 9.22** Jarak kebebasan terhadap permukaan chuck

- Tentukan posisi benda kerja dengan posisi ujung penggores melalui kesesuaian garis-garis yang terdapat pada benda kerja untuk mengetahui kebenaran kedudukan benda kerja seperti yang telah dilakukan dalam penandaan.
- Periksa pula kebenaran posisi benda kerja untuk bidang pengerjaan bagian luar melalui gerakan ujung penggores.
- Periksa pula bagian permukaan lingkaran untuk mengetahui kesalahan penyetelan rahang chuck karena pengencangan (penjepitan)
- Jangan lupa melepaskan *bridge* sebelum melakukan pengeboran untuk membubut dalam.

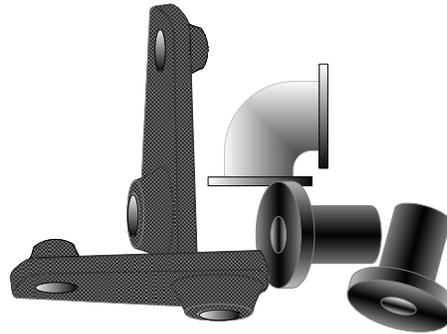
**Catatan :**

*Penyetelan ini dilakukan secara bertahap dan terus-menerus pada 3 poin dari langkah diatas hingga diketemukan kesesuaian posisi benda kerja (casting)*

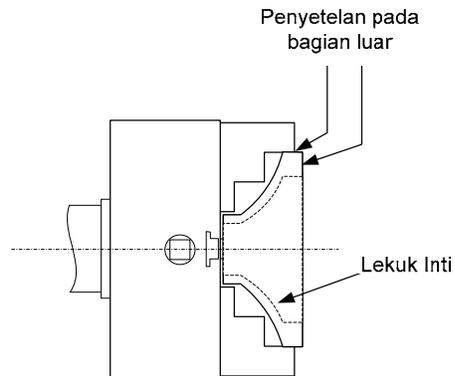
**d. Ketentuan umum untuk pemakaian Independent chuck**

Dari uraian pembahasan diatas merupakan sebuah contoh penyetelan dan pemasangan benda kerja khususnya benda kerja yang memiliki bentuk tidak beraturan (casting) dengan menggunakan chuck rahang 4 Independent, namun sebagai dasar pengembangan dalam menggunakan Chuck rahang 4 independent ini dapat diperhatikan beberapa hal berikut :

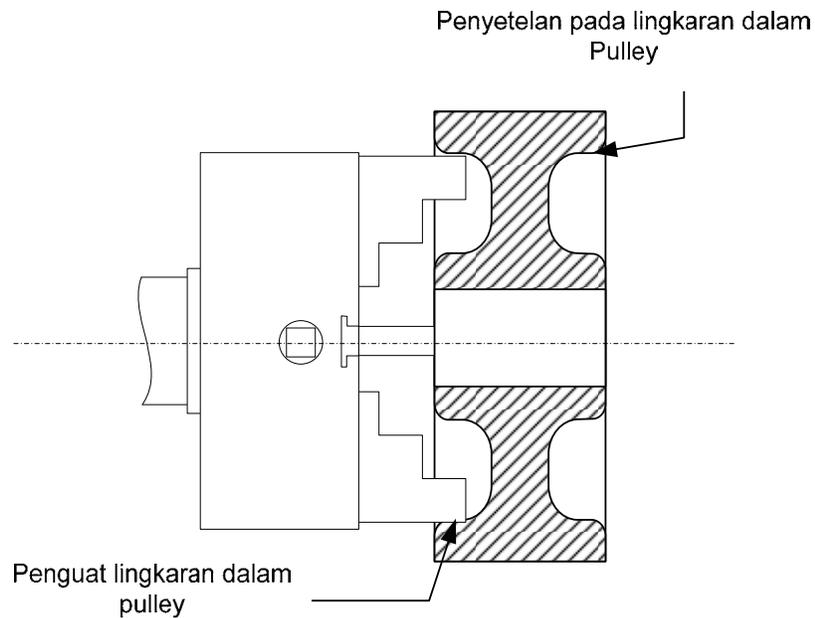
- Tentukan bagaimana cara pemasangan benda kerja agar terpasang pada posisi yang benar, aman dengan seminimal mungkin akan terjadi penyimpangan.
- Pilihlah, naf (bosses), projection, Inti lubang atau permukaan rata atau yang telah dimaching sebagai patokan atau basis penyetelan.
- Jika pedoman itu tidak ditemukan atau hanya sedikit ketepatan maka terpaksa mempersiapkan perlengkapan untuk memberikan penandaan.
- Jika proses machining yang diperlukan adalah pada permukaan bagian luar (external) biasanya penyetelan akan lebih baik dilakukan dibagian dalam, dengan demikian akan lebih dipastikan akan diperolehnya ketebalan serta keseimbangan putaran benda kerja tersebut. Lihat gambar 9.24.
- Jika machining yang akan dilakukan pada bagian dalam maka gunakan permukaan dalam untuk penyetelan. Lihat gambar 9.25



**Gambar 9.23;** Benda tuangan



**Gambar 9.24** Boring cover plat



**Gambar 9.25** Permukaan dalam untuk penyetelan

**e. Pemakaian Counter balance pada Chuck rahang 4 Independent**

Counter balance digunakan pada pemegang benda kerja dengan menggunakan face plate untuk mengatur keseimbangan putaran dimana benda kerja terpasang jauh dari sumbu spindle utama mesin bubut. Benda-benda kerja yang memiliki bentuk tidak beraturan dijepit dengan menggunakan chuck sebagaimana yang telah dijelaskan, face plate adalah bentuk atau metoda memegang benda kerja yang dapat mengakibatkan sebagian berat keluar dari sumbu putar.

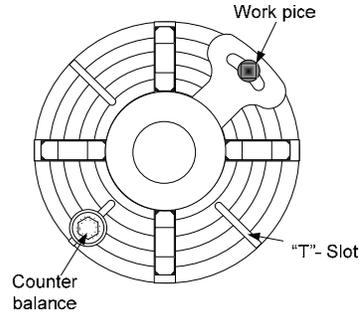
Proses pekerjaan yang demikian ini akan mengakibatkan terjadinya berbagai hal berikut :

- Getaran (Vibration)
- Kecepatan potong tidak merata (uneven cutting speed)
- Hasil pemesinan akan keluar dari putaran (Out of round)
- Mengakibatkan kerusakan pada bantalan mesin bubut
- Kondisi berbahaya apabila spindle berputaran tinggi.

### Pemasangan Counter balances

Untuk melakukan counter balance pada benda kerja yang terpasang pada Independent chuck, atau face plate dapat dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

- Tentukan mesin bubut dengan spindle dalam keadaan bebas dari putaran
- Putar benda kerja dengan oleh tangan dan biarkan sampai berhenti dan beri tanda dibagian yang ringan (bagian atas atau top)
- Pilih pemberat (yang mendekati dengan kebutuhan balances)  
Pasangkan pemberat tersebut dibagian yang ringan dengan menggunakan baut pada "T" – Slots. Lihat gambar 9.26



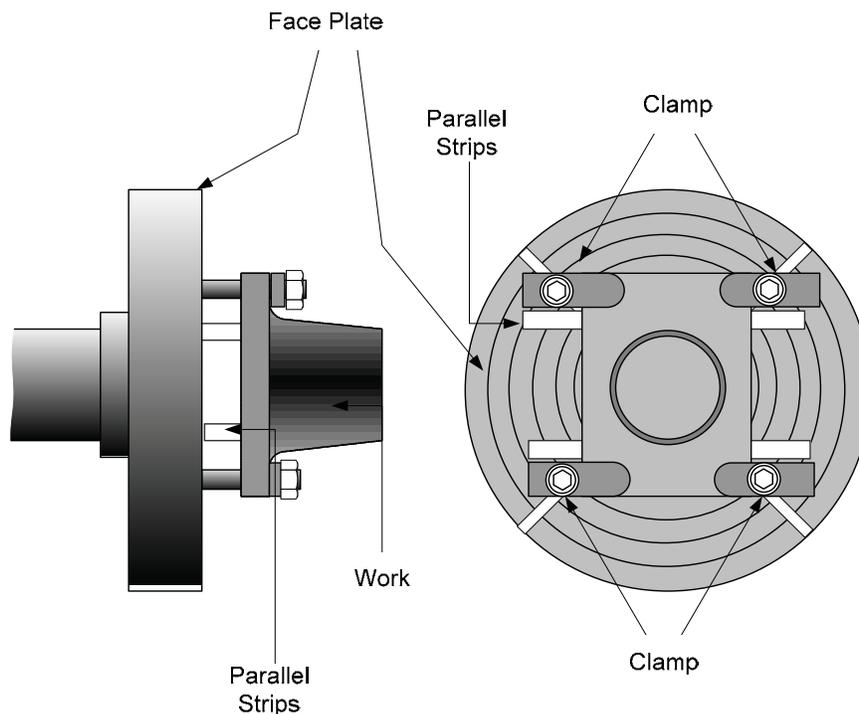
**Gambar 9.26** Counter balancing benda kerja pada chuck

- Putar benda kerja dan biarkan sampai berhenti. Bidang yang berat akan menempati posisi melintang kesamping sumbu dari dasar, beri tanda dengan kapur dibagian atasnya.
- Geserkan pemberat kearah mendekati tanda dari kapur tersebut.
- Lakukan terus proses ini hingga putaran chuck dapat berhenti disembarang posisi.

#### f. Face Plate

Face plate diperlukan untuk memegang benda kerja, dimana benda kerja tidak dimungkinkan dipegang dengan menggunakan chuck karena alasan seperti bentuk dan ukurannya sehingga penggunaan face plate merupakan cara yang dianggap paling tepat. Dalam penggunaannya face plate ini akan tetap memperhatikan pedoman pemasangan serta penyetelan, sebagaimana yang telah dilakukan proses pemasangan dan penyetelan benda kerja tidak beraturan.

Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 9.27 berikut.



**Gambar 9.27** Pemasangan benda kerja dengan *face plate*

**Metoda pemasangan benda kerja dengan face plate.**

- o *Benda kerja diklem secara langsung pada face plate*

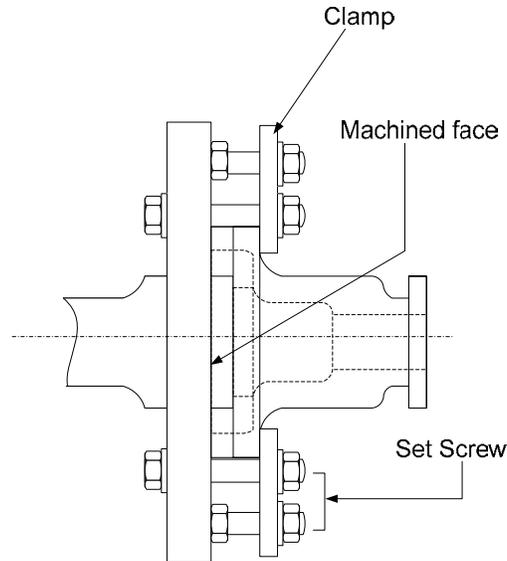
Untuk pemasangan benda kerja ini sebaiknya benda kerja dikubut terlebih dahulu permukaannya (Facing), hal ini dilakukan pada bahan yang mungkin dipasang secara langsung pada face plate. Proses ini harus meyakinkan bahwa berbagai operasi pembubutan akan dapat dilakukan. Pemasangan dibantu dengan ganjal parallel plates. Gambar 9.28 memperlihatkan produk penuangan (casting) yang dipasang dengan clamp secara langsung pada face plate.

**Catatan :**

Penggunaan Parallel strip harus diperhatikan jangan sampai terlepas dari face plate. Clamp harus terpasang langsung diatas parallel strip. Jadi Clamp berada dan didudukan langsung pada face plate

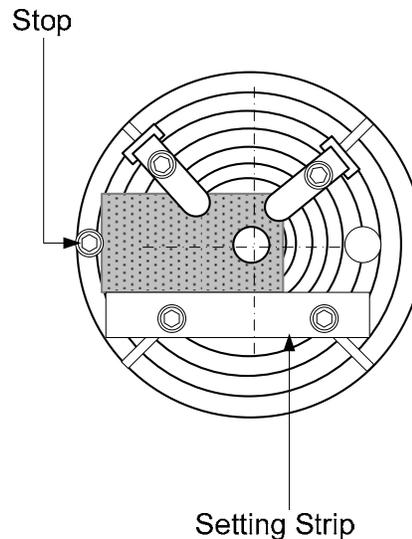
Sebagai contoh lainnya dimana benda kerja dijepit (di Clamp) secara langsung pada face plate ini dapat dilihat pada gambar 9.28. Dalam proses ini dimana *member of cone clutch* benda kerja diset terlebih dahulu yang kemudian akan dibubut dan dibor secara akurat pada permukaan bagian konisnya

Baut penyetel digunakan untuk menjepit dan memberikan tekanan pada benda kerja melalui Clamp. Selanjutnya bagian dari klem itu sendiri tidak boleh tergeser selama proses penyetelan dalam penjepitan. Demikian pula dengan Clamp tersebut tidak boleh mengubah posisi benda kerja. Jika terjadi hal yang membahayakan maka harus diganti dengan klem khusus.



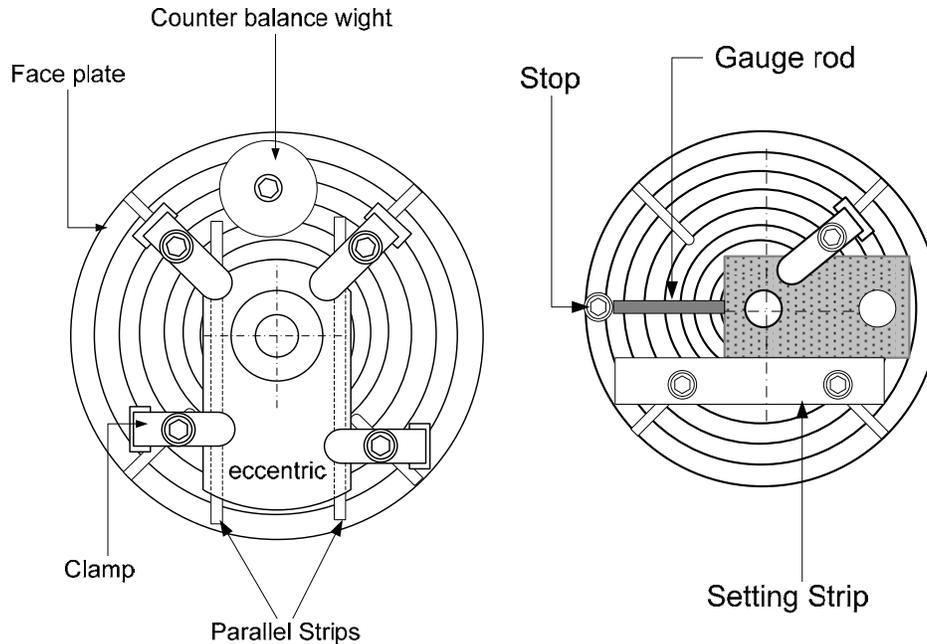
**Gambar 9.28** Pemasangan benda kerja dengan menggunakan klem

Salah satu pengembangan pemakaian *face plate* ini dimana masing-masing telah dimachining, sehingga penahan digunakan secara cepat, Lubang atau hasil pengeboran dapat dipisahkan dengan garis, pembatas ; gauges block dan setting strip (lihat gambar 9.29).



**Gambar 9.29** Pemakaian *face plate* pada yang telah dikerjakan (dimachining)

Bagian luar dari casting (benda kerja) dan permukaan yang berdekatan dengan face plate telah dimachining dan posisi lubang telah ditandai (dilukis), *naf* pada casting terpaksa ditempatkan pada parallel strip.



**Gambar 9.30** Pemasangan benda kerja pada face plate

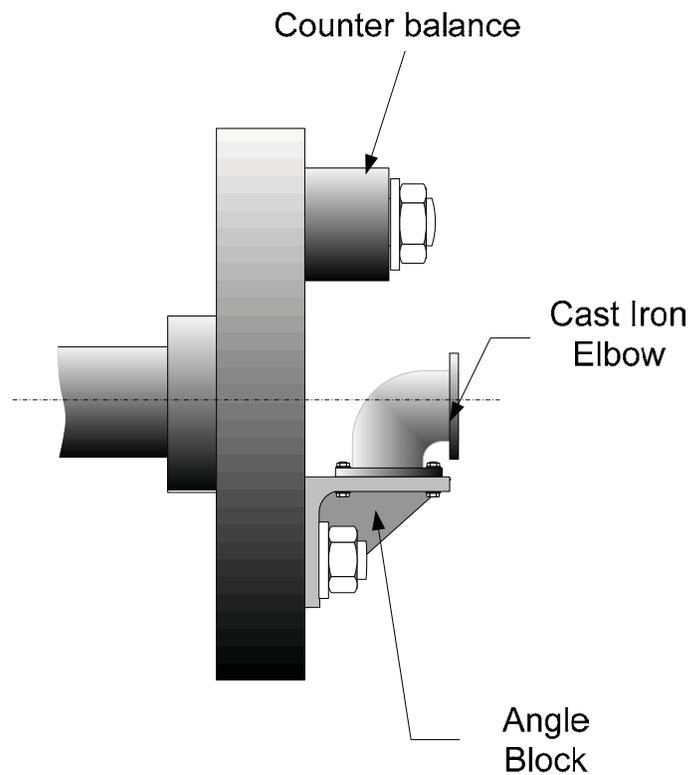
Untuk menyetel kedudukan casting atau benda kerja dengan bentuk eksentrik seperti diperlihatkan pada gambar 9.29, dapat dilakukan dengan langkah penyetelan sebagai berikut :

- Tempatkan face plate pada meja kerja menghadap ke atas, bersihkan permukaan face plate dimana benda kerja akan ditempatkan dari kotoran dan debu.
- Tempatkan benda kerja diatas Parallel strip, dengan posisi pendekatan pada posisi yang diinginkan diatas face plate.
- Kedudukan lubang pengeboran dari benda kerja mendekati titik sumbu face plate, dengan menggunakan surface gauge atau pelengkapan yang sesuai lakukan pengukuran dari bagian luar face plate.
- Lakukan penjepitan ringan pada benda kerja. Hindari pemakaian baut yang terlalu panjang dari panjang yang diinginkan, kemudian jepit benda kerja dengan clamp diatas parallel strips.

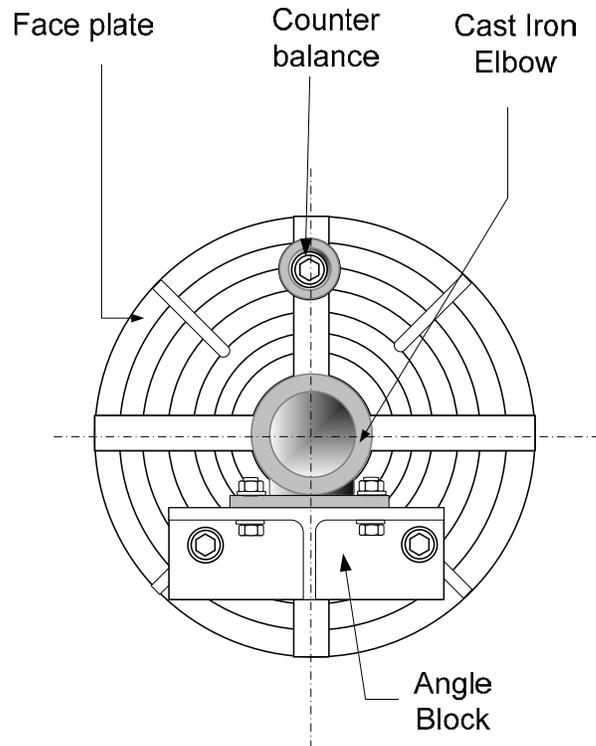
- Tempatkan face plate pada spindle nose dan periksa kebenaran posisinya dengan memutarnya dengan tangan.
- Stel kesesuaian benda kerja dengan palu lunak. (untuk benda kerja yang berat gunakan takel (hoist)).
- Kencangkan semua Clamp dan periksa seluruh hasil penyetelan
- Pasanglah counter balance
- Lakukan proses pemesinan (machining).

**g. Pemasangan benda kerja dengan kedudukan Blok siku**

Blok siku digunakan dalam pemasangan benda kerja yang memiliki bentuk tidak beraturan, dimana pemakaian blok siku ini merupakan pilihan yang dianggap tepat dan efisien. Blok siku yang bersudut  $90^{\circ}$  sebagai penghubung kedudukan benda kerja pada face plate. *Cast iron elbow* didudukan pada bagian luar face plate dengan bantuan blok siku. Benda kerja (elbow cast-iron) dijepit pada blok siku tersebut dengan baut (lihat gambar 9.31a dan 9.31b).

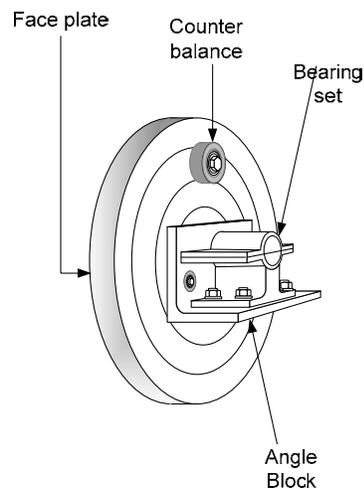


**Gambar 9.31a**



**Gambar 9.31b** Pemasangan benda kerja dengan kedudukan Blok siku

Contoh lainnya pemasangan benda kerja dengan menggunakan face plat itu antara lain proses machining pada *bearing set* (gambar 9.32), yakni pemasangan untuk menentukan hasil pembubutan yaitu bore sejajar dengan dasar (landasan) angle plate yang didisain khusus untuk kedudukan split bearing dengan ukuran tidak melewati batas luar dari face plate, karena perpanjangan ini dapat mengakibatkan bahaya jika sampai terkena pada bed mesin.



**Gambar 9.32** Pemasangan *bearing set* pada face plate

**h. Alat-alat potong pada mesin bubut dan pembentukannya**

Sebelum kita bahas lebih jauh tentang proses pemesinan melalui pekerjaan bubut, sebaiknya kita melihat terlebih dahulu salah satu alat potong utama yang digunakan pada mesin bubut yakni pahat bubut, karena sebagaimana fungsi mesin bubut dalam pembentukan benda kerja tersebut sangat kompleks dan bervariasi, tentu saja untuk melakukan fungsi-fungsi tersebut diperlukan alat potong yang bervariasi pula, namun pahat bubut ini merupakan alat potong utama dalam pekerjaan bubut, misalnya pekerjaan mengebor dapat dikerjakan pada mesin bor walaupun dikerjakan dengan mesin bubut akan lebih baik.

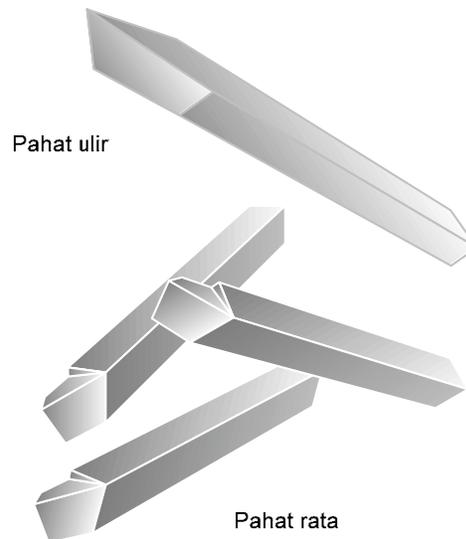
• **Jenis dan tipe pahat bubut.**

Secara umum tipe pahat bubut dapat dibedakan menjadi dua tipe yakni : Solid tool, dan Tool bits.

Solid tool ialah pahat bubut yang berukuran besar dibuat dari baja perkakas paduan (alloy tool steel) atau High Speed Steel (HSS). Seperti pada gambar 9.33.

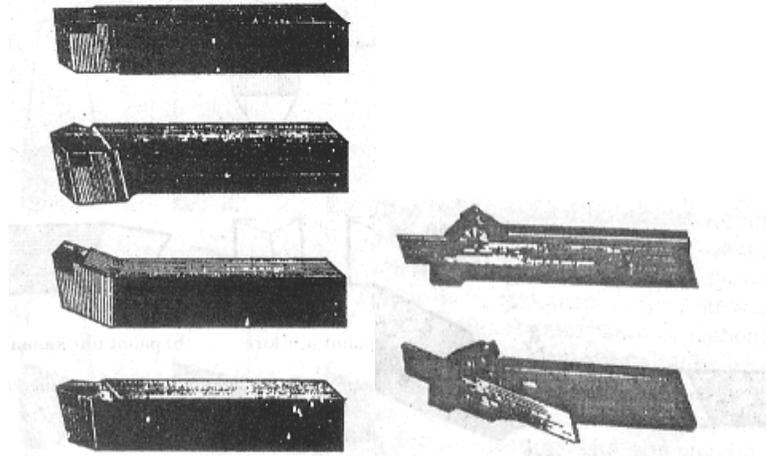
Pahat dari jenis ini digunakan dalam pekerjaan penyayatan bahan-bahan lunak (seperti baja lunak /Mild Steel).

Pemasangannya langsung dijepit pada tool post, namun terdapat pula ukuran yang kecil (1/4 ") ini dipasang pada tool holder, pahat ini termasuk solid tool.



**Gambar 9.33** Pahat bubut

Tool bit ialah pahat yang hanya terdiri atas mata potongnya dan harus menggunakan tool holder, dengan spesifikasi khusus sesuai dengan bentuk tool bit itu sendiri, atau di *brazing* pada tangkainya (lihat gambar 9.34).

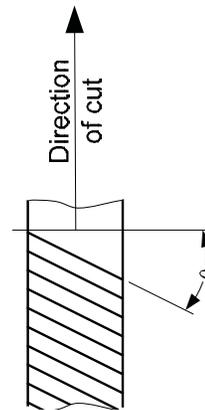


**Gambar 9.34** Pahat bubut menggunakan pegangan (tool holder) (a) Tool bit (b) Pahat potong

- **Sudut kemiringan pada pahat bubut**

Kikir menunjukkan proses penyayatan pada benda kerja yang secara langsung dapat kita rasakan pengaruh penyayatan tersebut. Proses penyayatan yang terjadi ini ternyata salah satunya disebabkan oleh adanya sudut kemiringan dari sisi sayat mata kikir tersebut sebagai alur untuk membuang tatal (chips) keluar dari bidang pemotongan.

Gambar 9.35 memperlihatkan ilustrasi dari mata kikir yang menunjukkan bahwa setiap sudut kemiringan dari mata kikir tersebut langsung pada pemotongan. Walaupun dalam pekerjaan mengikir terjadi variasi sudut yang disebabkan oleh gerakan manual kadang meningkat atau menurun tergantung gerakan kikir, namun sudut ini memberikan sisi buang untuk mengeluarkan tatal (chips) walaupun hal ini tidak nampak hingga pemotongan terlihat dibawah mikroskop.

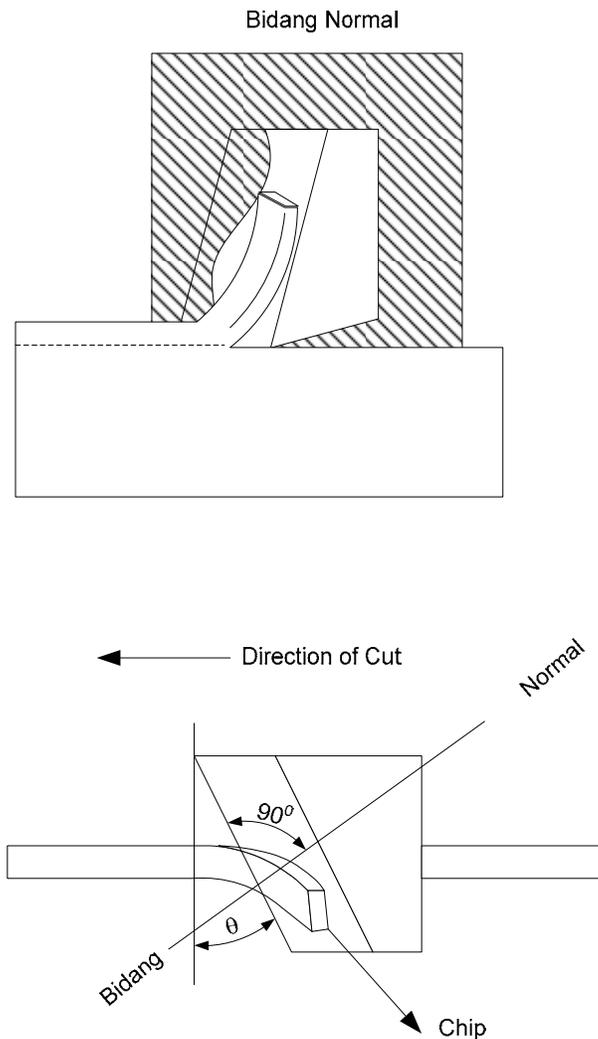


**Gambar 9.35** sisi potong tunggal pada kikir

Prinsip yang sama diterapkan pada cutting tool yang memiliki satu mata potong, namun hasilnya ternyata berbeda dengan alat potong yang memiliki mata potong lebih dari satu.

- **Pengaruh sudut kemiringan sisi potong**

Pada gambar 9.36 diperlihatkan bahwa faktor utama dalam performa alat potong terdapat pada sudut rake (sudut sayat) yang diukur mendatar dari sisi potong, kemiringan sisi potong inilah yang menyebabkan tatal terangkat secara cepat dari permukaan yang membentuk sudut normal mendekati pada sudut kemiringan tadi

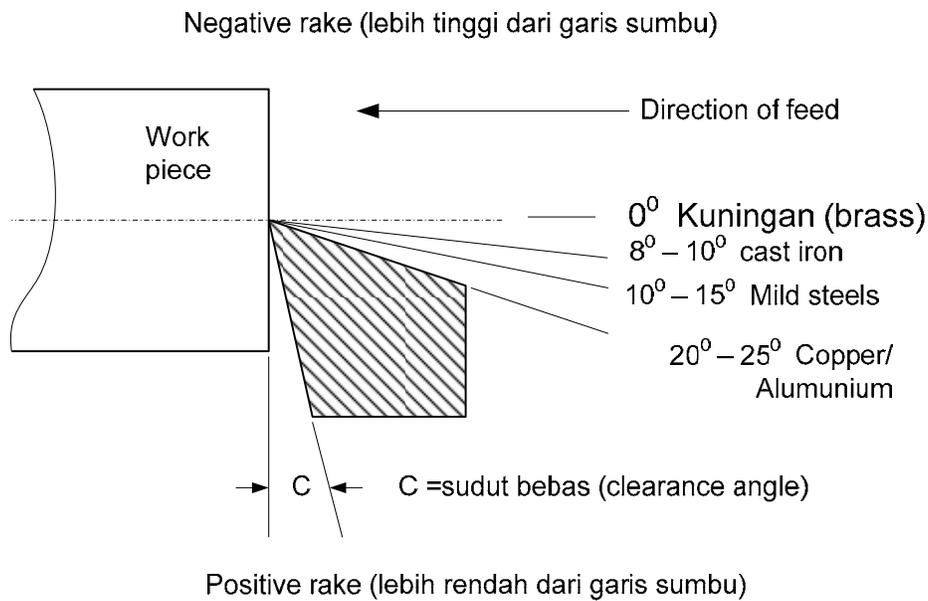


**Gambar 9.36** Sudut sayat pada pahat bubut

- **Sisi sayat normal (normal rake)**

Peningkatan sisi sayat dari keadaan normal akan menurunkan gaya pemotongan sehingga diperlukan daya yang lebih besar, hal ini biasanya dilakukan pada proses finishing akan tetapi tegangan pada alat potong akan berkurang karena diserap oleh sudut baji (wedge angle) secara tegak dan cenderung mengurangi umur pahat.

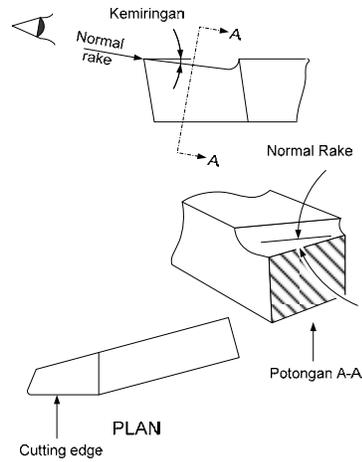
Gambar 9.37 memperlihatkan pahat positif (Positive rake) dan berbeda sesuai dengan bahan yang dipotong, walaupun ini hanya pendekatan.



**Gambar 9.37** Sisi sayat normal

• **Kemiringan pada Pahat bubut**

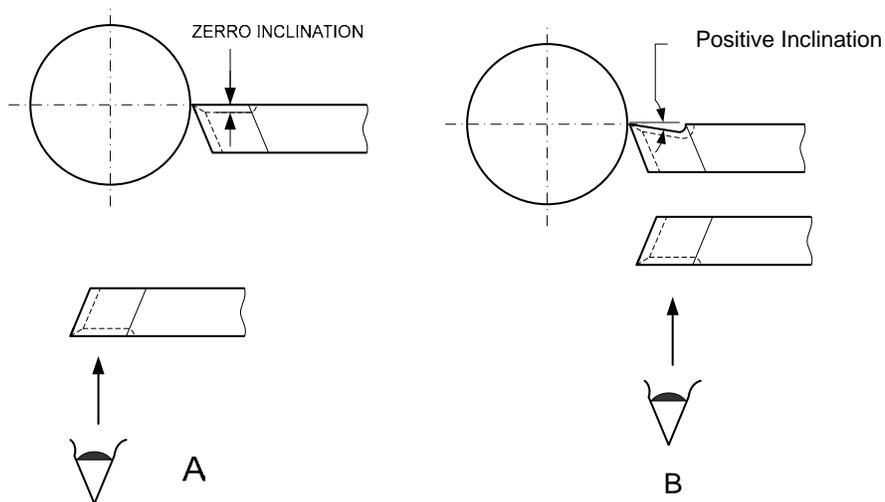
Pengendalian kemiringan pahat dilakukan untuk mengendalikan aliran chip serta permukaan benda kerja hasil pebubutan, untuk itu maka perlu untuk melakukan identifikasi berikut : Periksa kebenaran sisi potong, lihat  $90^{\circ}$  dari sisi potong beberapa gerakan menyudut dari sumbu pahat apakah kemiringannya positif atau negative (lihat gambar 9.38)

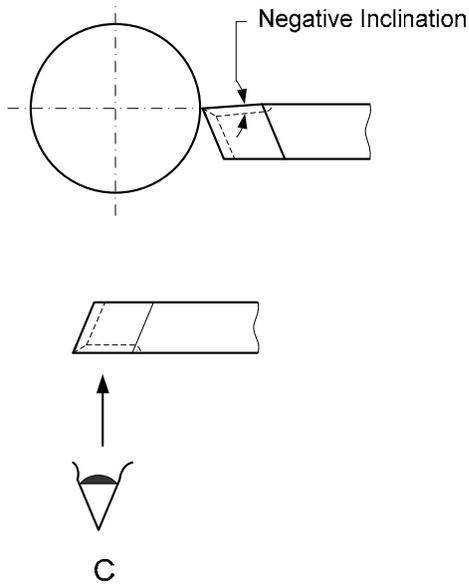


**Gambar 9.38** Kemiringan pahat bubut

Pahat terpasang pada tool holder dengan kemiringan mendekati  $15^{\circ}$ , sehingga dengan bentuk pahat yang diasah pada *zero inclination* (pahat dengan kemiringan 0) dalam pemakaiannya menjadi "positive inclination" (pahat positif)

Gambar 9.39 memperlihatkan hubungan antara kemiringan sisi sayat serta berbagai dimensi dari pahat bubut dalam pemasangannya pada mesin bubut, Ketinggian pahat terhadap sumbu benda kerja.



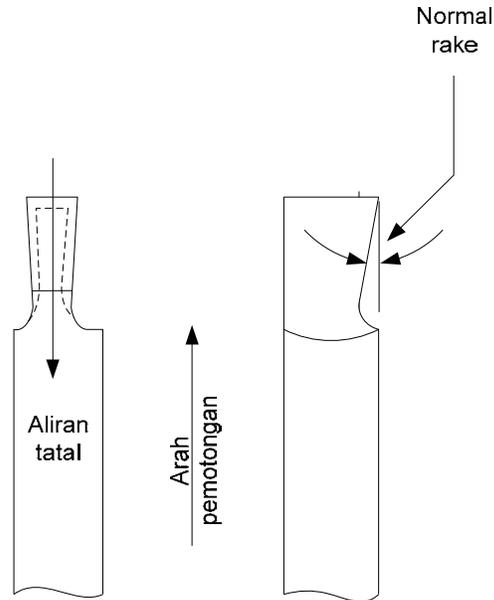


**Gambar 9.39** Kemiringan sisi sayat terhadap dimensi pahat bubut  
A. Pahat netral (0)  
B. Pahat Positif  
C. Pahat Negatif

**i. Arah pemakanan (Direction of Cutting)**

Dalam penerapan penyetalan dan pemasangan pahat pada mesin bubut terlebih dahulu harus mempertimbangkan posisi sisi pemotong dalam hubungannya dengan arah pemakanan yang akan dilakukan. Terdapat tiga arah pemakanan yang biasa dilakukan, yaitu : Plunge cutting, yakni pemakanan yang mengarah kesumbu benda kerja. Dalam proses pemakanan ini sisi pemotong berada pada bagian depan dari alat potong tersebut dengan demikian pemotongan ini cenderung pada pemotongan segi empat (orthogonal cutting) sebagai contoh pada pahat alur. Dalam kasus ini chip (tatal) bergerak pada  $90^{\circ}$  dari sisi pemotong dalam hubungannya dengan benda kerja dan membentuk per jam (spiral type chip). Hal ini sebagaimana terjadi dalam pemotongan sepanjang pemotongan dengan menggunakan pahat normal.

Pada gambar 9.40 memperlihatkan bentuk pahat posisif (Positiv Inclination). Dalam mengasah pahat normal ini diperlukan identifikasi yang cermat untuk memastikan kebenaran bentuk pahat tersebut agar diperoleh efisiensi dalam pemotongan. (lihat gambar 9.41).



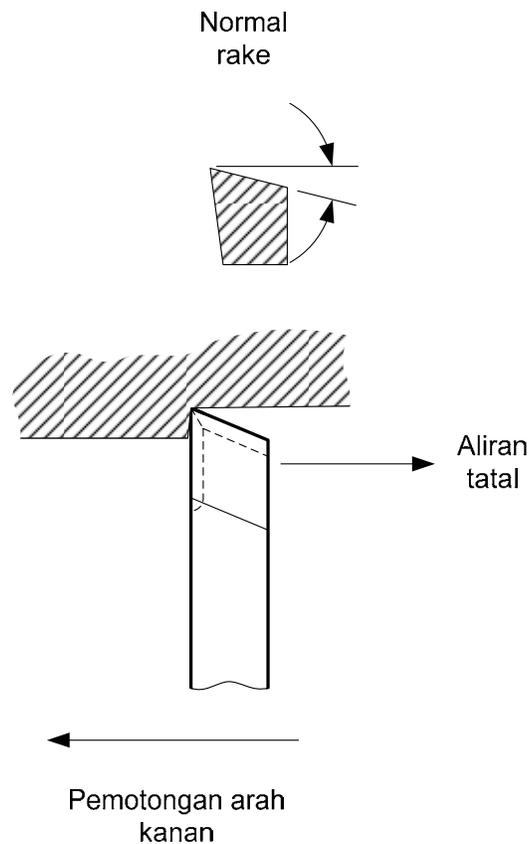
**Gambar 9.40** Bentuk hasil pengasahan pahat bubut

- **Pemotongan kanan dan pemotongan kiri**

Dalam proses pembubutan dimana terjadi proses pemotongan dari alat potong terhadap bahan benda kerja, membentuk dengan mengurangi bagian bahan benda kerja kedalam bentuk benda sesuai dengan bentuk yang dikehendaki dilakukan dengan pergeseran pahat, maju, mundur, kekiri atau kekanan dalam pemakanan yang berlawanan dengan sisi pemotong dari pahat sebagaimana diuraikan diatas.

Pemotongan kanan (right-hand cutting) ialah pemotongan dimana pahat (tool) memiliki sisi potong sebelah kiri sehingga dengan gerakan pahat kekiri akan terjadi perlawanan kearah kanan. Dalam proses pemotongan yang disebut sebagai pemotongan kanan ini ialah dimana sisi pemotong kontak kelonggaran ujung benda kerja. Dalam kasus pemotongan yang menggunakan pahat kanan, dimana sisi pemotong kontak dengan ujung benda kerja, dengan kebebasan sisi pemotong dan kebebasan muka. Jika sisi potong distel sejajar

dengan bed mesin ketinggian pahat pada posisi sejajar sumbu arah pemakanan pada posisi  $90^{\circ}$ , maka pemotongan dengan arah segi empat yang terjadi. Aliran tatal berlawanan normal pada sisi portong yang berbentuk “pegas jam” (gambar 9.41).



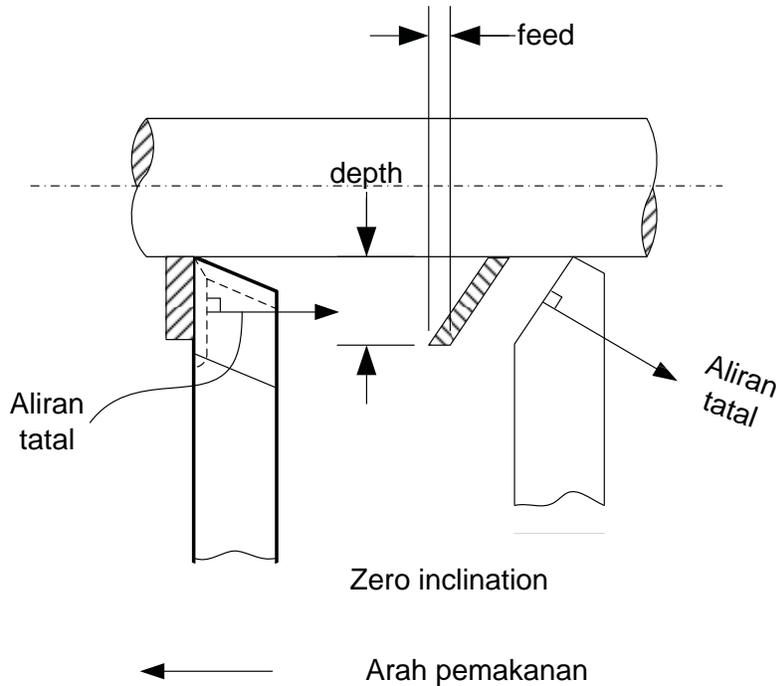
**Gambar 9.41** Kebebasan sisi pemotong dan kebebasan muka pada pemotongan dengan pahat bubut

Proses pemotongan dengan “pahat kanan” ini memiliki kelemahan antara lain :

- *Chip (tatal) susah dikendalikan dan hasil akhir pengerjaan beralur*  
Pada bagian melintang chip (tatal) lebih tebal dari pada feeding yang diberikan sehingga tatal terpotong-potong seperti pada pemotongan bahan yang keras.

- *Pendekatan sudut dan sisi sudut potong*

Untuk mengatasi berbagai kesulitan diatas terutama dalam pemotongan berat atau pengasaran (roughing) Sisi pemotong distel pada sudut searah dengan pemakanan (feed). Sudut sisi potong dibentuk pada mesin gerinda alat (tool Cutter grinder), sebagai pengaruh terhadap penipisan tatal (chip) pada bagian melintang tetapi akan melebar sejalan dengan meningkatnya kedalaman pemakanan.(gambar 9.42).



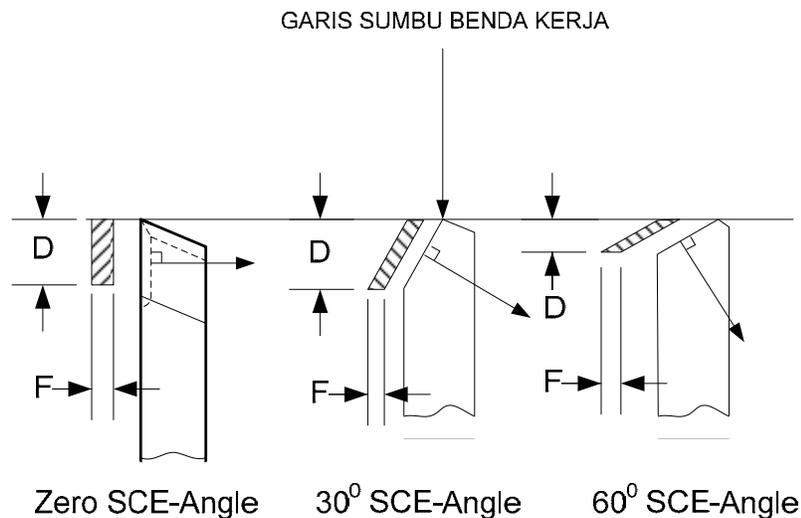
**Gambar 9.42** Pendekatan sudut dan sisi sudut potong

Pada gambar 9.42 terlihat bahwa melalui pendekatan bentuk sisi potong pada bagian sudut sejajar sumbu dari benda kerja, luas penampangnya sama tetapi dengan chip yang lebih tipis, sehingga garis chip dapat mengalir pada bidang yang telah dikerjakan.

Dengan demikian hal ini juga akan meningkatkan usia pakai dari pahat tersebut melalui pembagian sepanjang kelebihan panjang sisi potong, namun jika pendekatan pada susut potong ini juga terlalu kecil maka akan menimbulkan getaran yang dapat mempercepat pula penyerapan umur pakai dari pahat tersebut.

Pada saat mengasah alat potong, apakah itu pahat positif atau pahat negative, sudut sisi potong dibuat yang disebut penulangan yakni sudut sisi potong yang harus kuat dan kaku selama pemakaian.

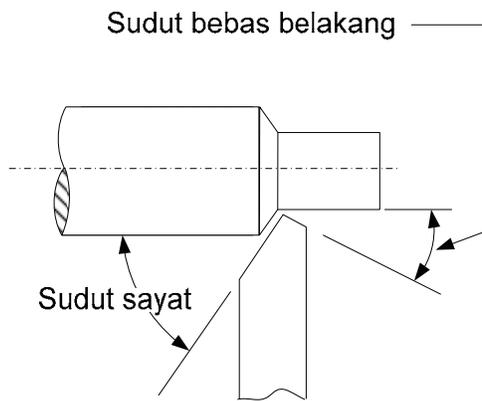
Gambar . 9 43 memperlihatkan sisi potong (side Cutting –edge = SCE) dengan sudut  $0^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$  dan  $60^{\circ}$  dibentuk melalui proses tool cutter grinder (gerinda alat), walaupun ini bersifat subjek dalam penyetelan tool dalam hubungannya dengan proses membentuk permukaan dalam pemesinan. Pengaruh yang sama akan dirasakan pada saat menggerinda sisi potong dari pahat bubut yang bersudut  $15^{\circ}$  dengan memposisikan pahat pada sudut dimana pahat dalam kondisi pemotongan.



**Gambar . 9 43** Proses pemotongan pahat bubut  
 D = Depth  
 F = Feed

- **Pembentukan sudut relief pada ujung pahat**

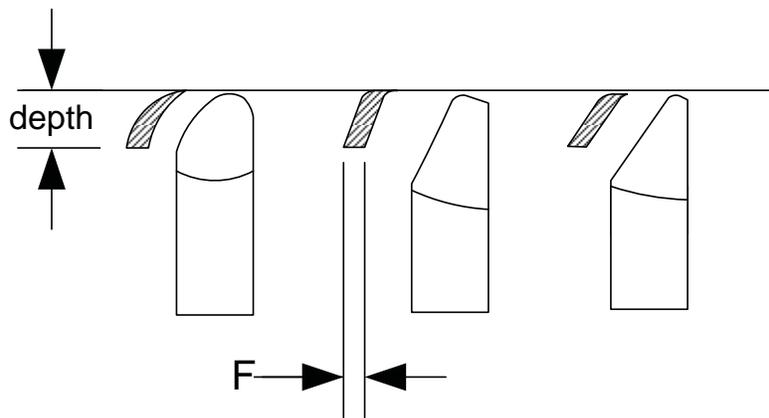
Pembentukan sudut pahat yang benar dalam persiapan proses pembubutan ini sangat penting untuk menentukan permukaan akhir benda kerja yang kita kerjakan. Dalam pembentukan pahat terutama dalam pengerjaan pengasaran (roughing) sudut bebas belakang (relief angle) harus diperbesar, oleh karena itu dalam mengasah pahat sudut relief ini harus dibentuk sedemikian rupa untuk menghindari gesekan terhadap permukaan benda kerja tetapi juga harus mempertimbangkan kekuatan pahat itu sendiri. gambar . 9. 44.



**Gambar 9.44** Sudut sayat dan sudut bebas

- **Nose Radius**

Pembentukan radius dibagian ujung pahat akan menghindari penyebaran panas dan melindungi kerusakan pahat serta akan menghasilkan permukaan hasil pembubutan yang halus. Radius yang dibentuk tidak harus terlalu besar, karena radius yang besar akan mengakibatkan pembentukan chip yang tidak terkendali.

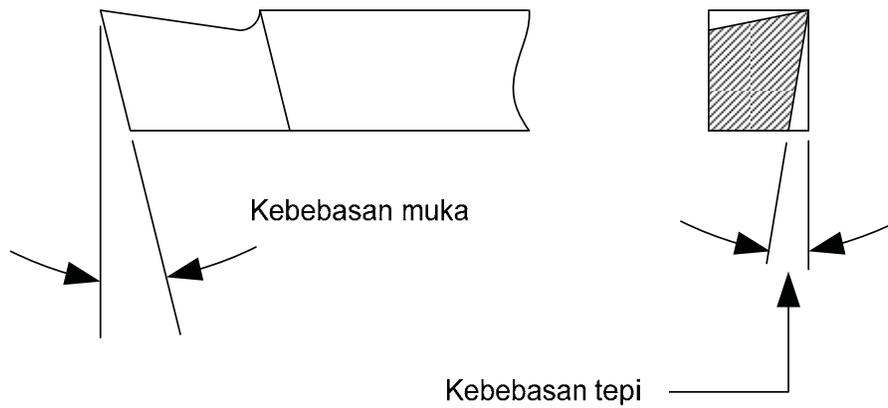


**Gambar 9.45** Sisi potong pahat bentuk radius

Gambar 9.45 memperlihatkan pengaruh yang bervariasi terhadap bentuk chip pada kedalaman pemakanan (depth of cut) tertentu. Untuk pembubutan normal radius dibuat antara 0,5 sampai 2,0 mm akan menghasilkan permukaan yang baik.

- **Sudut bebas (clearance angle)**

Sudut bebas untuk sebuah alat potong merupakan syarat yang harus dibentuk dalam proses pengasahan, dimana sudut bebas ini adalah kemiringan sisi bagian bawah dari sisi sayat yang memungkinkan pahat itu masuk kedalam benda kerja. Sudut-sudut kebebasan itu antara lain sudut bebas depan dan sudut bebas te



**Gambar 9.46** Kebebasan muka dan tepi pada pahat bubut

Bagian-bagian sudut ini adalah bagian yang secara bertahap dan teru menerus berhubungan dengan permukaan benda kerja dan akibatnya akan menimbulkan panas, aus sehingga permukaan benda kerja menjadi kasar.

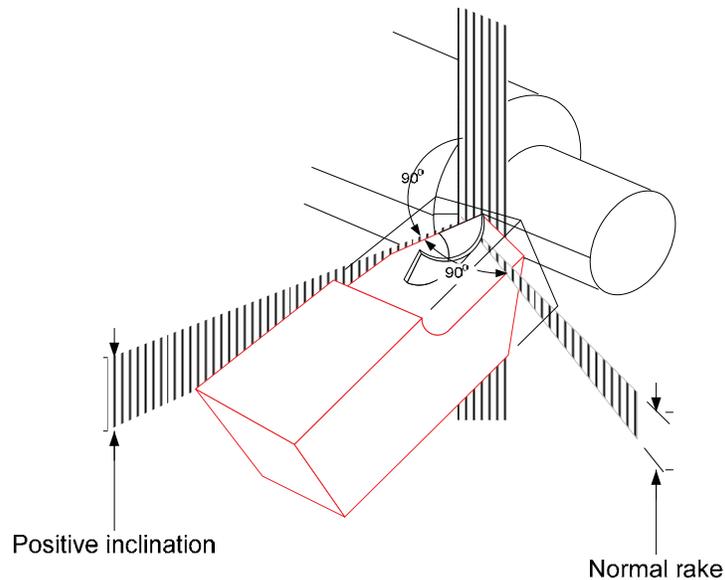
Kombinasi antara sudut sisi potong dan sudut kebebasan tepi satu bentuk permukaan yang dibentuk melalui satu kali pengerindaan sedangkan sudut relief dan sudut kebebasan muka dibentuk dalam dua kali pengerindaan. Pengasahan (penajaman) ulang dilakukan pada kedua posisi ini yang dilanjutkan dengan membentuk radius nose. (lihat gambar 9.46). Sudut-sudut tersebut harus memiliki ukuran yang cukup untuk menghindari terjadinya gesekan, biasanya antara  $3^{\circ}$  sampai  $8^{\circ}$  sedangkan untuk Aluminium dan non-logam antara  $12^{\circ}$  sampai  $15^{\circ}$

- **Panduan dalam memilih pahat bubut**

Dilihat dari bentuk dan dimensional pahat bubut seperti yang telah dibahas pada uraian tersebut di atas yang merupakan bentuk dasar yang secara umum harus dimiliki oleh pahat bubut atau alat-alat potong tunggal lainnya, akan tetapi secara ringkas beberapa acuan yang dapat digunakan sebagai panduan dalam memilih pahat bubut antara lain sebagai berikut :

Secara umum sisi penyayatan normal berada sudut positif secara maximum untuk memberikan ketahanan umur pakai dari pahat tersebut :

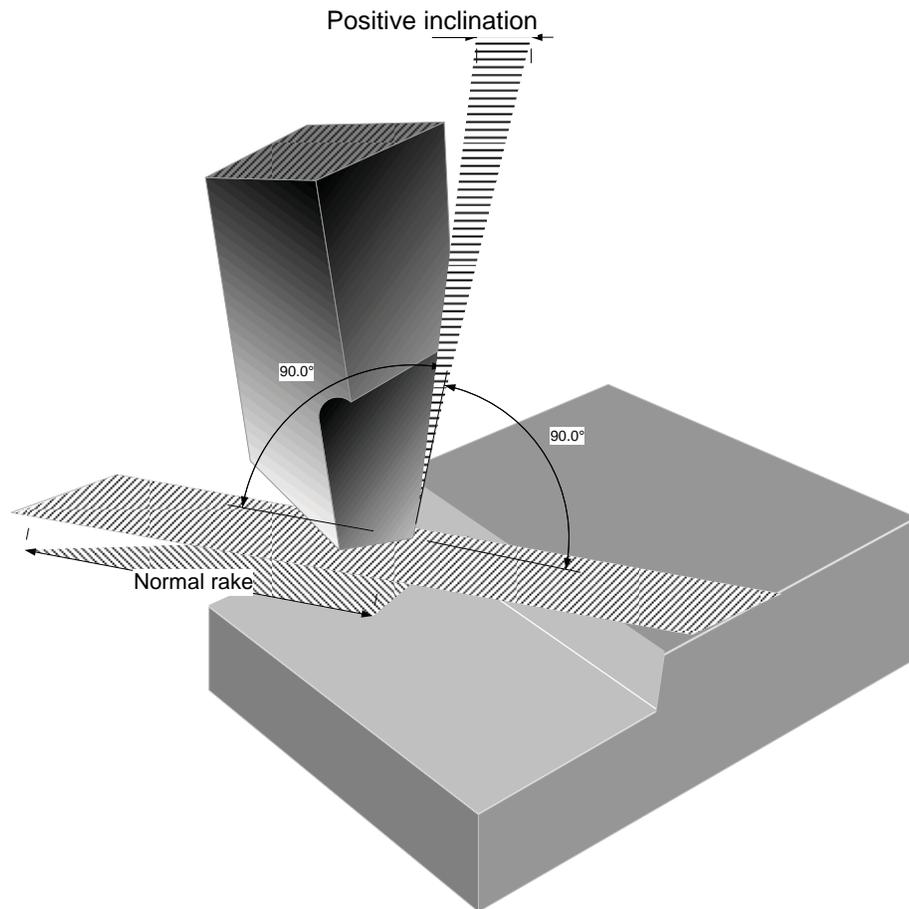
- Sudut sayat (approach angle) harus cukup besar dan rigid (kaku) terhadap benda kerja.
- Untuk pengasaran (rough) berada pada kemiringan 0 (zero inclination) atau sedikit negative untuk memberikan kekuatan pada pahat tersebut, sedangkan untuk finishing diperlukan kemiringan positif (Positive Inclination) agar diperoleh permukaan akhir yang halus (lihat gambar 9.47).
- Radius hidung (Nose radius) harus cukup menghindari patahnya ujung pahat serta gerakan yang halus pada permukaan benda kerja.
- Sudut kebebasan belakang (end relief angle) harus cukup untuk menghindari gesekan (rubbing)



**Gambar 9.47** Proses penyayatan pahat bubut

Pada gambar 9.48 memperlihatkan sudut pahat skrap dalam penyayatan benda kerja, dimana merupakan apresiasi dan menjadi dasar yang sama dengan sudut-sudut pada pahat bubut.

Jadi secara prinsip sudut-sudut potong dari alat potong untuk pemotongan logam (metal cut-ting) memiliki bentuk yang sama untuk semua jenis mesin.



**Gambar 9.48** Proses penyayatan pahat sekrap

- **Pahat bubut untuk pemotongan bahan-bahan cor atau tuangan (casting)**

Pada dasarnya semua pahat bubut atau alat potong mesin memiliki dimensi yang rata-rata sama, perbedaan seperti yang dijelaskan pada Gambar 9.38 dimana pergeseran pembentukan sudut kemiringan dari posisi normal (normal rake) sangat berpengaruh antara lain terhadap bentuk permukaan hasil pemotongan serta umur pakai dari pahat itu sendiri, untuk besi tuang (cast-iron) ditentukan kemiringannya adalah antara  $8^{\circ}$  hingga  $9^{\circ}$  dari kemiringan 0 (zero inclination), kendati terdapat beberapa jenis cast iron yang memiliki sifat mendekati pada sifat besi tempa (wrought-iron) seperti pada malleable cast iron, namun pada umumnya benda-benda tuangan (casting) memiliki butiran kasar yang relatif mengikis alat potong itu sendiri, sehingga menimbulkan getaran (Vibration) dan permukaan hasil pembubutan menjadi kasar serta mempercepat tumpul atau ausnya pahat itu sendiri.

Sebagaimana yang telah diuraikan bahwa jenis pahat bubut itu terdapat dalam dua tipe yakni tipe solid tool dan tool bit, tool bit berbeda dengan solid bit yang dipasang pada "tool holder" (tidak termasuk pahat kecil yang dipasang pada jenis tool holder pada gambar 9.40), melalui penjepit yang dirancang secara khusus atau di "brazing".

Tool bit dirancang dengan bentuk sedemikian rupa dari bahan metallic carbide melalui proses pengikatan (binder) dengan sifat mekanik yang baik: sangat keras dan memungkinkan untuk pemotongan yang efisien. Dikembangkan dari High Speed Steel (HSS) untuk pemakaian yang lebih luas.

Kendati *cemented carbide tool* ini memiliki sifat pemotongan yang baik namun juga memiliki berbagai jenis atau kelas untuk fungsi pemakaian yang berbeda-beda antara lain dengan kelompok dalam spesifikasi **P**, **M** dan **K**, dimana **P** merekomendasikan pemakaian untuk pemotongan bahan yang menghasilkan long chip (tatal panjang) atau chipping materials ; seperti baja (steel), **K** direkomendasikan pemakaiannya untuk pemotongan dengan tatal pendek (short chipping materials) seperti besi tuang (Cast-iron) dan bahan-bahan tungan lainnya (Casting). Sedangkan jenis **M** dapat digunakan pada berbagai jenis bahan seperti steel casting, malleable cast-iron dan lain-lain.

Perbedaan dalam klasifikasi ini adalah berdasarkan sifat dari pahat itu sendiri seperti keuletan (toughness) serta ketahanannya (wear resistance), juga diklasifikasikan menurut penomoran dari nomor 01 sampai 50 diantaranya pada pahat dengan nomor yang besar tingkat keuletannya (toughness) lebih tinggi namun ketahanannya (wear resistance) yang lebih rendah disamping itu pula terdapat penandaan dengan warna, seperti biru, kuning, dan merah. (Lihat tabel berikut).

Pahat dari jenis "tool bit" ini dibuat dalam bentuk "sisipan" sesuai dengan pemasangannya pada tool holder atau disebut "insert" yang juga memiliki klasifikasi yang berbeda pula menurut bentuk dan dimensi pahat serta berbagai feature yang dibutuhkan seperti yang diuraikan dalam pembentukan pahat Solid tool. Hal ini "insert" diberikan dalam berbagai sifat dan karakteristik pemakaian melalui simbol-simbol, yang terdiri atas satu huruf dan dua angka ("single-letter and double numeral"), 9 digit klasifikasi pokok ditentukan oleh 7 sifat pokok. Sebagai tambahan ditentukan maximum oleh 4 simbol berdasarkan keadaan sisi potong serta arah pemotongan dan pemilihan posisi, (2 digit) untuk kode manufaktur.

Pada gambar diperlihatkan simbol "T" menunjukkan bentuk segitiga (triangle), untuk clearance ditandai dengan huruf dimana adalah P yang menunjukkan 19 dan G menunjukkan toleransi untuk IC ("inscribed circle") tentang ini lihat uraian berikut, of + or – 0,025mm, tebal : of + or – 0,09 dan karakteristik dimensi of + or – 0,025 mm.

Ukuran yang berhubungan dengan konfigurasi tebal dan sudut diperlihatkan oleh 2 digit, simbol ukuran ini diperoleh dari nilai nomor panjang sisi potong dalam millimeters (mm). Demikian halnya dengan tebal ukuran desimal diabaikan dan diambil satu digit yang ditunjukkan dengan 0 (zero), Konfigurasi sudut sesuai dengan nilai sudut radius. Untuk keadaan kualifikasi yang khusus juga ditunjukkan dengan simbol-simbol huruf yang mengindikasikan alur tatal (Chip groove) di atas permukaan sisi sayat dan atau kelengkapan lainnya.

**Tabel 9.1** Simbol penunjukan kualifikasi khusus

SIMBOL	KATAGORI UMUM BAHAN YANG AKAN DI-MACHINING	WARNA PEMBEDA	TANDA PENUNJUKAN	BAHAN YANG AKAN DI-MACHINING	PEMAKAIAN DAN KONDISI Pengerjaan	PENINGKATAN DAN ARAH PEMAKANAN			
<b>P</b>	Logam Ferro dengan chip panjang	<b>BLUE</b>	P 01	Steel and steel Casting	Finish turning and boring, High cutting speed, small chip section, accuracy of dimensional and fine finish, vibration-free operation	Peningkatan kecepatan (Speed)	Peningkatan pemakanan (feed)	Wear resistance	Toughness
			P 10	Steel and steel Casting	Turning, copying, threading and milling, High cutting speed, small or medium chip sections.				
			P 20	Steel and steel Casting Malleable Cast Iron with long chip	Turning, copying, milling, Medium cutting speed and chip sections Planning with small chip sections.				
			P 30	Steel and steel Casting Malleable Cast Iron with long chip	Turning, Milling, Planning, Medium or low cutting speed, large chip section, and matching in unfavourable condition*				
			P 40	Steel, Steel Casting, with sand inclusion and	Turning, Planing, sloting low Cutting speed, large chip section with the possibility of large cutting angle for				

Teknik pengecoran logam

SIMBOL	KATAGORI UMUM BAHAN YANG AKAN DI-MACHINING	WARNA PEMBEDA	TANDA PENUNJUK KAN	BAHAN YANG AKAN DI-MACHINING	PEMAKAIAN DAN KONDISI Pengerjaan	PENINGKATAN DAN ARAH PEMAKANAN			
				cavities.	machining in unfavourable condition* and work on automatic machine.				
			P 50	Steel, Steel Casting of medium of tensile strength with sand inclusion and cavities.	For operation demanding very tough carbide; Turning, planning, sloting, low Cutting speed, large chip section, with the possibility of large cutting angle for machining in unfavourable condition* and work on automatic machine.				
<b>M</b>	Ferrous Metals with long or short chips and non-Ferrous metals	<b>YELLOW</b>	M 10	Steel, Steel Casting, Manganese Steel, Grey Cast Iron, alloy Cast Iron	Turning, Medium or high cutting speed , small or medium chip section.	Peningkatan kecepatan (Speed)	Peningkatan pemakanan (feed)	Wear resistance	Toughness
			M 20	Steel, Steel Casting, austenite of Manganese steel, Grey Cast Iron.	Turning, milling, medium cutting speed and chip section				
			M 30	Steel, Steel Casting, austenite steel, Grey Cast Iron, high temperature resistance alloy.	Turning, Milling, Planing, Medium cutting speed, medium or large chip section.				

Teknik pengecoran logam

SIMBOL	KATAGORI UMUM BAHAN YANG AKAN DI-MACHINING	WARNA PEMBEDA	TANDA PENUNJUKKAN	BAHAN YANG AKAN DI-MACHINING	PEMAKAIAN DAN KONDISI Pengerjaan	PENINGKATAN DAN ARAH PEMAKANAN			
			M 40	Mild Free Cutting Low tensile Steel, non-Ferrous metals and light alloy.	Turning parting of, particularly on automatic machine				

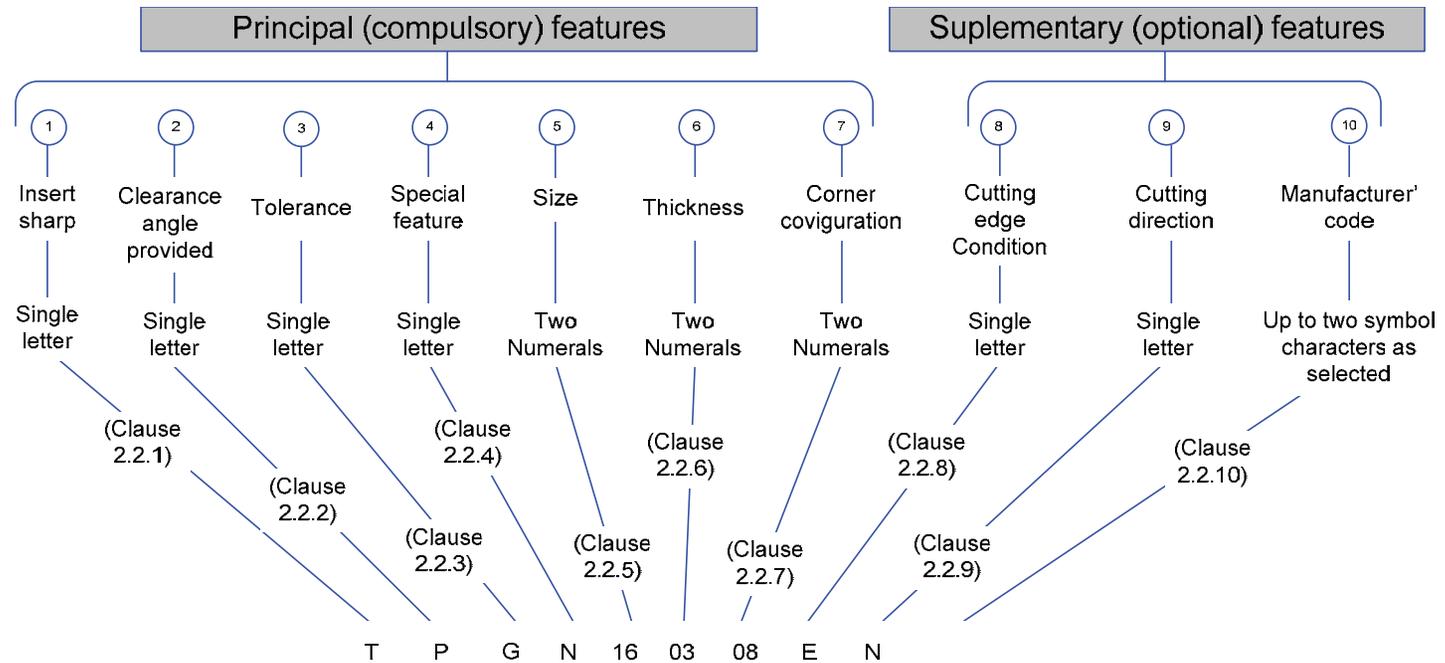
MAIN GROUPS OF CHIP REMOVAL				GROUPS OF APPLICATION (KELOMPOK PENERAPAN)		PENINGKATAN DAN ARAH PEMAKANAN			
SIMBOL	KATAGORI UMUM BAHAN YANG AKAN DI-MACHINING	WARNA PEMBEDA	TANDA PENUNJUKKAN	BAHAN YANG AKAN DI-MACHINING	PEMAKAIAN DAN KONDISI Pengerjaan				
<b>K</b>	Ferrous Metals with short chips and non-Ferrous metals and non-	K E K	K 01	Very hard Grey Cast Iron, Cilled Casting of over 85 Shore, High Silikon Alumunium Alloy, harden-ed Steel, Highly abrasive Plas-tics,hard	Turning, finish turning, boring, Milling, scraping.				

Teknik pengecoran logam

MAIN GROUPS OF CHIP REMOVAL				GROUPS OF APPLICATION (KELOMPOK PENERAPAN)		
SIMBOL	KATAGORI UMUM BAHAN YANG AKAN DI-MACHINING	WARNA PEM-BEDA	TANDA PENUN-JUKKAN	BAHAN YANG AKAN DI-MACHINING	PEMAKAIAN DAN KONDISI Pengerjaan	PENINGKATAN DAN ARAH PEMAKANAN
	metallic materials			carboard, Ceramic.		
			K 10	Grey Cast Iron over 220 Brinell, malleable Cast Iron with short chip, hardened steel, Silikon Alumunium Alloys, Copper Alloy, Plastic, glas, hard rubber, hard carboard, porcelain, stone,	Turning, Milling, Boring, Broacing, scraping	
			K 20	Grey cast Iron up to 220 Brinell, non-ferrous metals ;copper, brass, Alumunium	Turning, Milling, Planing, Boring, Broaching, demanding very tough carbide.	
			K 30	Low hardened grey cast Iron, low tensile	Turning, Milling, Planing, Sloting, machining in unfavourable condition*	

MAIN GROUPS OF CHIP REMOVAL				GROUPS OF APPLICATION (KELOMPOK PENERAPAN)		PENINGKATAN DAN ARAH PEMAKANAN			
SIMBOL	KATAGORI UMUM BAHAN YANG AKAN DI-MACHINING	WARNA PEM-BEDA	TANDA PENUN-JUKKAN	BAHAN YANG AKAN DI-MACHINING	PEMAKAIAN DAN KONDISI Pengerjaan				
				steel, compressed wood	and with the possibility of large cutting angles.				
			K 40	Soft wood or hard wood Non-Ferrous Metals.	Turning, Milling, Planing, Slotting, machining in unfavourable condition* and with the possibility of large cutting angles.				

- *Raw material or component in shapes that are awkward to machine casting or forging skins, variable hardenes etc.  
variable depth of cut, work subject to vibrations.*



**Gambar 9.49** Ilustrasi klasifikasi insert (courtesy of AS 2158-1978)

**Kecepatan pemotongan dan jarak pemakanan (Cutting speed and feed rate)**

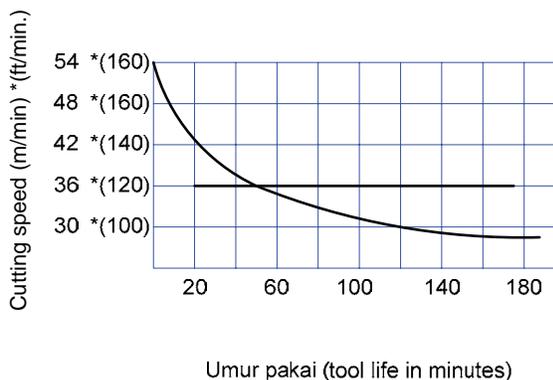
Salah satu aspek penting dalam proses pemotongan untuk pembentukan benda kerja pada mesin perkakas ialah penentuan kesesuaian kecepatan pemotongan (cutting peed) dan jarak pemotongan (feed). Hal ini dikarenakan bahwa aspek tersebut sangat berpengaruh terhadap efisiensi dan kualitas proses produksi yang kita lakukan.

- **Cutting Speed (kecepatan pemotongan)**

Cutting Speed (kecepatan pemotongan) dapat didefinisikan sebagai kecepatan keliling atau permukaan dari benda kerja atau alat potong yang diukur pada meter per menit. Faktor ini akan diterapkan dalam menentukan putaran spindle mesin atau alat potong dalam putaran per menit (revolution per minute /rpm.)

- **Pengaruh Cutting Speed (kecepatan pemotongan) terhadap umur pakai alat potong**

Kesesuaian dalam memilih kecepatan potong sangat menentukan efisiensi kerja dan pemakaian alat potong, pada kecepatan potong yang lebih tinggi akan mereduksi ketahanan dan umur pakai dari alat potong yang kita gunakan dan jika kecepatan pemotongan diturunkan ada kecenderungan memperpanjang umur pakai dari alat potong tersebut. Sebuah estimasi umur pakai pahat bubut HSS diperlihatkan pada gambar 9.50, dimana pahat bubut tersebut digunakan selama 60 menit dalam pekerjaan biasa dan selama 240 menit digunakan untuk set-up tool dan persiapan lainnya. Pada grafik memperlihatkan curve umur pakai pahat bubut HSS dalam pemakaian biasa dengan dasar umur pakai pahat tersebut selama 60 menit.



**Gambar 9.50** Grafik umur pakai pahat bubut

Jika pemotongan pada baja lunak (Mild Steel) 36 meter/menit (120 feet per minute), depth of cut 5 mm (3/16") jarak pemakanan 0,4 mm (0,015") per putaran. Catatan penurunan umur pakai sebanding dengan peningkatan kecepatan pemotongan. Dengan demikian pemilihan kecepatan potong yang tepat sesuai dengan diameter benda kerja yang dikerjakan.

**Pemilihan dan penentuan kecepatan potong dan berbagai factor yang mempengaruhi kecepatan potong (Cutting Speed)**

Kecepatan potong (Cutting Speed) telah direkomendasikan sesuai dengan jenis bahan sebagai factor utama dan penentu besaran dari benda yang akan dikerjakan.

Tabel berikut menunjukkan factor dasar dalam menentukan kecepatan potong tersebut, dimana ditentukan berdasarkan umur pemakaian dari pahat bubut HSS dalam waktu kurang lebih selama 60 menit tanpa pendingin pada jarak pemotongan sedang (medium feed rate).

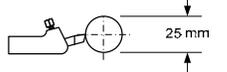
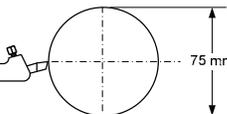
**Tabel 9.2** Rekomendasi kecepatan potong untuk bahan-bahan teknik secara umum

Jenis bahan	CS (m/min.)	CS (ft/min.)
Steel (Tought)	15 – 18 m/min.	(50 – 60 ft/min.)
Mild steel (MS)	30 – 38 m/min.	(90 – 125 ft/min.)
Cast Iron (medium)	18 – 24 m/min.	(60 – 80 ft/min.)
Bronzes	24 – 45 m/min.	(80 – 150 ft/min.)
Brass	45 – 60 m/min.	(150 – 200 ft/min.)
Alumunium	75 - 95 m/min.	(250 – 350 ft/min.)

**Kecepatan potong dan putaran per menit (Cutting Speed and Revolution per minutes)**

Illustrasi berikut memperlihatkan sebuah perbandingan antara kecepatan potong dari suatu bahan yang memiliki angka kecepatan potong (CS = 30 m/min.) terhadap jarak tempuh dalam satu putaran dan perhitungan putaran spindle (r.p.m).

Mesin bubut memiliki rentang kecepatan putaran pada spindlenya yang ditentukan dalam revolution per minutes (r.p.m), maka putaran spindle yang membawa benda kerja ini harus diperhitungkan secara benar sebagai perhitungan terhadap kecepatan keliling atau permukaan benda kerja. Perhatikan perbandingan tersebut pada gambar 9.51.

Cutting speed 30 m/min	Panjang bahan yang dilewati pahat	Putaran spindle
	80 mm (approx.)	384
	160 mm (approx.)	192
	240 mm (approx.)	128

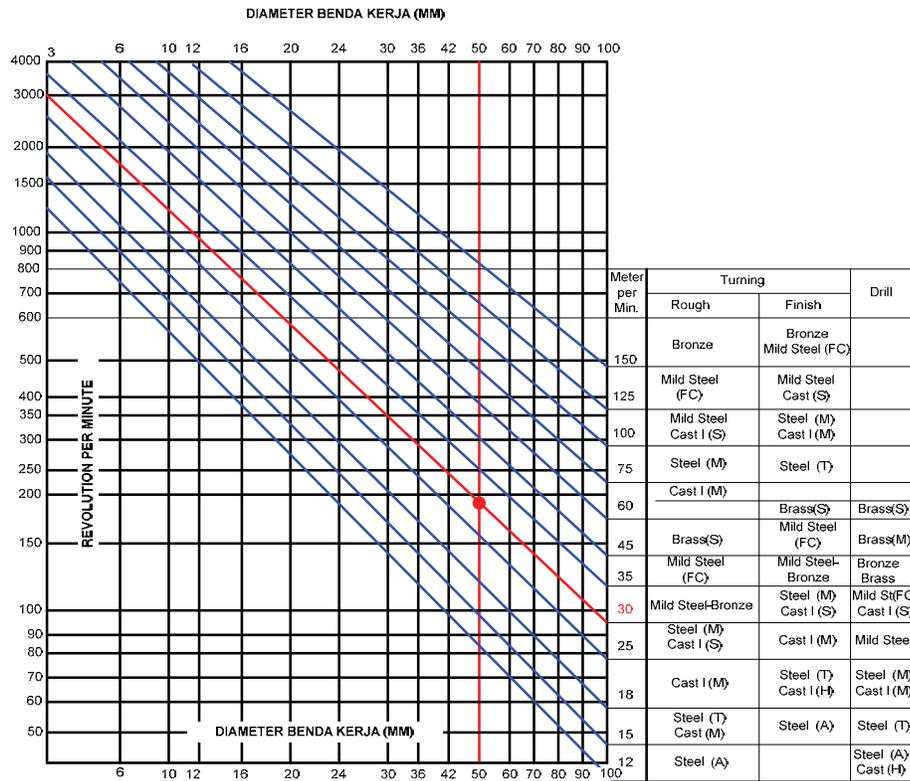
**Gambar 9.51** Rentang kecepatan putaran pada spindle

### Penggunaan Nomogram

Untuk menentukan putaran spindle mesin bubut (benda kerja) dalam suatu proses pembentukan dari bahan benda kerja, Nomogramatic dapat digunakan untuk mempercepat memperoleh angka putaran mesin yang sesuai dengan jenis bahan yang akan dikerjakan. Untuk pembacaan nomogram seperti pada gambar 9.52 dapat dilakukan sebagaimana contoh berikut : (lihat garis merah)

*Contoh :*

1. Operasi pekerjaan pemesinan yang akan dilakukan misalnya pengasaran (Rough)
2. Bahan alat potong, misalnya HSS (High Speed Steel)
3. Bahan (material) logam yang akan dikerjakan contoh, Mild Steel.  
Untuk contoh pemotongan pada bahan ini memiliki kecepatan pemotongan (Cs) 30 m/min. Untuk ini lihat kolom kepala "meter per menit"
4. Hubungan antara diameter yang dibubut mengikuti garis vertical (terlihat menunjukkan angka 50 mm) dengan garis yang bersinggungan dengan garis miring (menunjukkan angka 30 m/min).
5. Dari garis pertemuan garis horizontal kekiri pada skala dapat dibaca putaran per menit. Pada contoh ini terlihat putaran menunjukkan mendekati angka 190.



Gambar 9.52 Cutting speeds nomogrametric

Untuk memperoleh angka putaran spindle mesin (benda kerja) secara akurat dimana putaran adalah merupakan perbandingan antara kecepatan pemotongan (cutting Speed) terhadap keliling lingkaran dari benda kerja maka putaran spindle yang diperlukan dalam pekerjaan ini dapat pula diperoleh melalui perhitungan dengan formula sebagai berikut :

$$N = \frac{Cs}{\pi d} \text{ r.p.m}$$

Dimana :

- N = Putaran spindle (r.p.m)
- Cs = Cutting Speed (meter/menit)
- $\pi$  = 3,14
- d = Diamater benda kerja (mm)

Pada contoh diketahui :

Bahan benda kerja *mild steel* dengan angka kecepatan potong ( $C_s = 30$  m/min.) ukuran benda kerja  $\varnothing 50$  mm, maka putaran spindle dapat diketahui, dengan  $d = 50$  mm sama dengan  $50 : 900$ , atau :

$$N = \frac{C_s}{\pi d} \text{ r.p.m}$$

$$d = 50 \text{ mm atau } = 50/1000$$

$$N = \frac{30}{3,14 \times 50/1000} \text{ r.p.m}$$

$$N = \frac{30 \times 1000}{3,14 \times 50} \text{ r.p.m}$$

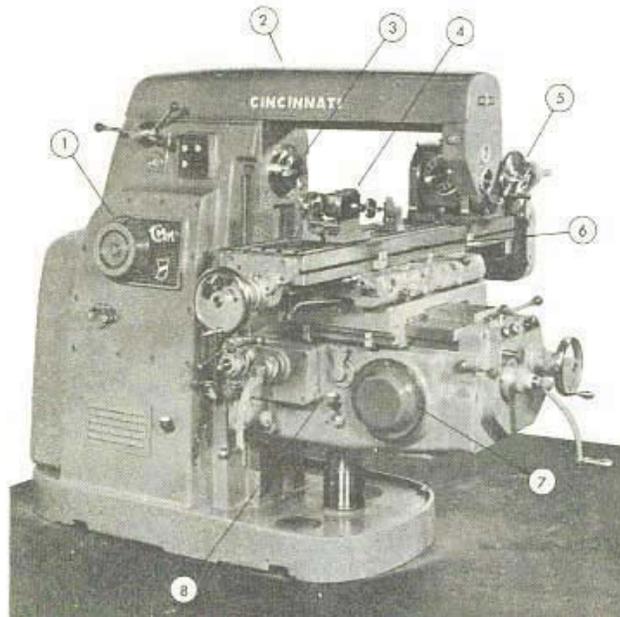
$$N = \underline{\underline{191,0828}} \text{ r.p.m}$$

## 2. **Pembentukan benda kerja dengan mesin Frais (Milling)**

Mesin frais adalah salah satu mesin perkakas yang secara khusus digunakan untuk membentuk bidang datar pada benda kerja, dengan berbagai kelengkapannya mesin frais memiliki fungsi yang sangat kompleks dan beragam antara lain membentuk bidang datar, lurus (linear), radius, alur, roda gigi dan lain-lain hingga benda-benda yang memiliki bentuk tidak beraturan.

Sebagaimana pada mesin perkakas pada umumnya, mesin frais membentuk benda kerja melalui proses penyayatan dengan menggunakan alat potong (tool) yang beraneka ragam baik jenis maupun bentuknya sesuai dengan fungsi pengerjaan yang akan dilakukan. Yang berbeda dari mesin ini dibandingkan dengan mesin bubut yang telah diuraikan diatas ialah dimana penyayatan dilakukan oleh gerakan alat potong.

Sebelum membahas lebih jauh tentang proses pembentukan benda kerja dengan mesin frais ini, bahwa persyaratan kerja yang berhubungan dengan pengetahuan dan keterampilan, 3 aspek penting yang harus dikuasai dalam proses pembentukan dengan mesin perkakas tetap harus dimiliki, antara lain : membaca dan menggunakan gambar kerja, memilih dan menggunakan alat ukur, serta menguasai teknologi pemotongan. Pada uraian ini akan dibahas berbagai aspek yang berhubungan dengan teknologi pemotongan dalam pembentukan benda kerja dengan mesin frais, terutama dalam penyelesaian pekerjaan yang dibentuk melalui proses penuangan atau pengecoran (casting) yang mempersyaratkan pekerjaan machining sebagaimana tertuang didalam gambar kerja. Namun akan kita lihat terlebih dahulu macam-macam mesin frais yang umum dipergunakan.



**Gambar 9.53** Mesin Frais Universal

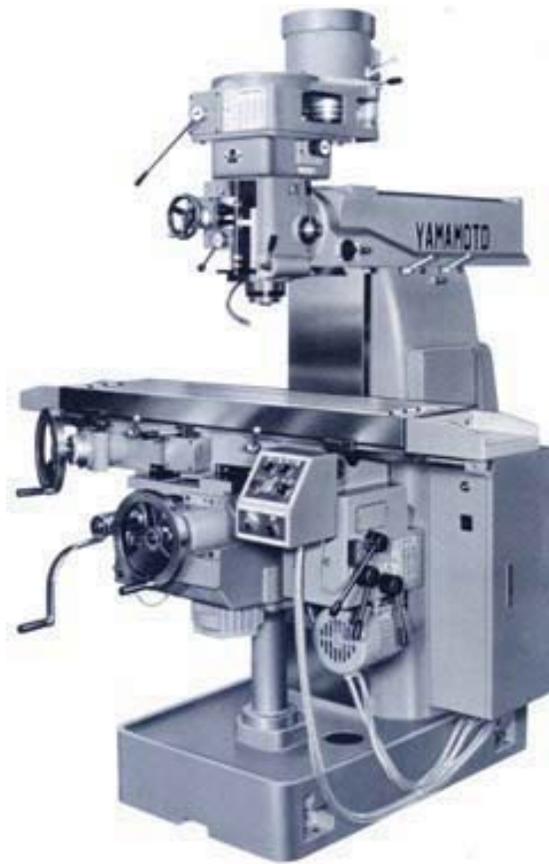
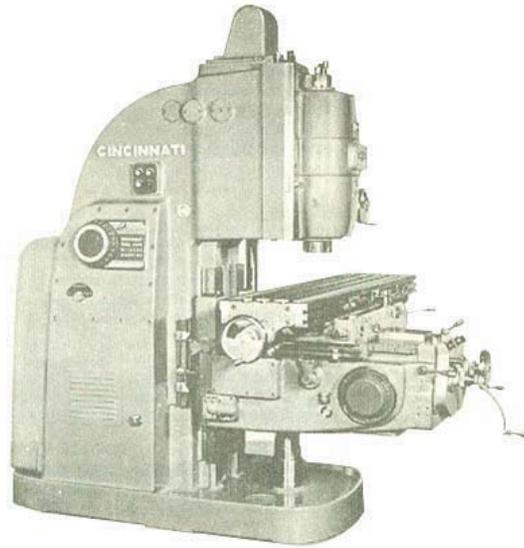
*Keterangan :*

- |   |                             |   |                |
|---|-----------------------------|---|----------------|
| 1 | r.p.m. indikator            | 5 | Dividing head  |
| 2 | Over arm support            | 6 | Work tabel     |
| 3 | Spindle                     | 7 | Feed Indikator |
| 4 | Center for<br>dividing head | 8 | Knee           |

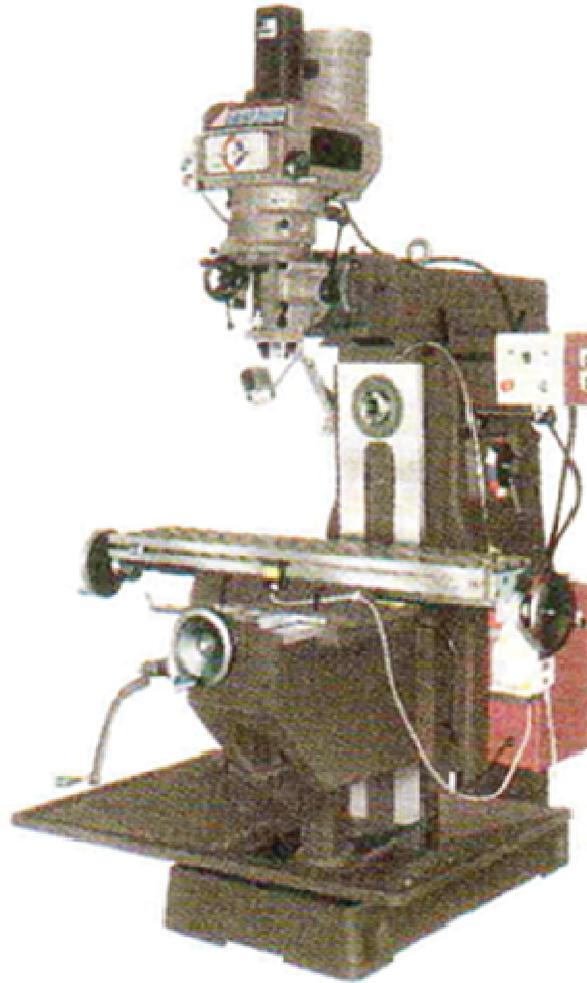
Mesin frais yang umum digunakan, jika dilihat dari jenisnya dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu :

- a. Mesin Frais horizontal
- b. Mesin Frais Vertical dan
- c. Mesin Frais Universal

Gambar 9.53 memperlihatkan salah satu bentuk mesin frais pada posisi kerja horizontal dimana mesin frais ini memiliki kedudukan pisau (cutter) pada posisi horizontal. Mesin frais seperti yang terlihat pada gambar 9.53 sebenarnya adalah mesin frais universal (universal milling machines), karena tidak terdapat mesin yang khusus horizontal, namun mesin universal ini dilengkapi dengan peralatan yang dapat mengubah posisi kerja dari mesin itu sendiri. Sedangkan pada gambar 9.54 dan 9.55 ialah mesin frais vertical dimana spindlenya berada pada posisi vertical. kedudukan cutternya didudukan pada spindlenya dengan bentuk yang berbeda dengan yang digunakan dalam pengefraian horizontal (tentang pisau frais akan dibahas pada uraian lebih lanjut). Benda kerja didukan diatas meja mesin dengan berbagai alat pemegang (holder).



**Gambar 9.54** Mesin frais vertical

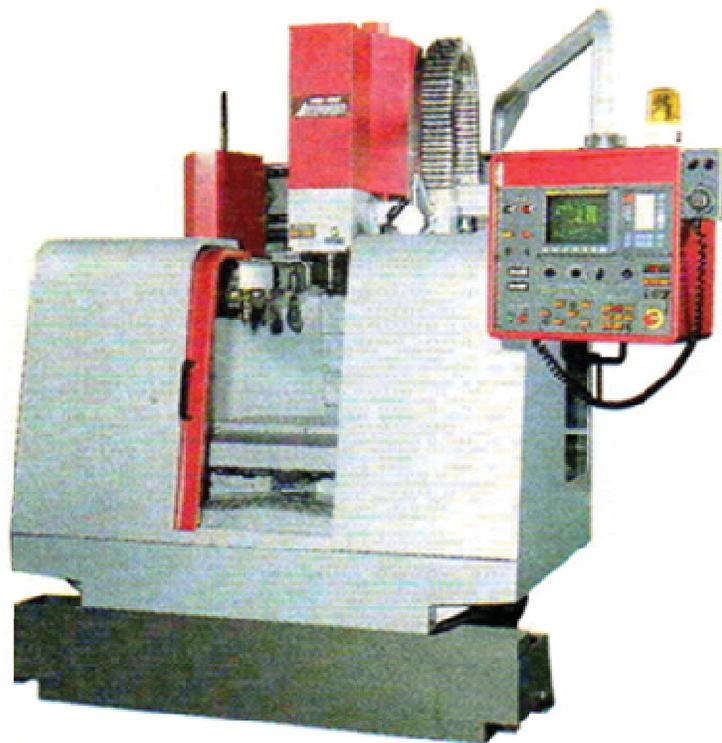


**Gambar 9.55** Mesin frais vertical

Mesin frais konvensional adalah sebutan untuk mesin frais jenis ini, karena dewasa ini berkembang mesin perkakas yang dikontrol secara numeric dengan menggunakan computer (*Computer Numerically Controlled/ CNC*), seperti yang terlihat pada gambar 9.55. Seperti yang terlihat pada gambar 9.56. dan 9.57, sistem kerja dan fungsi kerjanya sama, hanya untuk fungsi kerja menyudut dan fungsi kerja radius mesin konvensional memerlukan kelengkapan tersendiri seperti rotary tabel, dividing head dan lain-lain, atau merubah posisi meja mesin pada kemiringan yang dikehendaki, seperti terdapatnya fixed angular tabel, inclinable universal tabel dan lain-lain



**Gambar 9.56** Mesin frais horizontal CNC

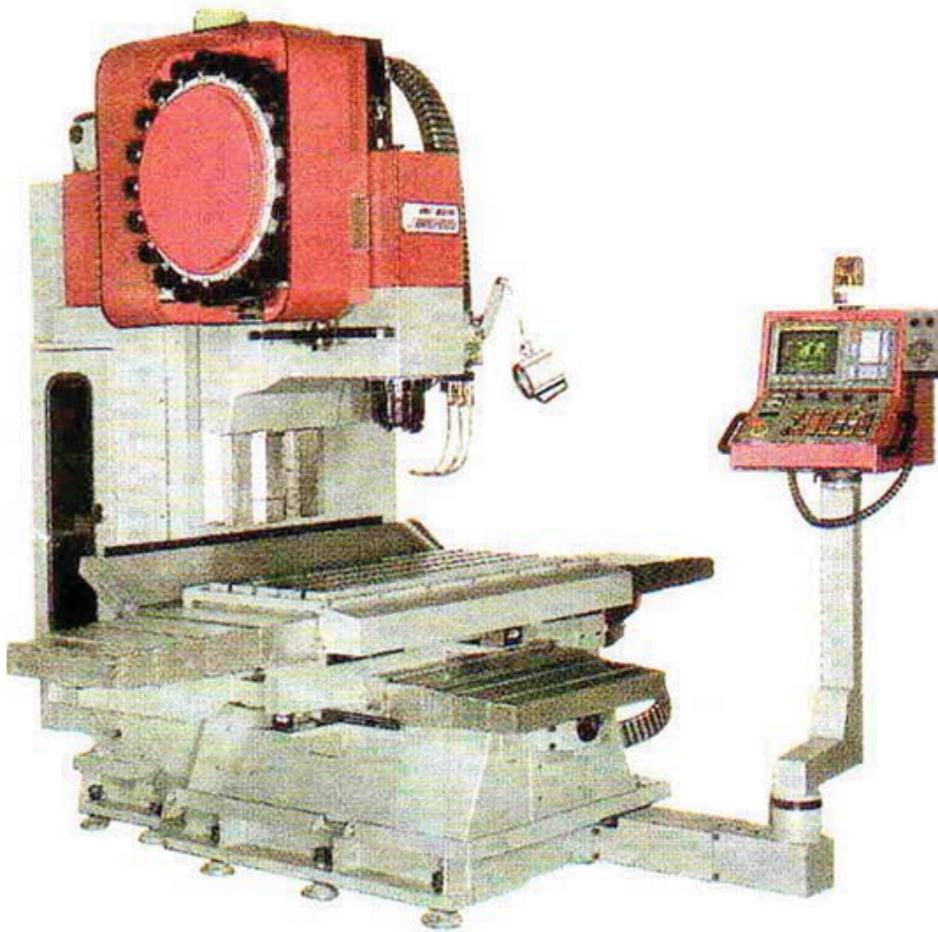


**Gambar 9.57** Mesin frais vertikal CNC

Sedangkan pada mesin frais yang dikontrol secara numeric oleh sistem komputer hanya dicapai dengan gerakan pada tiga sumbu, yakni sumbu X (memanjang), Y (melintang) dan sumbu Z (Vertical), yang lainya menyudut dan radius merupakan gabungan dari ketiganya. (Lihat gambar 9.56, 9.57 ,9.58, dan 9.59)



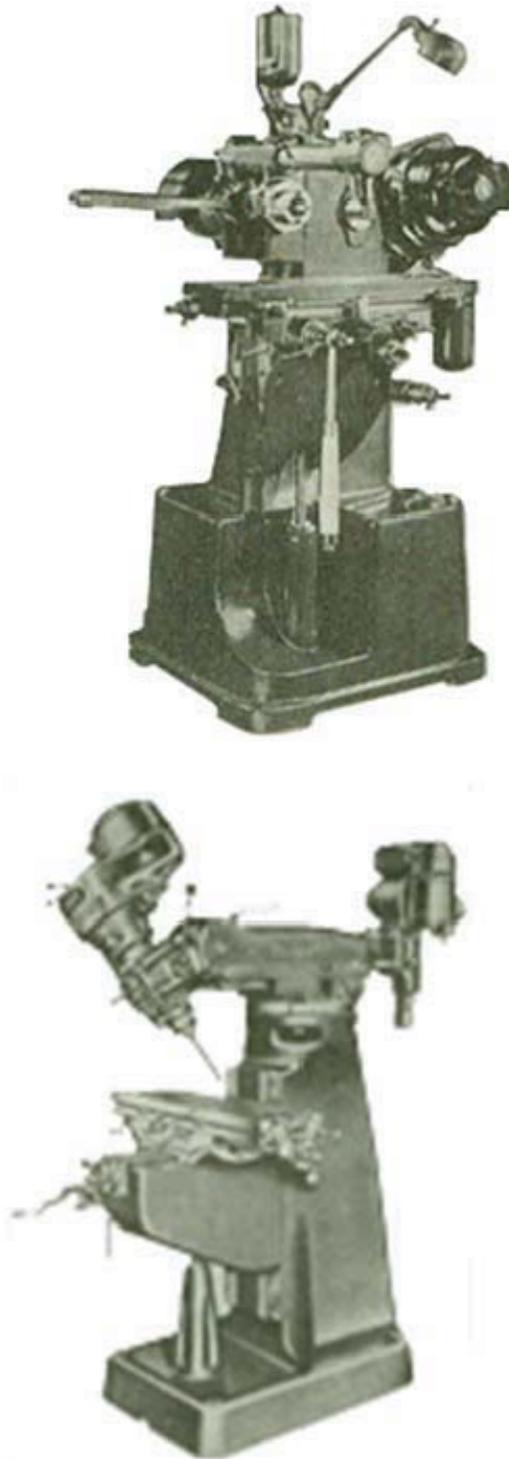
**Gambar 9.58 : CNC - 40**



**Gambar 9.59**

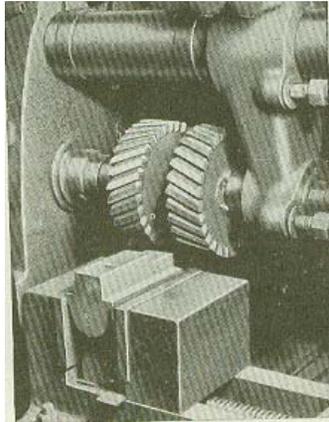
Disamping mesin-mesin frais tersebut di atas, terdapat pula mesin frais “*turret*” dan frais tangan atau hand milling machines), mesin frais ini bersifat konvensional memiliki fungsi lain yakni sebagai mesin slot sebagaimana terlihat pada bagian belakang terdapat bagian yang dapat diubah posisinya dan memberikan gerakan sloting, yang digunakan untuk membentuk alur pasak, gigi rambut (*serrations*) dan lain-lain.

Mesin-mesin konvensional ini masih efisien digunakan dalam proses produksi lihat gambar 9.60.



**Gambar 9.60** Mesin *frais turet*

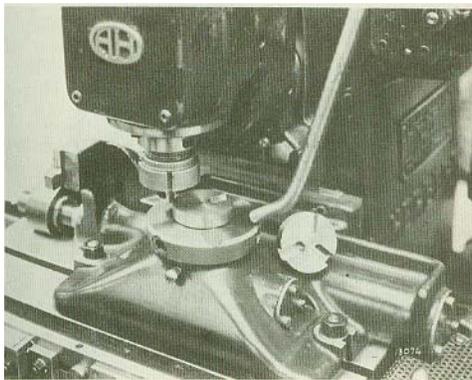
Pada Gambar 9.61a, 9.61b, 9.61c, 9.61d, 9.61e, 9.61f 9.61g dan 9.61h, diperlihatkan berbagai pengikat (fixture) benda kerja dalam proses pembentukan dengan mesin frais.



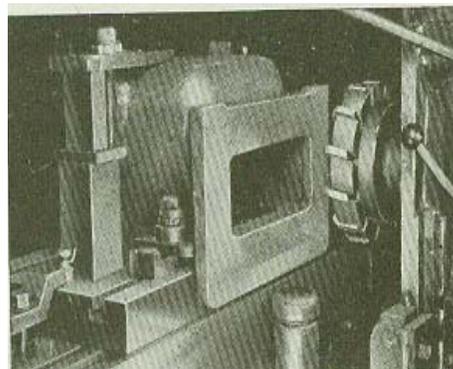
(a)



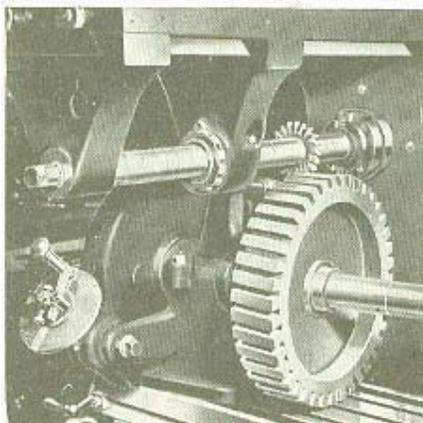
(b)



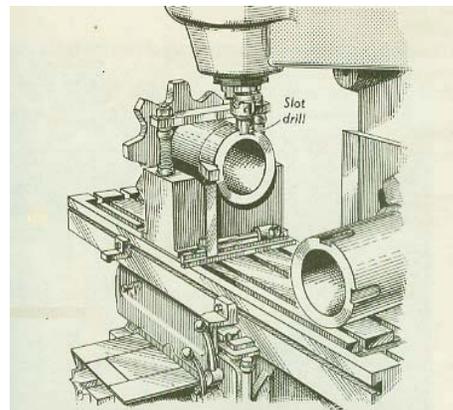
(c)



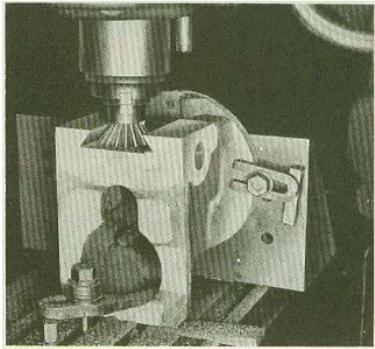
(d)



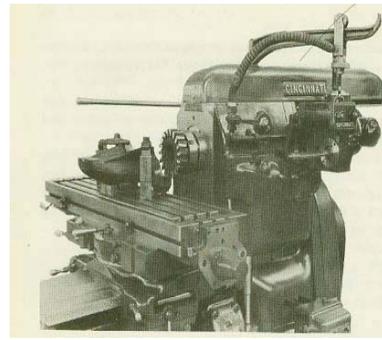
(e)



(f)



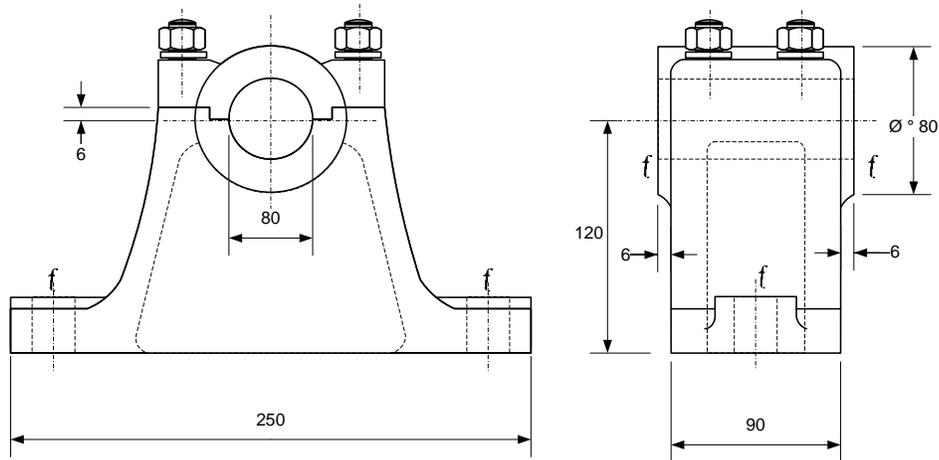
(g)



(h)

**Gambar 9.61** Berbagai pengikat (fixture) benda kerja dalam proses pembentukan dengan mesin frais.

Gambar 9.62 berikut memperlihatkan sebuah bentuk benda tuangan casting untuk *bracket* dan *cup* walaupun gambar tersebut dimensinya tidak cukup lengkap namun bidang-bidang dari benda kerja yang harus dilakukan penyelesaian dengan mesin cukup untuk menjelaskan bidang pekerjaan untuk machining.



**Gambar 9.62** Casting dari *bracket* dan *cup* sebagai contoh pekerjaan pengefraisan

Analisis pekerjaan untuk benda kerja seperti pada contoh gambar diatas akan mengaahkan kepada kita berbagai hal yang berhubungan dengan pengerjaan benda tersebut, antara lain dengan mesin apakah pekerjaan yang demikian ini dapat dikerjakan, bagaimanakah cara pemasangannya pada mesin selama benda kerja tersebut dalam proses pembentukan, bagaimana dan dengan alat ukur apakah menentukan kebenaran dimensi benda kerja tersebut, dan apakah jenis alat potong yang dapat kita gunakan.

**Metoda memegang dan menyatel benda kerja yang akan dibentuk dengan mesin frais.**

Pemasangan benda kerja (work holder) pada mesin frais lebih leluasa dibandingkan dengan pemasangan benda kerja pada mesin bubut sebagaimana yang telah dibahas sebelum ini, dimana benda kerja pada mesin bubut ini berputar bersama spindle mesin, sehingga banyak factor yang harus dipertimbangkan, seperti kebebasan gerakan, keseimbangan (out of balance) dan lain-lain. Hal ini sedikit berbeda pada mesin frais dimana benda kerja hanya bergerak pada gerakan terbatas sesuai dengan perubahan posisi meja mesin itu sendiri, jika bentuk benda kerja menghendaki perubahan pada arah tertentu dalam pemakanan (feeding).

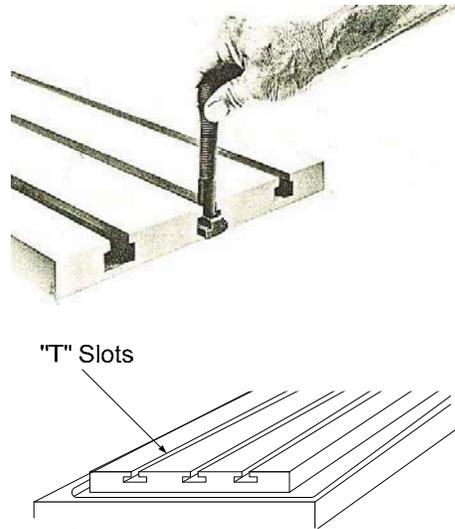
Contoh pemasangan benda kerja yang memiliki bentuk tidak beraturan yang telah dijelaskan pada bab ini, namun jika perhatikan tentang cara pemasangan benda kerja ini antara lain meliputi pemasangan dengan menggunakan ragum mesin, pemasangan dengan menggunakan baut T (T-Slot), menggunakan dividing head, menggunakan klem dan lain-lain dapat kita lakukan, bahkan dalam perkembangannya sistem pemegang benda kerja ini dirancang menggunakan power hydraulic untuk memperoleh daya yang lebih kuat serta pelayanan yang mudah dan cepat .

Berdasarkan cara-cara pemasangannya itu maka memegang benda kerja pada mesin frais ini dapat dibedakan atau dapat dikelompokan dalam cara sebagai berikut;

1. Pemasangan diatas meja mesin (on the machine tabel)
2. Pemasangan dengan ragum (in Vice)
3. Pemasangan dengan "V"- Block (ini a V- Block)
4. Pemasangan dengan Kepala pembagi (dividing head atau Indexing head)
5. Dipasang diantara dua senter (between Centre)
6. Pemasangan dengan Chuck
7. Pemasangandengan Spindle taper
8. Pemasangan denga Circular tabel atau Rotary tabel

### Meja mesin Frais (Milling Machine tabel)

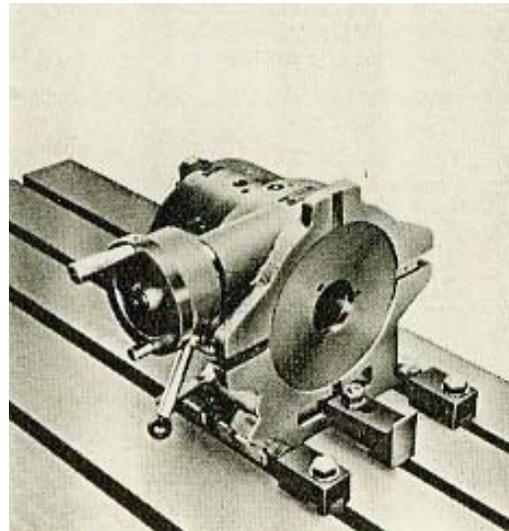
Untuk pemasangan benda kerja meja mesin frais dirancang dengan pembentukan alur-alur atau "T"- Slots yang berfungsi sebagai bagian pemegang benda kerja serta membantu pelurusan posisi benda kerja tersebut. T-Slot ini memiliki kesesuaian pula dengan ragum mesin sehingga jika ragum mesin dipasang diatas meja mesin ini akan cocok dan dapat memegang benda kerja dengan kuat (lihat Gambar 9.63)



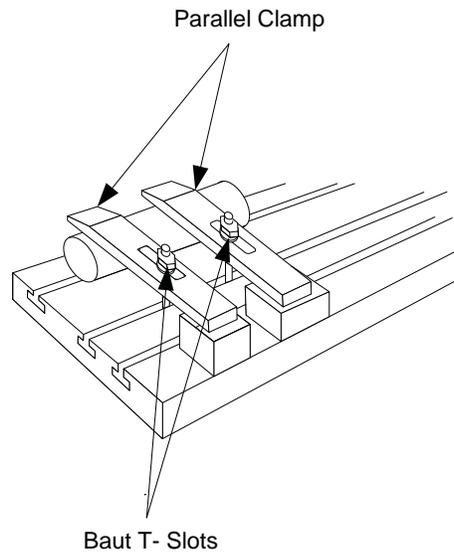
**Gambar 9.63** T- Slots pada meja mesin frais

### Pemasangan di atas meja mesin (on the machine tabel)

Gambar 9.64 Berikut memperlihatkan pemakaian T-Slot dalam memegang benda kerja serta memposisikan benda kerja tersebut pada kelurusan dan kesejajaran untuk sebuah poros lurus pada alur T-slot dari meja mesin (machine tabel). Gambar ini mencontohkan pemakaian peralatan lainnya dalam menjepit benda kerja pada meja mesin frais, pada contoh ini menggunakan parallel clamp (klem sejajar). Untuk penyetelan (set up) dilakukan secara normal sepanjang poros dengan gerakan memanjang dan melintang dari gerakan meja mesin.

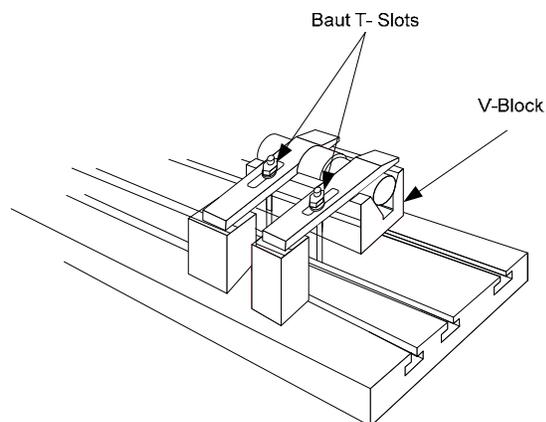


**Gambar 9.64** Pemakaian T-Slot dalam memegang benda kerja



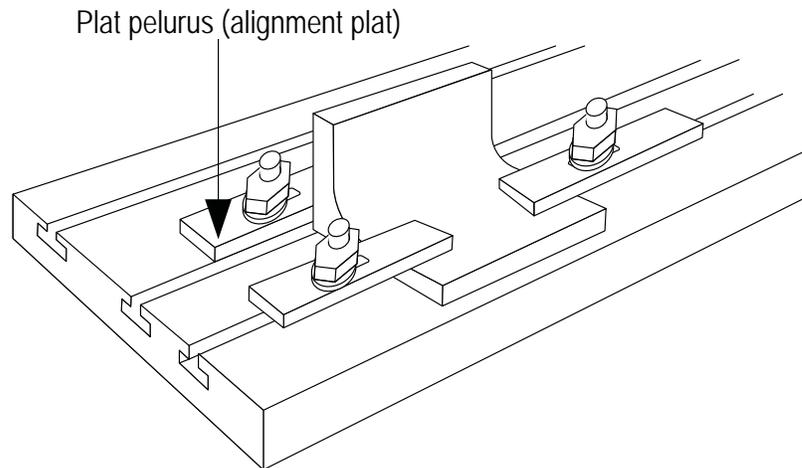
### Pemasangan dengan “V”- Block (in a V- Block)

Benda-benda kerja yang memiliki bentuk bulat dapat pula dipasang diatas meja mesin juga dengan menggunakan klem parallel, tetapi dalam penyetelan kelurusannya benda kerja tersebut dipasang diatas V-block, pemasangan benda kerja bulat seperti yang terlihat pada gambar 9.65 merupakan benda kerja bulat bertingkat, sehingga bagian yang berdiameter besar tidak memberikan jaminan kesejajaran benda kerja tersebut dengan arah pemakanan pisau frais yang akan digunakan. Metode pemasangan ini juga dapat diterapkan pada benda bulat dengan diameter yang lebih kecil.

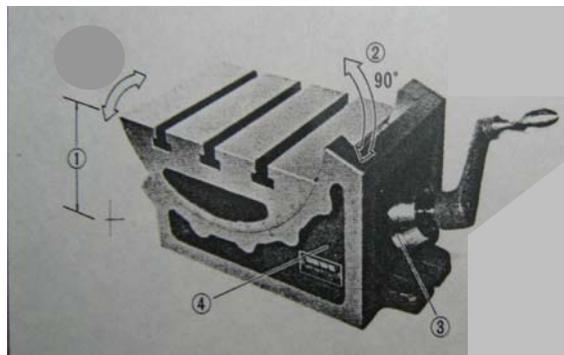


**Gambar 9.65** Pemasangan benda kerja bulat

Gambar 9.66 memperlihatkan benda kerja tuangan (casting) dipasang dengan menggunakan klem di atas meja mesin, dimana permukaan benda kerja yang telah terlebih dahulu dikerjakan menempel langsung pada permukaan meja mesin. Untuk menghindari kerusakan permukaan benda kerja ini dapat diberikan lapisan kertas atau shims. Bagian- bagian yang tidak rata harus dibuang terlebih dahulu agar tidak mengganggu penyetelan kelurusannya.



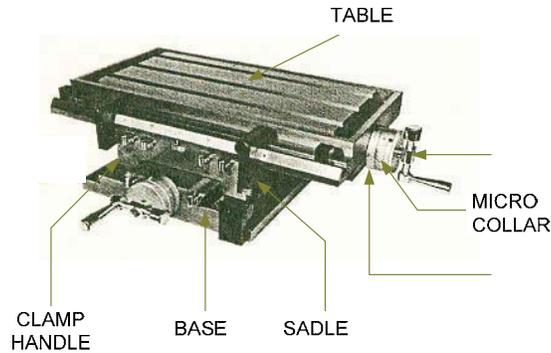
**Gambar 9.66** Pemasangan benda kerja langsung di atas meja mesin



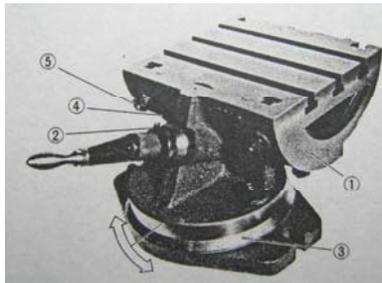
**Gambar 9.67** Swivel angle plat

Keterangan :

1. Pengatur ketinggian terhadap pisau dengan jarak yang pendek
2. Pengatur sudut kemiringan dari  $120^{\circ}$ - $90^{\circ}$  dan  $30^{\circ}$
3. Penyetelan sudut yang akurat hingga 5 menit.
4. Pengatur sudut dengan ulir cacing yang smooth.



**Gambar 9.68** Cross sliding tabel



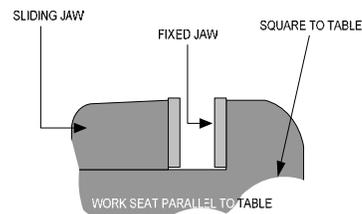
**Gambar 9.69** Adjustabel universal angle plate.

Keterangan :

1. Plat yang dapat dimiringkan dari horizontal hingga  $90^{\circ}$
2. Sudut yang dapat distel dengan akurasi 5 menit.
3. Landasan meja dapat diputar hingga  $360^{\circ}$  dengan pengunci 2 buah baut.
4. Gigi cacing dapat bergerak halus (smooth) untuk menggerakkan meja
5. Pengikat dengan meja mesin hanya dengan menggunakan dua buah baut pengunci.

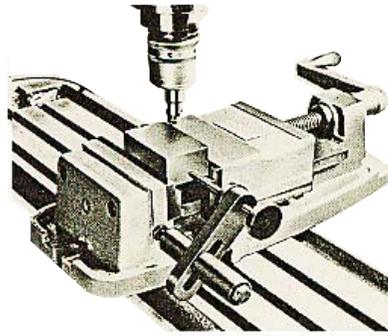
### Ragum Mesin

Walaupun memiliki kapasitas dan pemakaian yang terbatas ragam mesin frais merupakan salah satu kelengkapan utama pada mesin frais yang berfungsi untuk memegang benda kerja. Ragam mesin frais memiliki kapasitas antara 150 x 90 mm dengan tinggi 90 mm. Secara umum ragam mesin frais ini digunakan untuk memegang benda kerja dengan bentuk datar dan sejajar dalam pekerjaan halus dan tidak cocok untuk penggunaan pengefraisan kasar (roughness). Ragam mesin frais memiliki bentuk



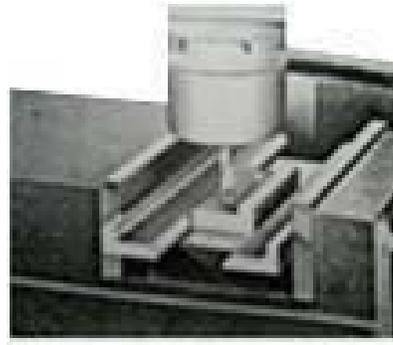
**Gambar 9.70** Ragum mesin frais

dan karakteristik yang berbeda misalnya ragam mesin frais datar (plain machine vice, swivel base machine vice, dan *swivel base an tilting machine vice*, namun secara umum rahang jepitnya sama (lihat gambar 9.71) dan perbedaannya hanya pada fleksibilitas posisi rahang tersebut.



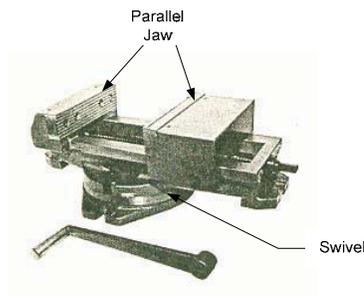
**Gambar 9.71** Ragam mesin frais datar

Gambar 9.72 memperlihatkan bentuk ragam mesin frais dari jenis ragam datar (plain machine vice). Ragam ini sangat presisi dengan rahang yang halus dan sejajar, oleh karena itu pemakaiannya hanya untuk benda kerja yang memiliki bentuk beraturan seperti benda kerja dengan permukaan yang rata dan sejajar pula.



**Gambar 9.72** Ragam mesin frais datar

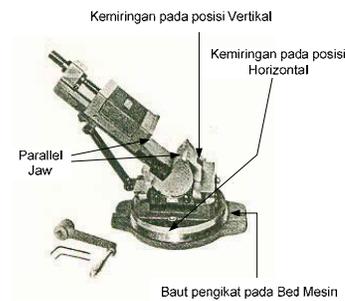
Gambar 9.73 memperlihatkan bentuk ragam mesin frais dari jenis ragam dengan posisi yang dapat diputar pada posisi datar (swivel base machine vice). Perubahan posisi ini diperoleh dari perubahan "swivel" pada landasan ragam tersebut. Posisi swivel dapat diubah sesuai dengan ukuran posisi menyudut pada derajat yang kita kehendaki .



**Gambar 9.73** Ragam mesin frais dengan posisi yang

dapat diputar

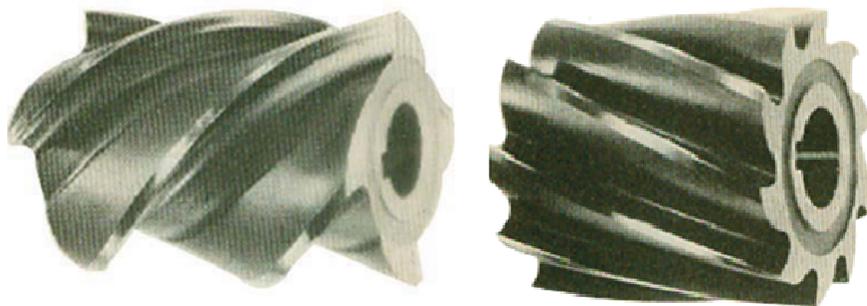
Gambar 9.74 merupakan salah satu bentuk ragam mesin frais dari jenis ragam dengan posisi yang dapat diputar pada posisi datar dan posisi menyudut pada arah vertical (Swivel base an tilting machine Vice). Seperti pada swivel base vice perubahan posisi ini juga dipeoleh dari perubahan “swivel” pada landasan ragam tersebut dalam kedudukan horizontal dan vertical.



**Gambar 9.74** Ragam mesin frais dengan posisi yang dapat diputar pada posisi datar

### Pisau frais (Milling cutter)

Pisau Frais (Milling Cutter) terdapat dalam bentuk dan mekanisme yang bervariasi dengan sifat dan karakteristik yang berbeda-beda, yakni perbedaan pemakaian sesuai dengan jenis mesin frais yang digunakannya serta fungsi pembetulan dari pisau frais itu sendiri, misalnya dalam pemakaian pembentukan bidang datar, pembuatan alur pasak, alur sejajar, alur ekor burung, pembentukan radius, membelah (sliting), membentuk profil gigi, melubang tembus, melubang dengan ujung radius dan lain-lain dalam fungsi pengefraisan. Gambar 9.75 memperlihatkan salah satu pisau frais dari jenis datar (Plain Milling Cutter)



**Gambar 9.75** Pisau frais datar (Plain Milling Cutter)

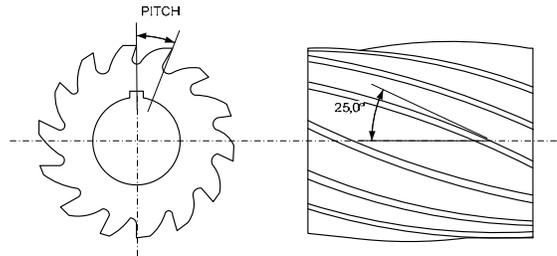
**Pisau frais datar (Plain milling cutter)**

Pisau Frais datar (Plain Milling Cutter) atau disebut juga pisau frais sylindris atau disebut pisau mantel ini digunakan dalam pembentukan permukaan datar pada mesin frais horizontal. Piasu frais ini disebut sebagai pisau frais sylindris karena memiliki bentuk sylindris dengan gigi-gigi penyayatan yang melingkar sekeliling silinder ini.

Pisau frais ini dapat diperoleh dalam beberapa macam sebagaimana ditetapkan dalam standar DIN 1836 yakni Pisau Frais dengan tipe N, H dan W. Perbedaan ini antara lain disesuaikan dengan fungsi pemakaiannya melalui perbedaan profil dan dimensionalnya sebagaimana syarat dimensional alat potong lainnya (lihat pembahasan tentang sudut dan kemiringan alat potong)).

Gambar 9.76 mem-perlihatkan salah satu bentuk dimensional pisau frais datar dari tipe H. Pisau frais ini memiliki ukuran sudut antara puncak sisi potong terhadap sumbunya (Pitch) adalah  $25^{\circ}$ .

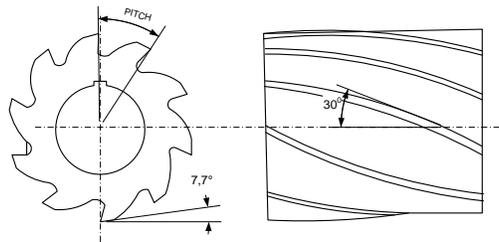
Pisau Frais ini memiliki jumlah gigi pemotong yang lebih banyak. Sudut Kisar yang kecil ini mengijinkan pemakanan tipis pada bahan-bahan yang ulet (ductile) sampai  $90 \text{ kp mm}^{-2}$ .



**Gambar 9.76** Pisau frais datar

Pada Gambar 9.77 adalah jenis pisau frais datar tipe N, dengan bentuk profil yang berbeda dimana sudut kisanya sedang yakni sebesar  $30^{\circ}$ .

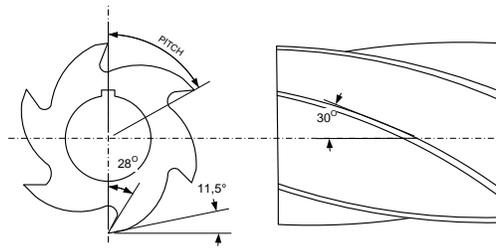
Pisau Frais ini mengijinkan pemakanan yang lebih besar pada setiap gigi pemotongnya. Pisau frais ini digunakan dalam pemotongan bahan-bahan baja biasa sampai  $70 \text{ kp mm}^{-2}$



**Gambar 9.77** Pisau frais datar (plain cutter) sudut kisa  $30^{\circ}$

Pada Gambar 9.78 adalah jenis pisau frais datar, dengan bentuk profil yang berbeda dimana sudut kisanya sedang yakni sebesar  $35^{\circ}$ .

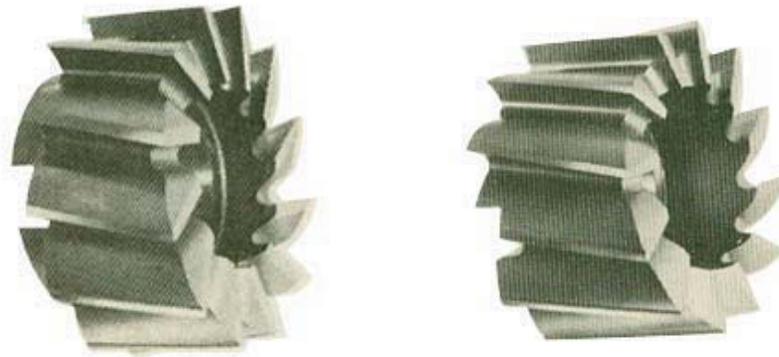
Pisau Frais ini mengijinkan pemakanan yang lebih besar pada setiap gigi pemotongnya. Pisau frais ini digunakan dalam pemotongan bahan-bahan baja Lunak



**Gambar 9.78** Pisau frais datar (plain cutter) sudut kisa  $35^{\circ}$

### Shell End – Mill Cutter.

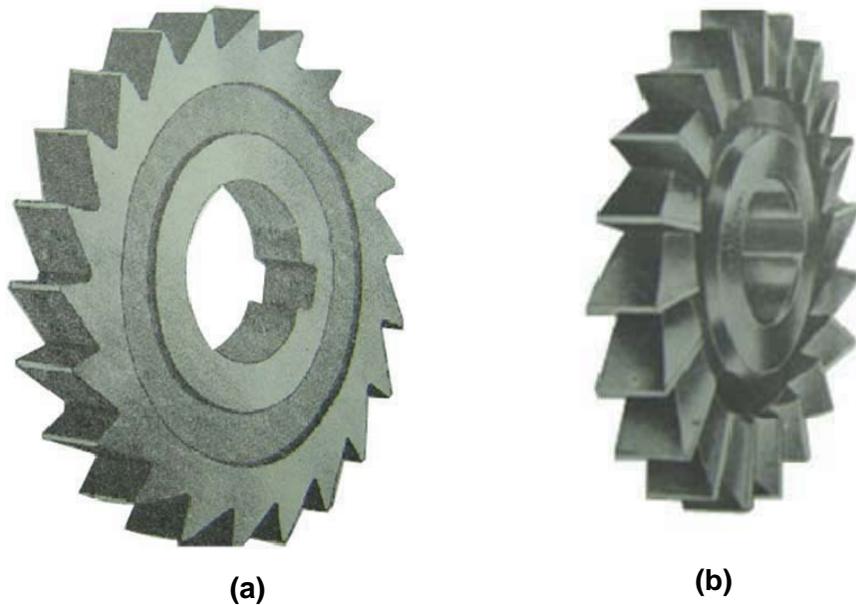
*Shell End – Mill Cutter* atau disebut pisau frais dengan *High Helix Tipe* termasuk dalam kelompok pisau frais datar (plain cutter) namun pisau frais ini memiliki dua posisi pemotongan yaitu dibagian yang melingkar sebagaimana pada pisau frais mantel dan bagian muka. Lihat gambar 9.79



**Gambar 9.79** Shell End Mill Cutter

Pisau Frais ini sangat efisien karena dapat membentuk dua bidang permukaan menyiku secara bersamaan, tentu saja sesuai dengan bentuk benda kerja yang dikehendaki.

*Shell end mill cutter* dipakai pada mesin frais vertical (vertical milling machine) dengan menggunakan adaptor (lihat tentang pemasangan pisau frais pada uraian lebih lanjut), dimensional bidang-bidang penyayatan sama dengan pisau frais silindris. Pisau frais ini berukuran pendek, namun ukuran panjangnya lebih besar dari ukuran diameternya.



**Gambar 9.80** Shell end mill cutter

**Carbide tapped  
Face Mill Cutter**

Pisau frais ini memiliki sisi pemotong yang dibuat dari bahan carbide yang hanya terdapat pada bagian penyayatnya dalam bentuk tappe yang diisi dengan insert dari bahan carbide (lihat Gambar 9.81). Pisau ini digunakan pada mesin frais vertical dengan bantuan adaptor.



**Gambar 9.81** Face mill cutter

**Side Face End – Mill Cutter.**

*Side Face End Mill Cutter* atau disebut juga *hog mill tipe* ialah jenis pisau frais dari shell end mill yang digunakan dalam pengasaran (rough) pisau ini menghasilkan permukaan yang kasar sehingga dapat pula digunakan untuk mengasarkannya jika dikehendaki, bagian pemotongnya dilengkapi dengan pemotong alur yang melingkar. Kisar dari alur-alur yang membentuk ulir pemakaiannya disesuaikan dengan bahan yang akan dikerjakan, *Side face end mill cutter* dengan bentuk gigi pemotongnya mengijinkan pemotongan dengan chip (tatal) yang besar dengan tegangan mesin yang normal (lihat gambar 9.82).



**Gambar 9.82** *Side face end mill cutter*

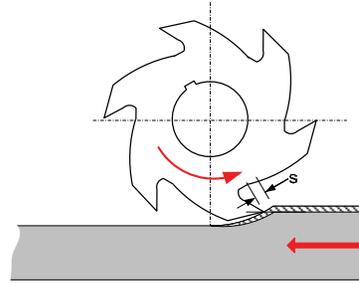
Terdapat dalam berbagai tipe pisau frais yang dapat dipilih untuk pemotongan yang sesuai dengan bentuk dan kualitas bahan yang akan dikerjakan dan tidak akan diuraikan secara keseluruhan oleh karena itu untuk mengetahui lebih banyak tentang alat potong dari pisau frais ini dapat dipelajari dari buku teknik pemesinan. Namun dari jenis pisau frais ini terdapat beberapa jenis yang paling banyak digunakan dalam pembuatan dies karena memiliki bentuk dan ukuran yang kecil dengan ujung penyayat yang berbeda-beda dan dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan bentuk hasil pengerjaan. Berbagai produk peralatan pemotong khususnya pisau Frais ini mendisain berbagai bentuk dan kualitasnya untuk pembentukan benda-benda kerja yang rumit seperti dies. Kesesuaian dalam pemilihan alat potong untuk setiap jenis pekerjaan ini sangat menentukan hasil akhir dari produk yang kita inginkan. Pada gambar berikut diperlihatkan berbagai jenis end mill yang banyak digunakan dalam pembuatan dies.

**Keterangan gambar :**

**Putaran dan pemakanan (Rotation and Feed)**

**Up-cut**

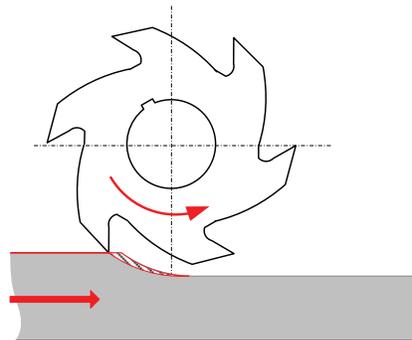
Dalam proses pemotongan oleh suatu alat potong pada mesin frais diperlukan gerakan normal atau seimbang antara putaran dengan arah pemakanan. Terdapat dua macam cara pemakanan dalam pekerjaan mengefrais ini, yaitu pemakanan dengan mengangkat (up-cut) sebagaimana diperlihatkan pada gambar 9.83. Metoda yang paling aman dan banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan mengefrais.



**Gambar 9.83** Pemakanan mengangkat (up cut)

**Down-cut (Climb-cut)**

Pemotongan dengan cara ini tidak banyak digunakan dimana mekanisme dari meja mesin itu sendiri tidak mendukung untuk pembebanan lebih oleh adanya tekanan akibat pemakanan, disamping itu pula alat potong atau cutter akan cenderung bergerak lebih cepat (over run). Jadi pemotongan dengan cara ini lebih baik tidak dilakukan. (lihat gambar 9.84)



**Gambar 9.84** Down-cut

**Kecepatan putaran dan Pemakanan (Speed and Feed)**

Kecepatan pemotongan (Cutting Speed) dari Milling Cutter ialah kecepatan keliling dalam meter per menit (m/min). Oleh karena itu formulasinya sama dengan perhitungan kecepatan potong pada mesin bubut, dimana jika ukuran diameter Cutter =  $d$  (mm) sedangkan kecepatan potong  $s$  atau  $(Cs)$  dalam meter per menit (m<sup>2</sup>/min). maka putaran cutter dapat diketahui dengan :

$$N = \frac{1000 C_s}{\pi d} \text{ r.p.m.}$$

**Dimana :**

- N = Putaran (r.p.m)  
 Cs = Kecepatan potong (Cutting Speed) bahan produk yang dikerjakan, dalam m/min.  
 d = Diameter Pisau Frais (Milling Cutter) dalam mm.

#### a. Kecepatan potong (Cutting Speed)

Kecepatan potong (Cutting Speed) ditentukan berdasarkan jenis bahan benda kerja yang akan dikerjakan, standar penentuan kecepatan potong diambil dari alat potong (Cutter) atau pahat bubut dari bahan High Speed Steel (HSS) sebagaimana diuraikan pada halaman 32 tentang penentuan kecepatan potong untuk setiap jenis bagan dengan menggunakan pahat bubut HSS. Hal ini berlaku untuk menentukan kecepatan potong dalam pengerjaan benda kerja dengan mesin Frais. Untuk angka-angka tersebut secara rata-rata dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 9.3** Kecepatan potong (Cutting Speed =Cs)

Bahan benda kerja	Alumunium	Brass	Casr Iron	Bronze	Mild steel	High Karbon steel	Hard Alloy Steel
Cutting Speed (m/min.)	16-300	45-60	20-30	25-45	20-30	15-18	9-18

#### b. Pemakanan (Feed)

Terdapat berbagai metoda yang dapat dilakukan dalam memberikan pemakanan sesuai dengan syarat-syarat kecepatan yang ditentukan. Pada beberapa mesin ditunjukkan dengan tabel mesin dalam mm./min. dan yang lain terdapat pula dalam millimeter per putaran pisau (Cutter). Terdapat pula metoda penentuan pemakanan yang sesuai melalui perhitungan terhadap setiap gigi pada Cutter. Metoda ini terkesan lebih benar karena perhitungan dilakukan langsung terhadap keadaan yang sebenarnya dimana

setiap gigi Cutter melakukan pemotongan dan memungkinkan kelonggaran thd cutter dari sifat dasarnya, dimana pada cutter dengan jumlah gigi yang sedikit dsb.

Ketika feed per gigi diketahui maka akan diketahui pula feed /min dengan mengalikannya dan menjadi put/min.

Contoh :

Tentukan putaran pisau mesin Frais yang akan digunakan dalam pemotongan besi tuang (Cast Iron). Pisau frais yang digunakan berdiameter 70 mm dengan jumlah gigi pemotong 12 buah dari bahan HSS Jika pemakanan setiap gigi 0,08 mm.

Penyelesaian :

Dengan formula :

$$N = \frac{1000 C_s}{\pi d} \text{ r.p.m.}$$

Pada Tabel diketahui Bahan : Cast Iron 20 – 30 (m/min)

Jadi putaran (N) dapat diketahui :

$$N = \frac{1000 C_s}{\pi d} \text{ r.p.m.}$$

$$N = \frac{1000 \times 25}{\pi \times 70}$$

$$N = \frac{25000}{3,14 \times 70}$$

$$N = \frac{25000}{219,91}$$

$$N = 113,682$$

$$N = \underline{\underline{114}} \text{ r.p.m.}$$

Untuk mengetahui nilai pemakanan (feed) untuk setiap gigi dapat dilihat pada tabel pada halaman berikut.

Tabel 9.4 Nilai pemakanan setiap gigi dari berbagai jenis Cutter

Tipe Cutter	Cylindrical (slab) mill (up to 30° helix angle)	Slab Mill 30°-60° tooth angle	Face mill Shell end mill	End mill	Saw	Slot mill	Form relieved Cutter
Feed per tooth in 1/90 mm	10-25	8 - 20	12 - 50	3 - 25	5 - 8	8 - 10	8 - 20

Untuk contoh ini misalkan digunakan slab Mill 30° – 60° dengan feed per tooth 8 – 20 x (1/90) mm .

Diambil  $8 \times 1/90 \text{ mm} = 0,08 \text{ mm}$

Jadi :

$$\begin{aligned} \text{Feed per gigi} &= 0,08 \text{ mm} \\ \text{Feed per putaran} &= 0,08 \times 12 = 0,96 \text{ mm} \\ \text{Feed per menit} &= 0,96 \times 114 = 99 \text{ Mm} \end{aligned}$$

### Pemilihan cutter dan penyetalanya

Keberagaman bentuk profil dan dimensional benda kerja menuntut operator untuk menentukan metoda yang tepat dalam pelaksanaan operasi pembentukannya. Sebagaimana telah dijelaskan bahwa melalui analisis terhadap gambar kerja kita akan menentukan proses pekerjaan yang akan kita lakukan.

Proses pembentukan melalui pekerjaan mesin dimana adalah Mesin Frais, tentunya sudah merupakan keputusan bahwa benda tersebut hanya mungkin dikerjakan dengan mesin frais sesuai dengan jenis mesin frais yang telah kita ketahui serta alat potong apakah yang dapat kita gunakan. Untuk hal tersebut pelaksanaannya dilakukan

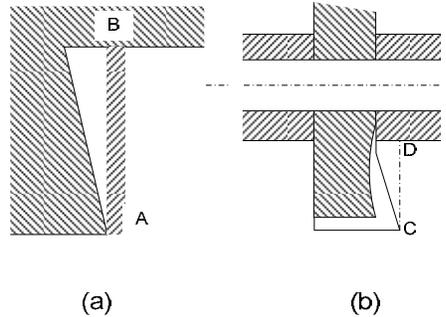
dengan cara-cara dan langkah kerja yang benar yang harus dirumuskan terlebih dahulu dan tidak terjadi tumpang tindih pekerjaan sehingga hasil pekerjaan yang telah dikerjakan terpaksa harus dijepit dan sebagainya yang akan merusak hasil pekerjaan itu sendiri. Urutan pekerjaan menjadi sangat menentukan kualitas pekerjaan yang dihasilkan.

Pemilihan alat potong (cutter) pada mesin frais ini memerlukan perhatian khusus karena setiap alat potong (cutter) pada mesin frais memiliki bentuk dan ukuran serta fungsi yang bervariasi dan masing-masing berbeda satu sama lainnya.

Seperti milling cutter dipegang dengan arbor, ini tidak mungkin digunakan untuk mengerjakan pekerjaan dengan bentuk bertingkat (undercut) dari arah vertikal, dimana sudut memiliki bentuk cutter yang salah, gerakan benda kerja akan terganggu.

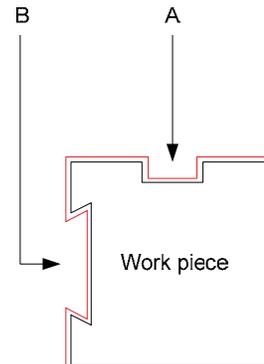
Jika benda kerja persegi seperti gambar 9.85 a akan memerlukan cutter yang memiliki bentuk dengan bagian sebagaimana digambarkan pada gambar 9.85 b ,

dimana pada saat cutter tersebut berputar dan pemakanan pada permukaan melintang sudut gigi cutter yang paling jauh lebih rendah dan akan memotong benda kerja pada garis titik-titik AB.

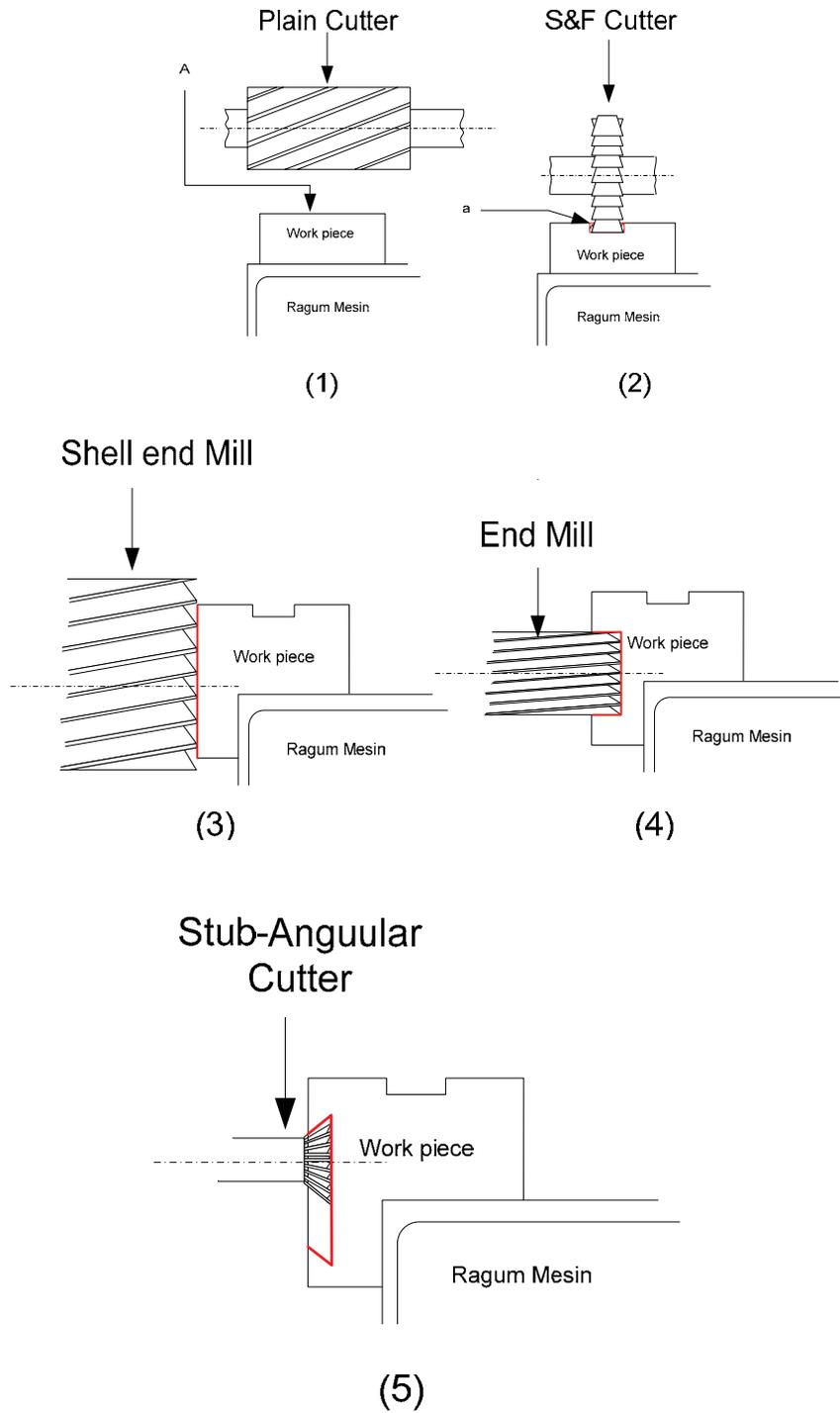


**Gambar 9.85** Penggunaan cutter pada dimensi pekerjaan

Benda kerja seperti diperlihatkan pada gambar 9.86 diperlukan pekerjaan pengefraisan pada sisi-sisi A bidang rata dengan alur serta dibagian sisi B bidang rata dengan alur ekor burung. Untuk pekerjaan seperti ini diperlukan berbagai jenis pisau frais yang sesuai dan dengan langkah pengerjaan yang sistematis, serta dengan posisi kedudukan pisau yang berbeda, yakni pisau dipasang pada arbor dan dipasang pada spindle.



**Gambar 9.86** Pengefraisan dua bidang dengan pisau (cutter) yang berbeda



**Gambar 9.87** Proses pengerjaan benda kerja

Proses pengerjaan benda kerja seperti pada gambar 9.87 dikerjakan dengan langkah sebagaimana diperlihatkan pada gambar 9.87 (1),(2),(3),(4) dan (5).

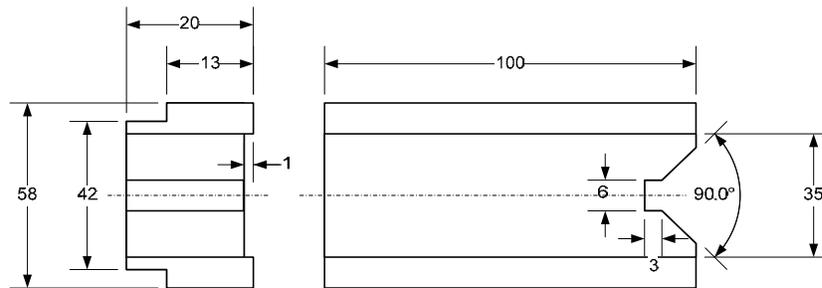
Untuk pemakanan diperlukan 5 buah dari 4 jenis cutter, yaitu :

- Plain cutter untuk membentuk bidang datar
- Side and Face Cutter untuk pembentukan alur pada bidang

Pemakaian kedua jenis pisau ini dipasang pada Arbor atau pada mesin frais horizontal, Jenis pisau yang lainnya ialah :

- Sheel end Mill untuk membentuk bidang datar pada sisi, Pisau ini juga dipasang secara horizontal tetapi menggunakan adaptor, pekerjaan ini dapat juga digunakan mesin frais vertical, akan tetapi harus merubah posisi benda kerja . Perubahan posisi benda kerja ini sedapat mungkin tidak dilakukan karena akan merubah posisi kesikuan dari benda kerja yang kita kerjakan oleh karena itu sebaiknya perubahan pisau ini yang dilakukan.
- End Mill, digunakan dalam pengasaran untuk pembuatan alur ekor burung (lihat gambar 4)
- Stub-angular cutter digunakan dalam pembentukan alur ekor burung cutter dipasang pada spindle dengan menggunakan adaptor (lihat gambar 5).

Contoh : Mengefrais datar (Plain Milling)

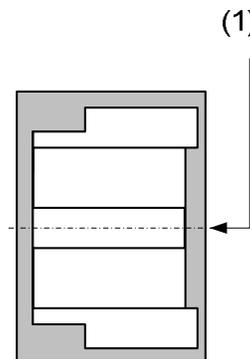


**Gambar 9.88** Pengefraisan bidang datar

Proses pengefraisan datar (plain Milling) untuk benda seperti yang terlihat pada gambar 9.88 Sliding vee yakni salah satu komponen mesin, dilakukan dengan terlebih dahulu menganalisis gambar kerja untuk menentukan sistem dan langkah-langkah kerja serta kebutuhan berbagai kelengkapan mesin yang akan digunakan termasuk diantaranya adalah pisau frais dari jenis dan karakteristiknya sesuai dengan karakteristik bahan benda kerja yang akan dikerjakan. Langkah kerja harus dirumuskan secara sistematis agar proses pengerjaan dari bidang benda kerja yang dikerjakan tidak mengganggu bidang yang lainnya.

Cara-cara atau metoda dalam memegang benda kerja harus ditentukan dan diyakinkan bahwa metoda yang digunakan dapat memegang benda kerja secara aman, termasuk sistem keselamatan dan kesehatan kerja yang berhubungan dengan pekerjaan tersebut. Sebagai contoh untuk pelaksanaan pekerjaan dari benda kerja ini antara lain dalam pemilihan dan penentuan alat potong serta sistem pengefraisan yang dapat dilakukan yang meliputi bidang-bidang benda kerja.

Bidang (1) seperti diperlihatkan pada gambar 9.89 merupakan salah satu contoh bidang yang akan dikerjakan terlebih dahulu. Bidang ini memanjang sepanjang benda kerja ditambah dengan machine allowance yang diberikan

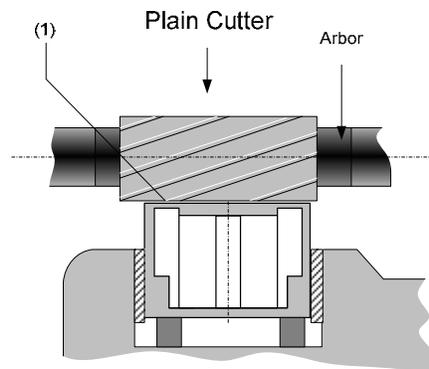


**Gambar 9.89** Casting, bahan benda kerja “Sliding-vee”

dalam proses pengecoran, seberapa besar ukuran yang diberikan dapat dilihat dalam pembahansan tentang proses pengecoran logam. Kecepatan putaran mesin dan angka kecepatan potong untuk bahan ini dapat dilihat pada Tabel halaman 50 dimana untuk besi tuang nilainya antara 20-30 m/menit, yang dapat dihitung berdasarkan ukuran alat potong (cutter) yang akan digunakan.

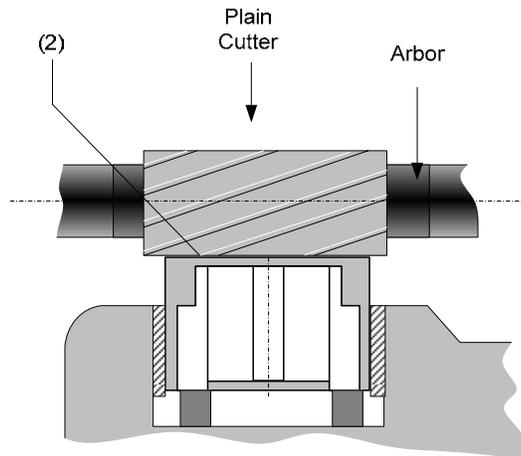
Benda Kerja dipasang pada ragum mesin.

Pengerjaan bidang (1) menggunakan pisau frais dari jenis plain cutter dengan tipe N dengan pendekatan sebagai baja biasa, alasan pemakain ini diharapkan akan menghasilkan permukaan yang halus karena pisau ini memiliki jumlah gigi yang lebih banyak, dengan pemakanan tipis tetapi efisien. Pisau dipasang pada arbor (lihat gambar 9.90).



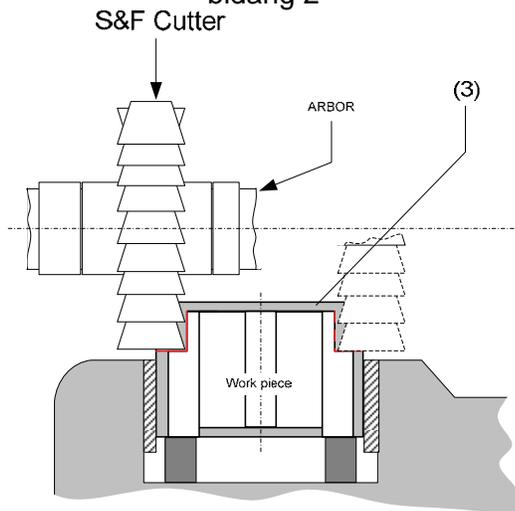
**Gambar 9.90** Proses pengerjaan bidang 1

Gambar 9.91 Merupakan proses pengejaan bidang yang bersebrangan dengan bidang (1) sehingga benda kerja dibalik . Gunakan block parallel untuk memastikan bahwa bidang ini akan sejajar dengan bidang (1) untuk pengejaan berikutnya pada bidang-bidang yang lain akan menggunakan bidang (1) ini sebagai basis pengukuran. Pengerjaan bidang ini tidak mengganti (merubah) Jenis atau posisi Cutter.



**Gambar 9.91** Proses pengerjaan bidang 2

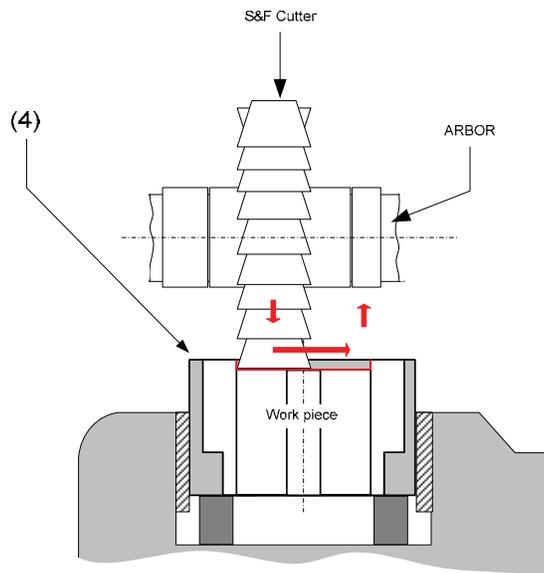
Gambar 9.92 merupakan proses pengejaan bidang yang bersebrangan dengan bidang (3), untuk pengejaan bidang ini pisau frais (cutter) yang digunakan adalah side and face cutter tetapi pemasangannya masih tetap pada arbor, dengan lebar cutter yang berbeda dengan plain cutter maka jika pengencangan cutter tidak terjangkau oleh panjang ulir arbor maka ketebalannya ditambah dengan menggunakan ring arbor.



**Gambar 9.92** Proses pengerjaan bidang 3

Penyayatan dengan menggunakan side and face ini pemakanan terjadi pada dua arah Benda kerja dipasang pada Ragum mesin namun benda kerja dibalik pergeseran pada arah melintang dari meja mesin diperlukan untuk memindahkan posisi pemakanan dari posisi yang satu keposisi yang lainnya.

Pengerjaan berikutnya adalah pengerjaan bidang (4) yaitu pembuatan alur sedalam 1 mm. Pekerjaan ini hanya membalik benda kerja, menggunakan pisau frais (cutter) side and face cutter yang masih terpasang pada arbor, gerakkan pisau sepanjang benda kerja dengan arah gerakan up-cut (lihat arah pemakanan halaman 405)

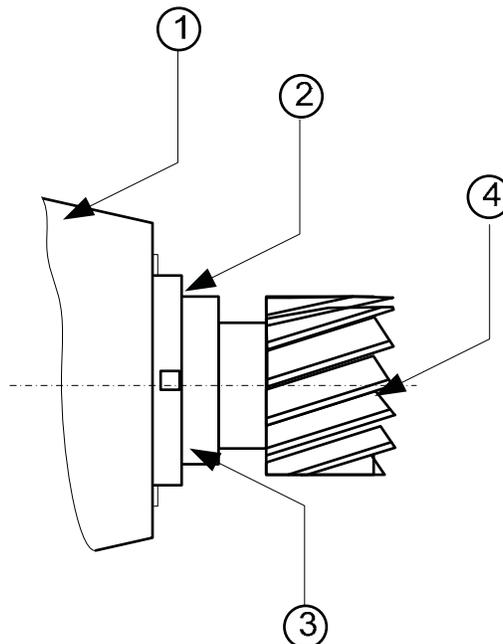


**Gambar 9.93** Proses pengerjaan bidang 4

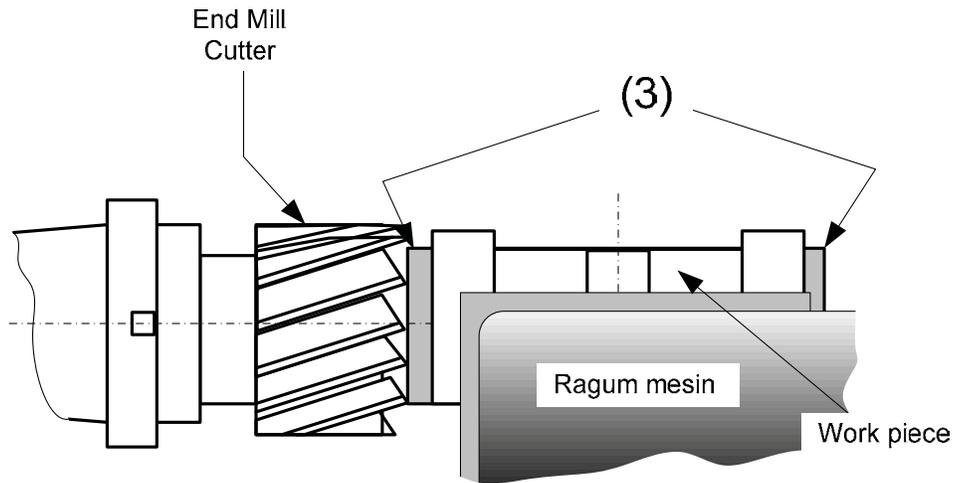
Proses selanjutnya ialah mengganti dan merubah posisi kedudukan pisau dimana menggunakan *end mill* maka pisau tidak dipegang dengan Arbor akan tetapi menggunakan milling chuck. Perhatikan gambar 9.94.

*Keterangan :*

1. Spindle mesin
2. Master Holder
3. Collet
4. End Milling Cutter.



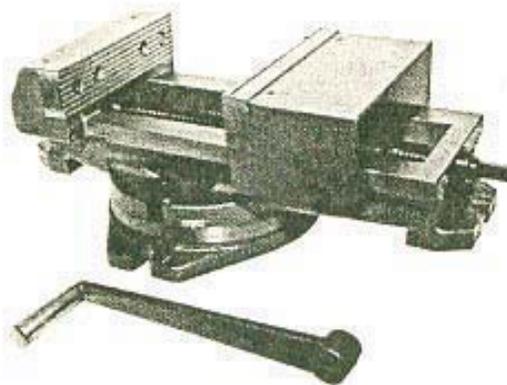
**Gambar 9.94** Pemasangan *end mill* pada chuck



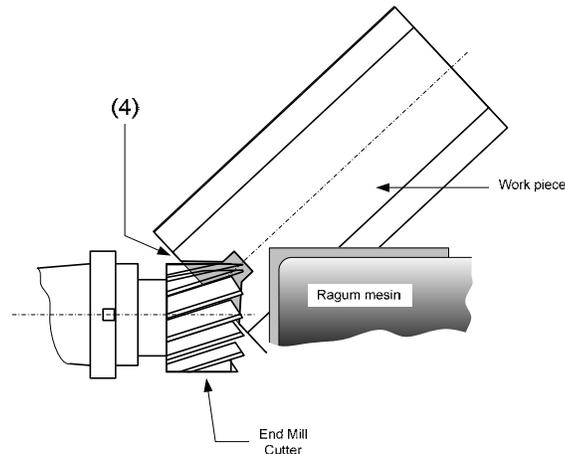
**Gambar 9.95** Pengerjaan finishin

Dua bidang finishing dari benda kerja yakni bidang 3 dikerjakan dengan posisi seperti terlihat pada gambar 9.95, dikerjakan salah satu terlebih dahulu dengan menggunakan *end mill* pada posisi horizontal. Jika memungkinkan dapat pula dikerjakan pada mesin Vertikal (lihat Gambar 9.95).

Penggunaan Rotary Vice akan sangat mudah untuk pengerjaan bagian satunya dengan memutar  $180^{\circ}$  maka pemakanan bidang berikutnya dapat dilakukan.



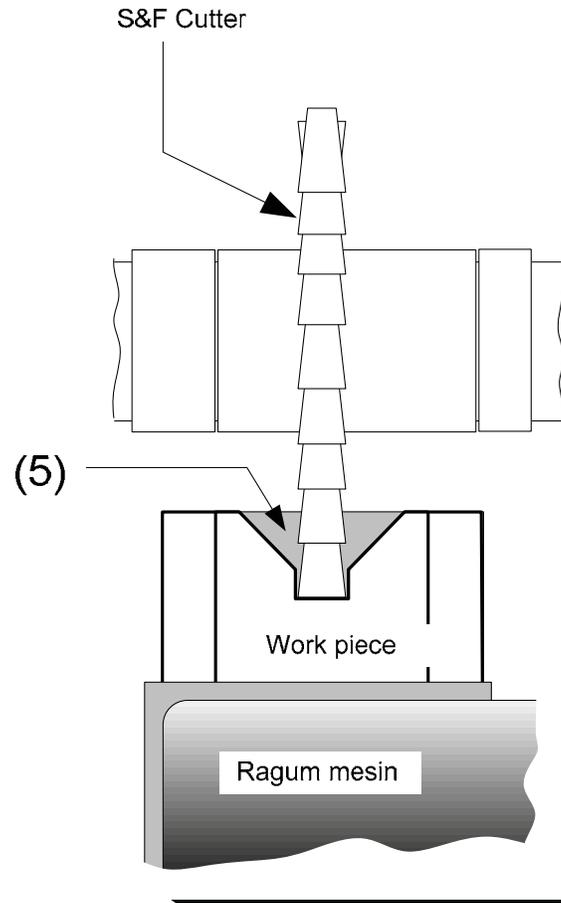
Proses berikutnya ialah pembentukan profil “VEE” dengan menggunakan pisau (cutter) yang sama yakni End-Mill Cutter juga dalam posisi yang sama sehingga tidak diperlukan perubahan posisi dan kedudukan cutter tetapi hanya merubah posisi kedataran pada benda kerja yakni memposisikan benda kerja menyudut  $45^{\circ}$  terhadap bed mesin (lihat Gambar 9.96).



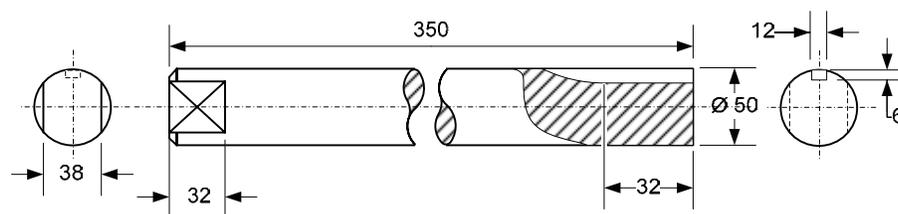
**Gambar 9.96** Pembentukan profil “VEE” dengan menggunakan *end mill cutter*

Pekerjaan akhir dalam pembentukan ini ialah membuat alur dengan ukuran lebar 6 mm dan kedalaman 3 mm. Untuk alur dengan ukuran ini maka diperlukan penggantian pada pisau (cutter) yakni menggunakan side and face cutter dengan lebar 5 mm diberikan allowance 1,0 mm.

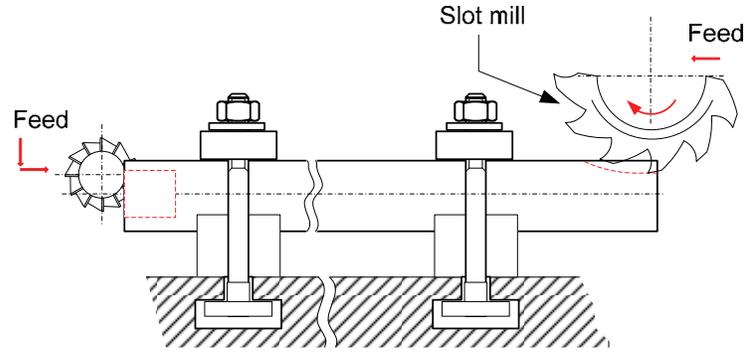
Pengepasan dilakukan dengan mem-berikan gerkan pada arah aksial kedudukan pisau pada Arbor dengan mesin horizontal (lihat gambar 9.97).



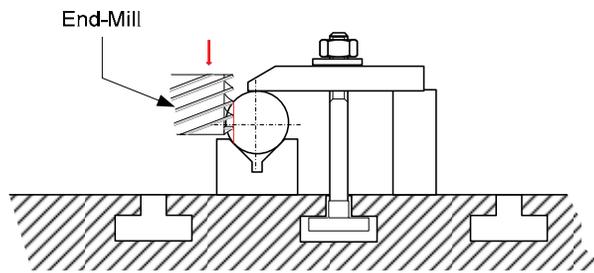
**Gambar 9.97** Pembuatan alur dengan menggunakan *side and face cutter*



**Gambar 9.98**

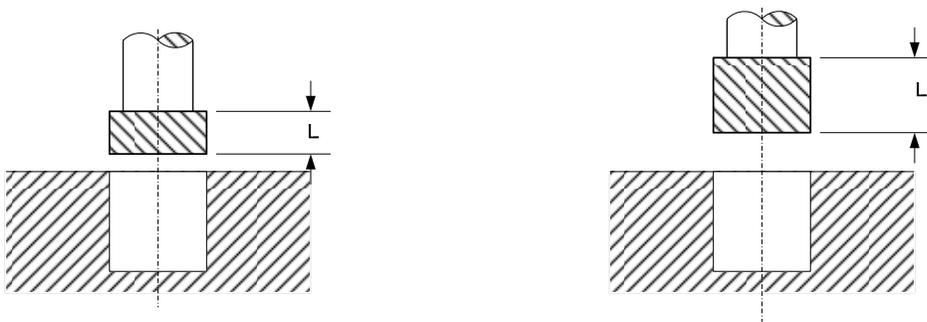


Gambar 9.99



Gambar 9.100

3



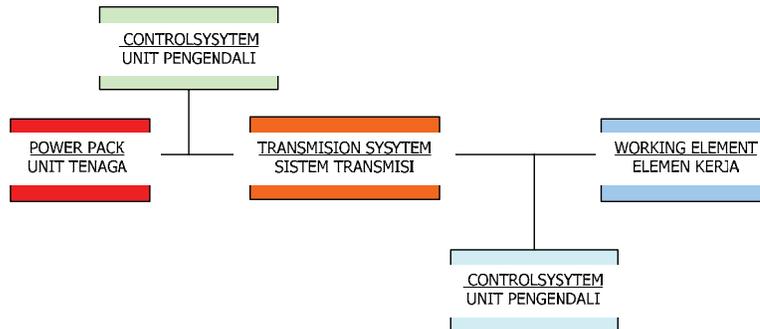
Gambar 9.101

3. Pembentukan benda kerja dengan menggunakan mesin EDM



a) Konstruksi umum Mesin EDM (Electric Discharge Machined)

Sebagaimana mesin perkakas pada umumnya EDM (Electric Discharge Machined) juga memiliki karakteristik yang sama, dimana EDM sebagai sistem pesawat kerja yang terdiri atas komponen-komponen yang satu sama lainnya saling menunjang. Komponen-komponen tersebut tersusun secara sistematis sebagaimana terlihat pada alur diagram berikut.



Gambar 9.102 Diagram alur sisitem pesawat kerja

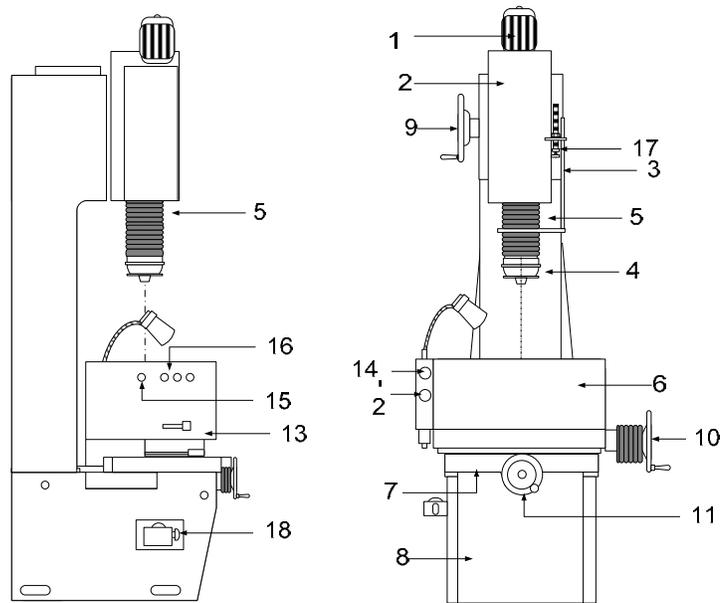
Gambar diagram diatas menunjukkan sistem pesawat kerja secara umum yang juga terdapat pada Mesin EDM yang dapat dijelaskan sebagai berikut

*Power pack (Unit tenaga)*, merupakan komponen sistem pesawat yang berfungsi sebagai pembangkit daya mekanis. Pada jaman moderen seperti sekarang Energi listrik merupakan energi yang dominant. Mesin EDM biasanya menggunakan tenaga listrik AC 220 V yang akan diubah menjadi DC sebagai penggerak Motor servo melalui sisitem Control (sistem kendali) dalam bentuk saklar, tombol dan lain-lain sebagai sumber energi mekanik.

Energi mekanik dari Motor Servo akan digunakan sebagai penggerak Spindle feed melalui sistem transmisi sabuk, roda gigi dan lain-lain yang dikendalikan oleh Control sistem seperti tuas dan handle . Energi mekanik ini akan menggerakkan spindle feed yang membawa electrode sebagai working element (elemen kerja).

Berbagai komponen utama dari sistem pesawat kerja sebagaimana dijelaskan tentu akan berbeda dalam jenis dan cara pengoperasiannya dan akan berbeda pula tergantung pada sistem sumber daya yang digunakannya, karena pada dewasa ini selain dari energi listrik yang digunakan sebagai sumber dayanya dikembangkan pula mesin EDM dengan energi Hydraulic.

Pada halaman berikut diperlihatkan salah satu jenis mesin EDM yang banyak dipergunakan.



**Gambar 9.103** Konstruksi umum mesin EDM serta bagian-bagiannya.

**Keterangan gambar 9.103:**

- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| 1. DC (or ram servo)                   | 10. X-axis handwheel            |
| 2. Control Panel                       | 11. Y-axis handwheel            |
| 3. Vernier depth gauge                 | 12. Suction gauge               |
| 4. Column                              | 13. Lever for dielectric supply |
| 5. Bellow                              | 14. Pressure gauge              |
| 6. Work tank                           | 15. Suction adjusting Valve     |
| 7. Coordinate tabel                    | 16. Pressure adjusting valve    |
| 8. Filter Unit (reservoir)             | 17. Workhead clamp lever        |
| 9. Slide available (Coarse adjustment) | 18. Lubricator.                 |

Dalam perkembangannya mesin ini telah mengalami modernisasi terutama dalam sistem kontrolnya, pengendalian sistem operasi dengan menggunakan sistem computer numeric walaupun hanya pada sumbu Z (sumbu Vertical), di bawah ini diperlihatkan bentuk dari salah satu mesin EDM yang dikontrol dengan sistem computer.



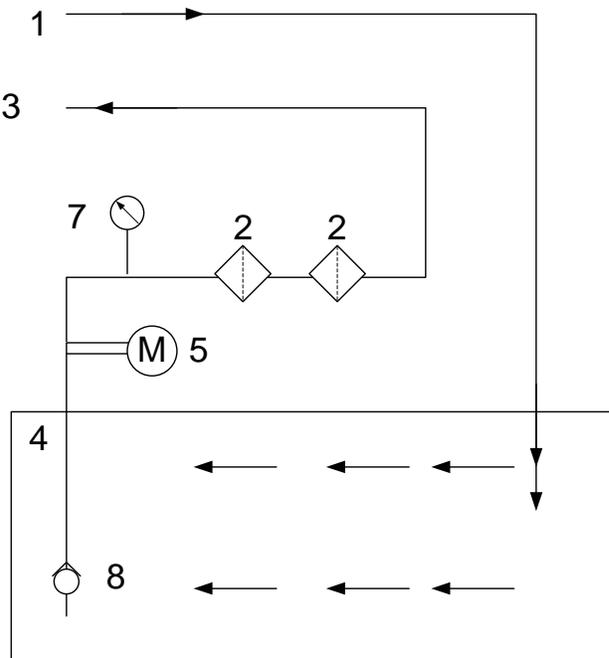
**Gambar 9.104** Mesin EDM yang dikontrol dengan sistem computer.



**Gambar 9.105** Mesin EDM yang dikontrol dengan sistem computer.

**b) Dielectric fluid sistem**

Sistem distribusi dielectric fluida yang terjadi pada mesin EDM ditunjukkan pada gambar dan dapat dijelaskan sebagai berikut :



**Gambar 9.106** Sistem sirkulasi *dielectric fluid*

1. Return hose  
Selang balik digunakan untuk mengembalikan Cairan dielectric kedalam tangki setelah melalui filter tangki
2. Filter kertas (filer cartridge)  
Filter ini dibuat dari bahan kertas didalam sebuah tabung pembersih. Ketika terindikasi tekanan pada pressure gauge melebihi  $2 \text{ kg/Cm}^2$  maka filter telah kotor, cukup dengan membuka tabung dan menggantinya. Kertas filter ini distandarkan sehingga mudah dalam penggantian.
3. Dielectric Supply :  
Selang yang dihubungkan dengan inlet work tank dengan mur pengunci untuk menahan supply fluida tekanan tinggi.
4. Reservior

Salah satu bahan dielectric dibawah ini dapat digunakan, yaitu:

- a. 90 % Kerosene
- b. 70 % kerosene dan 30 % Transformer Oil

5. Pompa (Pump)

Voltage/phase/ frequency harus diperiksa kondisinya.

6. Magnetic relay

Magnetic relay digunakan sebagai pengendali arus listrik yang lebih besar dari 9 Amps. Dengan pemakaian yang lebih rendah dari 0,1 Amp.

7. Pressure gauge

Pressure gauge digunakan sebagai penunjuk tekanan fluida didalam canister

8. Pilot Check Valve

Pilot Check Valve berfungsi sebagai alat pencegah kekosongan fluida didalam pompa

9. Metal Filter

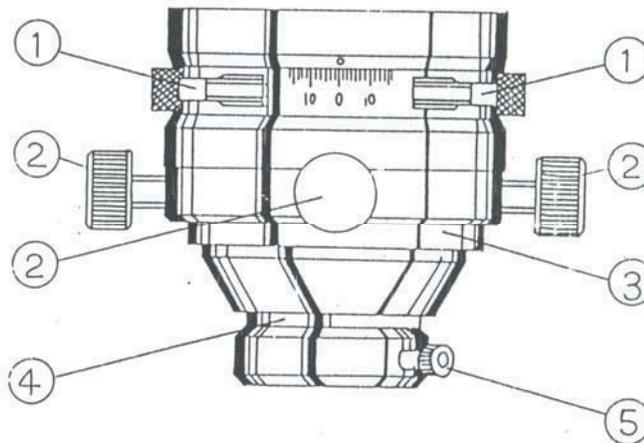
Sebagai persiapan atau cadangan filter logam atau mesh dapat digunakan.

### c) Pemegang electrode sebagai alat potong

Electrode holder of machine tool

1. Salah satu bentuk electrode holder memiliki bentuk "V" sebagai kelengkapan standar
2. Tooling head dapat distel menyudut secara akurat dengan baut penyetel.

Posisi memutar maximum  $30^{\circ}$  Lihat gambar. 9.107



**Gambar 9.107** *Electrode holder of machine tool*

**Keterangan Gambar 9.107 :**

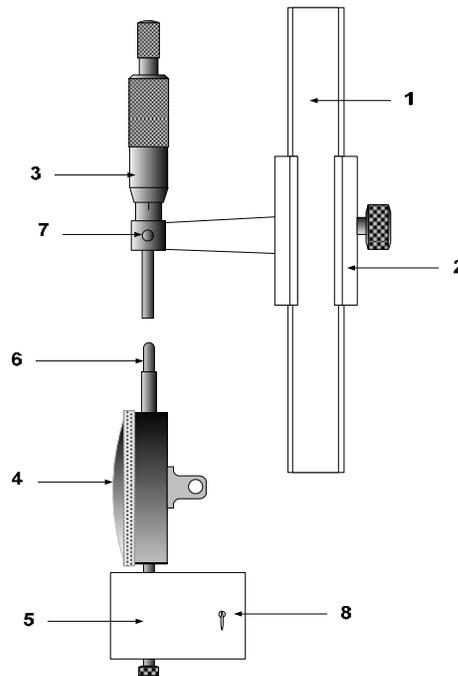
1. Angular adjustment screw
2. Angular adjustment screw
3. Insulator
4. V-Holder
5. Screw for fixing electrode

**d) Menyetel kedalaman (Depth setting)**

Berbagai alat ukur langsung dari alat-alat ukur mekanik presisi dapat digunakan untuk mengukur kedalaman, akan tetapi tingkat ketelitiannya harus memadai karena sebagaimana kita ketahui bahwa proses pembentukan dengan Mesin EDM ini diberikan oleh loncatan arus listrik dari jarak (gap) yang sangat kecil. Alat-alat ukur tersebut antara lain, sebagai berikut :

1. Vernier depth dalam satuan metric dan imperial dengan ketelitian 0,05 mm atau 1/128 Inchi dapat digunakan
2. Micrometer 0 – 25 mm dengan ketelitian 0,01 mm
3. Dial Indikator kapasitas 20 mm dengan ketelitian 0,01 mm
4. Berbagai alat ukur langsung

Dari beberapa alat ukur tersebut direkomendasikan pemakaiannya dalam pengukuran untuk pekerjaan dengan menggunakan mesin EDM. (lihat gambar)



**Gambar 9.108** Macam-macam alat ukur kedalaman

**e) Pengembangan efisiensi proses pemesinan dengan menggunakan mesin EDM**

Proses pembentukan dengan menggunakan mesin EDM sangat bergantung pada pemakaian electrode, demikian pula pada kualitas produk yang dihasilkannya. Oleh karena itu pula peningkatan efisiensi proses pembentukan ini hanya dapat dicapai melalui efisiensi pemakaian electrode itu sendiri antara lain meliputi :

**1. Pre cutting**

Precutting yakni pemotongan awal atau pemotongan pendahuluan dimana bagian-bagian diluar dari bentuk benda kerja dilakukan pemotongan atau dikerjakan dengan menggunakan mesin perkakas lain yang dapat melakukan pemotongan lebih besar sehingga pembentukan menjadi lebih cepat, atau proses pemotongannya menggunakan alat-alat potong seperti pahat atau milling-Cutter.

Pre-cutting memberikan keuntungan serta penghematan dalam pemakaian electrode, antara lain meliputi :

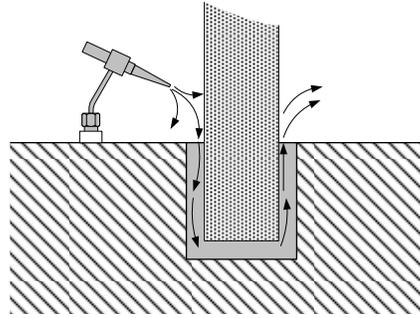
1. Mengurangi waktu pemakaian electrode (To reduce the discharge time)
2. Meningkatkan kehalusan hasil akhir pada permukaan benda kerja
3. Sangat baik dalam pembilasan partikel
4. Menambah usia pemakaian electrode
5. Mengurangi beban kerja EDM

Beberapa langkah yang mungkin dapat dilakukan dalam pemberian pre-Cutting dalam pembentukan benda kerja, antara lain :

1. Menggunakan Mesin Frais terlebih dahulu untuk pemotongan empat sisi dari benda kerja, akan lebih baik jika dapat menyisakan 1 mm.
2. Untuk pekerjaan yang tidak mungkin menggunakan mesin frais mungkin dapat dicoba dengan mengebor mengikuti bentuk yang diinginkan
3. Untuk pekerjaan yang sangat tidak mungkin menggunakan mesin perkakas lain maka pemakaian electrode electrode lain sebagai cara pengasaran.

**2. Metode Pembilasan (Flushing-Method)**

Metode Pembilasan (Flushing-Method) ialah pembilasan dengan tujuan mengeluarkan partikel sisa pemakanan dilakukan secara intensif dengan memberikan injeksi bertekanan dengan menggunakan cairan dielectric. (lihat gambar berikut).



**Gambar 9.109** Metode pembilasan (Flushing-method)

### 3. Tekanan Injeksi berdasarkan tipe pengerjaan

**Tabel 9.5** Tekanan Injeksi berdasarkan tipe pengerjaan 1

Tipe benda kerja	Jenis pengerjaan	Tekanan Injeksi
Tipe dasar	Rough cutting	0,2-0,5 kg/Cm <sup>2</sup>
	Fine Cutting	Diatas 0,5 kg/Cm <sup>2</sup>
Feed through	Rough cutting	Diatas 0,5 kg/Cm <sup>2</sup>
	Fine Cutting	Diatas 0,5 kg/Cm <sup>2</sup>

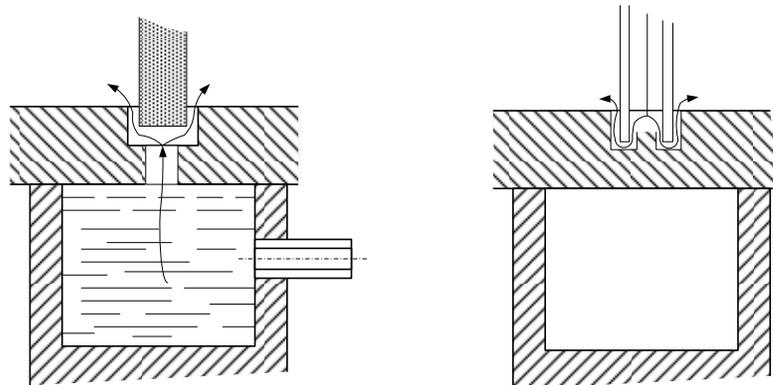
1. Rough Cutting dilakukan pada awal pengerjaan pemesinan. Pemakanan tidak langsung dalam, jadi cukup dengan tekanan injeksi rendah yakni sekitar 0,2 kg/cm<sup>2</sup>, tekanan ditingkatkan sesuai dengan peningkatan kedalaman pemakanan.
2. Untuk rongga yang cukup dalam tekanan harus ditingkatkan secara bertahap hingga diatas 1,0 kg/Cm<sup>2</sup> agar pembilasan lebih baik. Hal ini akan mudah dimana electrode akan lebih awet. Dengan demikian maka butiran kecil dari partikel Karbon akan menempel pada permukaan electrode dan melindungi electrode tersebut dari pengikisan secara langsung. Injeksi bertekanan tinggi juga akan membersihkan permukaan electrode, dan sebaliknya jika tenaga lemah maka partikel akan mengendap pada permukaan electrode sehingga tidak dapat melakukan pemotongan.

3. Jika bahan benda kerja dibuat dari bahan yang sangat keras seperti Carbide, maka tekanan ljeksi harus lebih tinggi tentu saja pekerjaan pengasaran mejadi tidak sederhana.

**Perhatikan :**

Jika electrode panjang dan kecil, maka electrode ini akan cenderung mengunci setelah injeksi dengan waktu yang panjang. Oleh karena itu tindakan pencegahan harus dilakukan antara lain dengan :

- a. Mengatur kesesuaian pembilasan dengan gerakan elektroda secara lembut dan hati-hati yaitu gerakan turun dari electrode + tidak membilas, gerakan naik dari electrode + membilas, sekarang tersedia perlengkapan yang dapat dikembangkan untuk berbagai macam mesin EDM.
- b. Injeksi berkelanjutan (Continouos Injection)



**Gambar 9.110** Continouos Injection

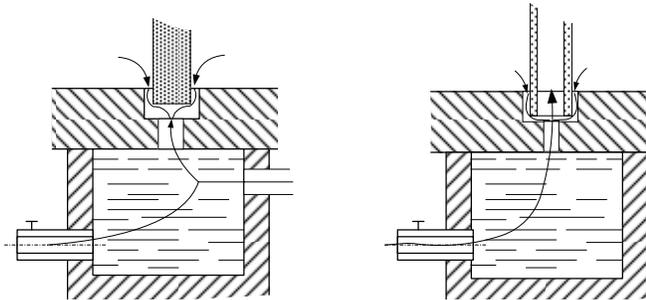
**Tabel 9.6** Tekanan Injeksi berdasarkan tipe pengerjaan 2

Tipe benda kerja	Jenis pengerjaan	Tekanan Injeksi
Feed through	Rough cutting	0,05 -0,2 kg/Cm <sup>2</sup>
	Fine Cutting	0,1- 0,4 kg/Cm <sup>2</sup>
	Fine Cutting and narrow cutting	Diatas 0,5-1,0 kg/Cm <sup>2</sup>
Tipe dasar	Rough cutting	0,05 -0,1 kg/Cm <sup>2</sup>
	Fine Cutting	0,05 -0,1 kg/Cm <sup>2</sup>

Catatan :

Jika elektrode yang digunakan dari bahan tembaga yang kecil dan panjang, akan mudah menumbuhkan partikel karbon sehingga diperlukan injeksi bertekanan tinggi

c. Pengisapan (suction)



**Gambar 9.111** Pengisapan

**Tabel 9.7** Tekanan Injeksi berdasarkan tipe pengerjaan 3

Tipe benda kerja	Jenis pengerjaan	Tekanan pengisapan
Feed through	Fine Cutting	10 - 20 kg/Cm <sup>2</sup>
Tipe dasar (Bottom tipe)	Fine Cutting	10 - 15 kg/Cm <sup>2</sup>

**Catatan :**

- a. Untuk elektrode yang kecil distel sekitar 10 CmHg dan elektrode yang besar distel 20 CmHg.
- b. Jika terdapat partikel yang melayang ini menunjukkan daya isap yang tinggi, demikian pula dengan pemakaian elektrode meningkat sejalan dengan peningkatan isapan

Proses ini dilakukan dalam pembuatan cetakan seperti untuk: feed through digunakan pada :

- a. Alumunium Extrusion
- b. Sintered Die
- c. Drawing Die

Tipe dasar(Bottom tipe) digunakan pada :

- a. Plastic die
- b. Die Casting
- c. Forging die

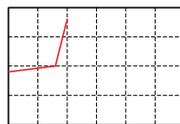
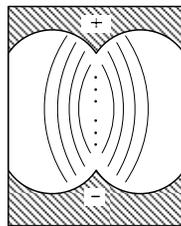
### 6. Dasar-dasar teoritis pengikisan secara elektrik

Lihat gambar 9.112.1, gambar 9.112.2, gambar 9.112.3, gambar 9.112.4, gambar 9.112.5, gambar 9.112.6, gambar 9.112.7, gambar 9.112.8, dan gambar 9.112.9

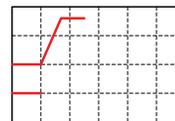
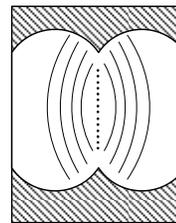
Secara teoritis proses pembentukan dengan mengikis sebagian bahan melalui tenaga/induksi listrik ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1. Pemakanan/pengikisan melalui medan listrik.
- 2. Pengaturan jarak melalui partikel konduktif.

1

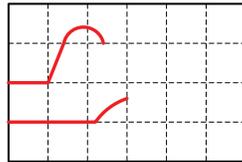
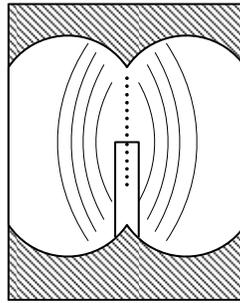


2

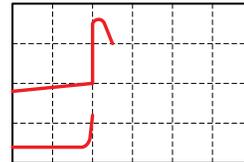
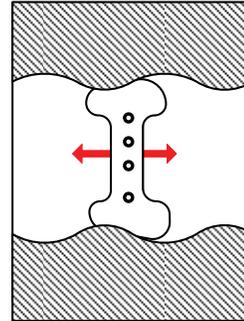


- 3. Awal pengikisan akan mengeluarkan partikel negative.
- 4. Aliran arus listrik akan bersamaan dengan pengeluaran partikel negative dan positif.

3



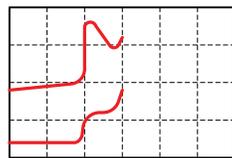
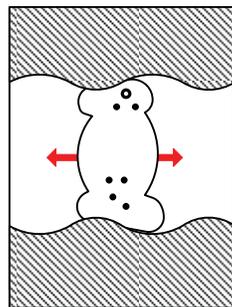
4



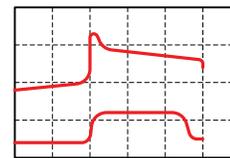
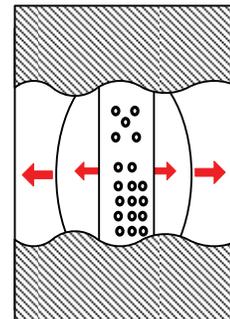
5. Pengembangan saluran pengikisan sejalan dengan peningkatan temperatur dan tekanan

6. Menyusun gelembung uap.

5

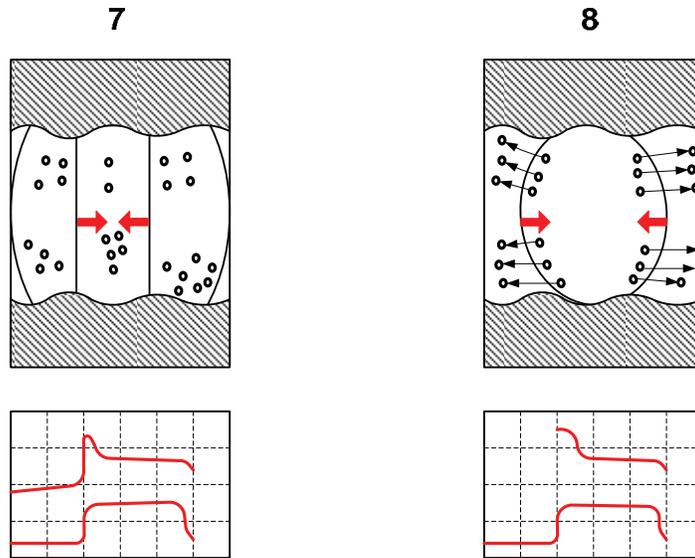


6

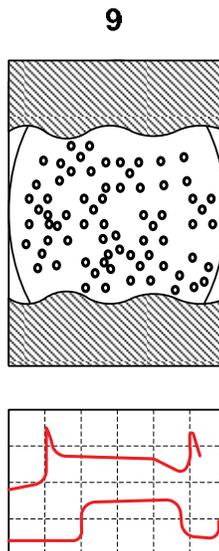


7. Mengurangi input panas setelah menurunkan arus bersamaan dengan ledakan yang menge-luarkan material melalui pembentukan uap dan peleburan.

8. Menggugurkan gelembung uap.



9. Menyisakan partikel logam, Karbon dan gas.

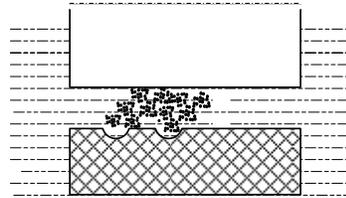


**Gambar 9.112** Pengikisan secara elektrik

### Pembilasan (Flushing)

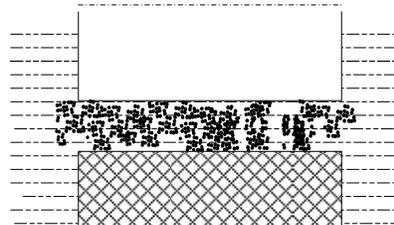
Jika dalam proses pengikisan tidak terjadi pembilasan maka akan menimbulkan jarak antara gap.

- ✘ Setelah terjadi percikan api pada saat pertama akan terbentuk partikel seperti diperlihatkan pada gambar 9.113



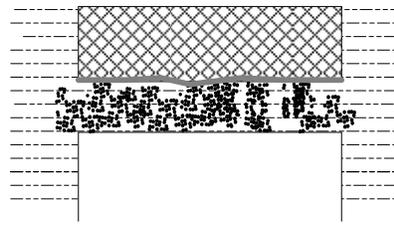
Gambar 9.113

- ✘ Partikel-partikel kecil akan menurunkan sifat isolasi dari bahan dielectric sehingga menghasilkan banyak percikan, akibatnya akan menghasilkan jumlah partikel yang lebih besar dari unsur Karbon dan gas Lihat gambar 9.114



Gambar 9.114

- ✘ Kendati menghasilkan banyak partikel namun partikel ini akan mengakibatkan terbentuknya busur listrik (gambar 9.115)



Gambar 9.115

### Rangkuman :

Untuk proses pekerjaan dengan menggunakan mesin perkakas diperlukan 3 aspek penting yang harus difahami, antara lain : membaca dan menggunakan gambar kerja, memilih dan menggunakan alat ukur, serta memahami dan menguasai teknologi pemotongan

Aspek-aspek yang tercakup dalam teknologi pemotongan ini antara lain : pengetahuan tentang bahan-bahan ,jenis alat potong yang sesuai dengan jenis bahan, mesin perkakas dan karakteristiknya.pengetahuan tentang alat-alat. potong dan pengetahuan tentang cara pemasangan dan mengeset benda kerja.

Mesin bubut adalah salah satu mesin perkakas yang memiliki fungsi variasi dalam pengerjaan berbagai bentuk benda kerja, seperti membentuk benda bulat, membentuk bidang datar, mengebor, mengulir, membentuk tirus, memotong mengartel, serta membentuk benda-benda bersegi.

Self Centering chuck ialah chuck yang biasanya memiliki rahang (jaw) tiga buah yang masing-masing memiliki tiga pemutar untuk arah mengunci dan membuka jepitan terhadap benda kerja, jika salah satu dari lubang kunci ini diputar maka semua jaw akan bergerak serempak mengunci atau membuka.

*Four Jaw Independent Chuck (Chuck rahang 4 independent) ialah* Chuck rahang 4 yang bersifat independent ini dirancang untuk memegang benda kerja segi empat, membubut bentuk eksentrik, bahkan benda bersegi dengan posisi pembubutan jauh dari posisi senter benda kerja.

Counter balance digunakan pada pemegang benda kerja dengan menggunakan face plate untuk mengatur keseimbangan putaran dimana benda kerja terpasang jauh dari sumbu spindle utama mesin bubut.

Cutting Speed (kecepatan pemotongan) dapat didefinisikan sebagai kecepatan keliling atau permukaan dari benda kerja atau alat potong yang diukur pada meter per menit.

Putaran spindle mesin (benda kerja) secara akurat yang merupakan perbandingan antara kecepatan pemotongan (cutting Speed) terhadap keliling lingkaran dari benda kerja.

Mesin frais adalah salah satu mesin perkakas yang secara khusus digunakan untuk membentuk bidang datar pada benda kerja, dengan berbagai kelengkapannya mesin frais memiliki fungsi yang sangat kompleks dan beragam antara lain membentuk bidang datar, lurus (linear), radius, alur, roda gigi dan lain-lain hingga benda-benda yang memiliki bentuk tidak beraturan.

Mesin Frais berbeda sistem kerja serta konstruksinya yaitu Mesin Frais Vertical, Horizontal dan Universal.

Alat potong yang digunakan adalah pisau Frais dengan berbagai type seperti pisau Frais rata (plain Cutter) atau pisau mantle, side-face end mill, end mill dan lain-lain.

Kecepatan pemotongan dihitung pada putaran pisau sesuai dengan diameter pisau yang digunakannya.

**Soal-soal :**

1. Apakah sebabnya kita harus memahami cara pembacaan gambar dalam proses kerja dengan mesin perkakas ?
2. Bagaimanakah cara memilih dan menentukan alat ukur yang digunakan dalam mengendalikan dimensi yang dikerjakan pada mesin perkakas ?
3. Bagaimanakah cara memilih dan menentukan jenis dan bentuk alat potong yang akan digunakan ?
4. Dari manakah kita dapat mengetahui nilai kecepatan potong (Cs) ?
5. Apakah fungsi utama dari mesin bubut ?
6. Bagaimanakah cara menentukan putaran mesin bubut dalam pembentukan benda kerja ?
7. Apakah yang anda ketahui tentang three jaw universal chuck dan four jaw independent chuck ?
8. Apakah Fungsi utama mesin frais ?
9. Sebutkan 4 jenis mesin frais yang anda ketahui ?
10. Akan dibubut benda kerja dari baja ST-37 (Mild Steel)  $\varnothing 25 \times 50$  mm, tentukan kecepatan potong (Cutting speed) serta kecepatan putaran benda kerja (main spindle)-nya !

## **BAB X PENGUJIAN LOGAM**

### **A. Syarat-syarat kualitas logam sebagai bahan teknik.**

Logam merupakan salah satu bahan yang sangat penting dan paling banyak digunakan dalam memenuhi berbagai kebutuhan bahan teknik. Hal ini dikarenakan berbagai keunggulan dari sifat logam yang hampir semua sifat bahan produk dapat dipenuhi oleh sifat logam, disamping logam yang dapat diperbaiki sifat-sifatnya sesuai dengan kebutuhan sifat produk yang diinginkan. Keberagaman sifat dan karakteristik produk itulah maka logam dibentuk sedemikian rupa sebagai bahan baku (raw materials) dengan berbagai spesifikasi dan komposisi serta cara perbaikan sifatnya yang dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan. Sebagaimana telah diuraikan pada bab sebelumnya bahwa kualitas suatu produk ditentukan oleh terpenuhinya berbagai sifat yang disyarat oleh produk itu sendiri, dan diantara syarat kualitas tersebut antara lain , syarat fungsional dan syarat mekanis. Syarat fungsional akan didukung oleh syarat dimensional geometris,serta syarat estetis, sedangkan syarat mekanis akan didukung oleh kualitas physic.

#### **1. Kualitas fungsional**

Kualitas fungsional merupakan syarat kegunaan apakah suatu produk itu dapat memenuhi syarat dalam fungsi dan kegunaannya; apakah sebagai komponen, atau sebagai konstruksi rakitan. Kesesuaian ini akan ditentukan oleh kesesuaian bentuk serta ukuran sesuai dengan syarat ukuran atau syarat dimensional geometris yang direncanakan, jika produk itu berupa komponen, maka komponen ini akan dirakit sesuai dengan komponen lain sebagai pasangannya. Dan sudah barang tentu dalam perencanaan sebuah produk factor estetika juga menjadi pertimbangan, sehingga ada perpaduan yang serasi antara seni dan Teknologi.

#### **2. Kualitas Mekanik**

Kualitas mekanis merupakan syarat kualitas produk yang berhubungan dengan kekuatan atau ketahanan produk tersebut, apakah sebagai komponen atau sebuah konstruksi rakitan dari berbagai komponen, untuk menerima pembebanan pada beban dengan besar dan arah tertentu, kadang-kadang Kualitas Mekanis menjadi syarat utama karena sifat mekanis bahan ini akan mendukung pula kepada sifat

fungsional dari produk yang telah disebutkan. Keragaman fungsi dan dimensional produk ini menjadikan beragam pula syarat mekanik yang harus dipenuhi karena akan beragam pula gaya dan arah gaya yang harus ditopang oleh produk tersebut, seperti : tarik, geser, puntir, lengkung dan lain-lain dengan kondisi physic yang baik, artinya tidak terdapat cacat, baik cacat luar seperti keretakan ataupun cacat dalam seperti keropos dan lain-lain.

Berbagai persyaratan kualifikasi produk tersebut merupakan faktor-faktor penting yang harus diperhatikan dalam pelayanannya dan harus dilakukan sebelum, selama dan setelah proses produksi itu dilakukan untuk memberikan jaminan bahwa produk yang dihasilkan memenuhi kualitas persyaratan yang telah ditentukan.

Pada Industri manufaktur biasanya terdapat sebuah departemen tertentu yang menangani hal ini yakni Dept. Quality Assurance (QA) didalamnya terdapat pengendalian mutu yang disebut Quality Control (QC), dengan lingkup kerja antara lain pengendalian mutu bahan baku yang dilakukan sejak bahan tersebut diterima (incoming materials) ; apakah material yang diterima sesuai dan memenuhi syarat yang ditentukan dan lain-lain, pengendalian proses produksi yakni pemeriksaan selama proses produksi, untuk memeriksa apakah proses produksi sudah sesuai dengan standard operasional procedure (SOP) yang telah ditentukan, termasuk diantaranya penanganan alat ukur dan kalibrasi alat-alat ukur yang digunakan untuk pengendalian kualitas dimensional geometris memastikan bahwa alat ukur yang digunakan tersebut memenuhi standar pengukuran yang berlaku, sehingga hasil ukur dari produk yang dihasilkan berada pada ukuran yang dikehendaki. Proses ini merupakan rangkaian proses produksi yang tidak dapat dipisahkan satu sama lainnya dan merupakan upaya pelayanan dan pengendalian mutu produk sesuai dengan kebutuhan konsumen.

**a. Sifat mekanik (*Mechanical properties*)**

Sifat mekanik bahan ialah sifat yang berhubungan dengan kekuatan suatu bahan dalam menerima berbagai aspek pembebanan, sifat-sifat ini antara lain meliputi ; kekerasan; tegangan terhadap penarikan (tegangan tarik), tegangan puntir, tegangan geser, tegangan lengkung, kerapuhan (keuletan), rambat (creep), lelah (fatigue). Sifat-sifat inilah yang dimiliki oleh bahan dalam pemakaiannya, namun demikian seberapa besar dan seberapa lama bahan tersebut dapat mempertahankan sifat-sifat yang dimiliki oleh bahan yang akan digunakan sebagai bahan teknik ini, harus diketahui terlebih dahulu agar bahan yang dipilih dapat kualitas serta mutu yang disyaratkan.

Berbagai sifat mekanik seperti yang disebutkan, untuk sebuah produk sebenarnya tidak ada yang berdiri sendiri bahkan dengan

sifat yang lain seperti sifat physic, sifat kimia. Tidak diperlukan alasan suatu produk tidak mampu menerima pembebanan yang disyaratkan, tetapi bagaimana upaya maximal agar produk mampu menerima pembebanan yang disyaratkan, oleh karena itu berbagai aspek Quality Assurance harus diterapkan dalam proses produksi.

## B. Pengujian Sifat mekanik

### 1. Kekerasan (*Hardness*)

Secara umum semua sifat mekanik dapat terwakili oleh sifat kekerasan bahan, orang berasumsi bahwa yang keras itu pasti kuat, sehingga "*jika dibutuhkan bahan yang kuat, maka pilih bahan yang keras*" ini merupakan pernyataan yang keliru, bahwa ada suatu bahan yang memiliki kesebandingan antara kekerasan dengan kekuatan itu benar tetapi ada juga sifat yang justru perbandingannya terbalik bahwa bahan yang keras akan rapuh. Oleh karena itu diperlukan definisi yang spesifik antara kekerasan dengan kekuatan kendati masing-masing memiliki korelasi.

Pada dasarnya semua jenis bahan memiliki perilaku dan reaksi yang sama dalam menerima pembebanan atau sebuah gaya, apapun bentuk gayanya, dimana gaya merupakan sebuah aksi terhadap suatu benda yang mengakibatkan sebuah reaksi bagi benda itu sendiri. Kekerasan merupakan sebuah reaksi dari suatu material atau bahan sampai batas mana bahan itu dapat mempertahankannya, akan tetapi gaya macam apa yang bekerja sehingga kekerasan tersebut dapat didefinisikan. Jika kita melihat kembali reaksi suatu bahan dalam menerima pembebanan atau gaya tertentu perilaku idealnya terdiri dari "melawan, bertahan, dan kalah". Sebenarnya dalam pemilihan bahan yang memenuhi syarat sebagai bahan produk ialah bahan yang pada posisi "melawan" walaupun harus diketahui batas kalahnya. Pada bahan produk perilaku ini ditandai dengan adanya phase-phase perubahan bentuk atau deformasi, misalnya batang lurus menjadi bengkok saat pembebanan yang kembali lurus jika beban dilepaskan, bahan yang pendek menjadi panjang pada saat dibebani, dan kembali pendek setelah beban dilepaskan, bahan yang rata menjadi cekung pada saat dibebani dan kembali rata setelah beban dilepaskan dan sebagainya, phase ini yang disebut *deformasi Elastis*, namun ada pula bahan yang lurus menjadi bengkok pada saat dibebani dan tetap bengkok walaupun beban dilepaskan, bahan yang pendek menjadi panjang pada saat

dibebani dan masih tetap panjang walaupun beban itu dihilangkan, demikian pula pada bahan yang rata menjadi cekung saat dibebani dan tetap cekung walaupun beban telah dilepaskan ini yang disebut *deformasi Plastis*. Tetapi terjadi pula sebauah bahan dibebani menjadi putus atau menjadi pecah. Phase-phase ini sebenarnya terjadi pada bahan yang mengalami pembebanan akan tetapi tingkat pembebanan ini akan mengakibatkan reeaksi phase yang berbeda. Oleh karena itu dalam penentuan kekerasan logam ada juga yang mendefinisikan kekerasan ini berdasarkan tahapan (phase) perubahan bentuk atau deformasi yang terjadi pada bahan akibat pembebanan ini, bahwa :

*“Kekerasan ialah kekuatan bahan dalam menerima pembebanan hingga terjadi perubahan tetap”.*

**a) Prosedur proses pengujian kekerasan**

Dengan definisi tersebut maka kekerasan ini identik dengan kekuatan terhadap pembebanan, sehingga pada baja karbon diketahui bahwa ada kesebandingan antara kekerasan dengan kekuatan tariknya ( $\sigma_t = 0,37 \text{ HB}$ ), karena dalam pengujian tarik yang akan dibahas lebih lanjut, semua phase reaksi pembebanan akan dilaluinya.

Beberapa ahli melakukan analisis terhadap kekerasan ini dimana kekerasan diukur dengan membandingkan ketahanan terhadap gesekan antara bahan yang satu dengan bahan lainnya dengan melihat goresan sebagai akibat dari gesekan tersebut. Disamping itu ada pula yang melihat reaksi pantulan sebuah bola yang dijatuhkan pada permukaan benda uji, yang ternyata dari ketiga cara tersebut dianggap memenuhi syarat pengujian yang digunakan sebagai alat ukur itu harus :

- Dapat didefinisikan secara fisik
- Jelas tidak berubah karena waktu
- Dapat digunakan sebagai pembanding dimana pun didunia ini.

Berdasarkan pada persyaratan tersebut maka ketiga metoda tersebut pengujian kekerasan yang dibakukan pemakaiannya adalah :

- Pengujian kekerasan dengan cara penekanan (Indentation Test)
- Pengujian kekerasan dengan cara goresan (Scratch Test)
- Pengujian kekerasan dengan cara Dinamik (Dynamic Test)

Proses pengujian terhadap kekerasan logam harus dilakukan sesuai dengan metoda serta prosedur pengujian yang telah ditentukan sehingga hasil pengujian dapat diterima digunakan sebagai acuan dalam pemilihan bahan

teknik sebagai bahan baku produk, atau menjadi petunjuk perubahan sifat bahan (kekerasan) sebelum atau setelah proses perlakuan panas dilakukan.

- **Pengujian kekerasan dengan cara penekanan (Indentation Test)**

Pengujian kekerasan dengan cara penekanan (Indentation Test) ialah pengujian kekerasan terhadap bahan (logam), dimana dalam menentukan kekerasannya dilakukan dengan menganalisis indentasi atau bekas penekanan pada benda uji (Test piece) sebagai reaksi dari pembebanan tekan. Proses ini dilakukan antara lain dengan sistem Brinell, Rockwell dan sistem Vickers. Pengujian dengan sistem ini paling banyak digunakan terutama di laboratorium pengujian logam atau industri manufaktur yang memproduksi benda-benda berukuran kecil (Komponen), hal ini dikarenakan proses serta prosedur pengujiannya yang sederhana dan cepat memperoleh data kekerasan yang dihasilkan dari pengujian.

- **Pengujian dengan cara Goresan (Scratch Test)**

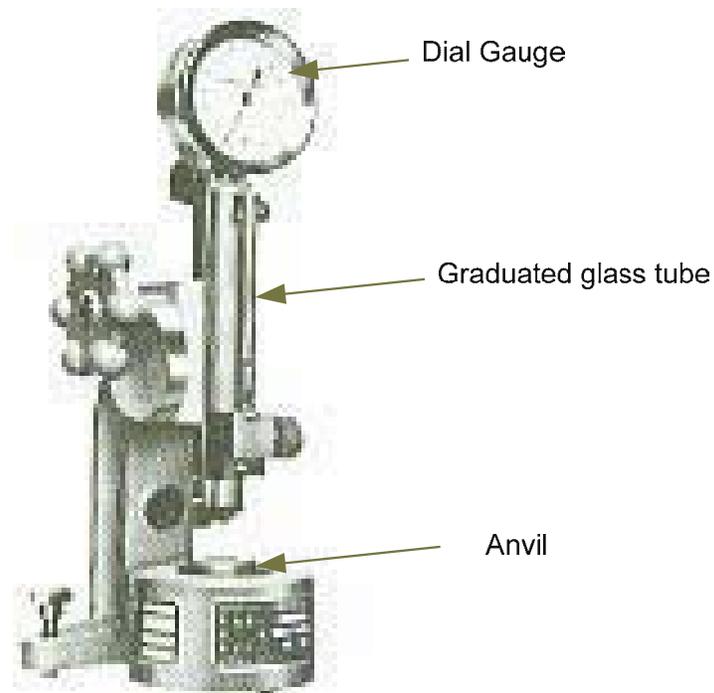
Pengujian dengan cara goresan (scratch test) ialah pengujian kekerasan terhadap bahan (logam), dimana dalam penentuan kekerasannya dilakukan dengan mencari kesebandingan dari bahan yang dijadikan standar pengujian, yakni bahan-bahan yang teruji dan memenuhi syarat pengujian sebagaimana disebutkan di atas, yang disusun pada skala kekerasan yang disebut *Skala Mohs* yakni susunan dari 10 macam bahan mineral disusun dari skala 1 sampai skala 10 dari yang ter lunak sampai yang terkeras. Pada skala mana dari 10 jenis bahan ini yang dianggap sebanding bekas goresannya, maka inilah angka kekerasan logam tersebut, misalnya angka kekerasannya 7 pada skala Mohs, artinya kekerasannya sebanding dengan bahan ke 7 yang digoreskan pada permukaan bahan tersebut. Hasil pengujian ini memang kurang akurat karena hasil pengujian hanya merupakan hasil pengamatan secara Visual, namun pengujian ini sangat bermanfaat digunakan pada benda atau konstruksi besar yang tidak mungkin di bawa untuk diuji pada Laboratorium. 10 macam bahan tersebut ialah :

1 Talk (talca)	6 Ortoklas (Felspar)
2 Gips (Gypsum)	7 Kwarsa (Quartz)
3 Kalsite (Calcspars)	8 Topas (Topas)
4 Plorite (Flourspar)	9 Korundum (Corundum)
5 Apatite (Apatite)	10 Intan (Diamond)

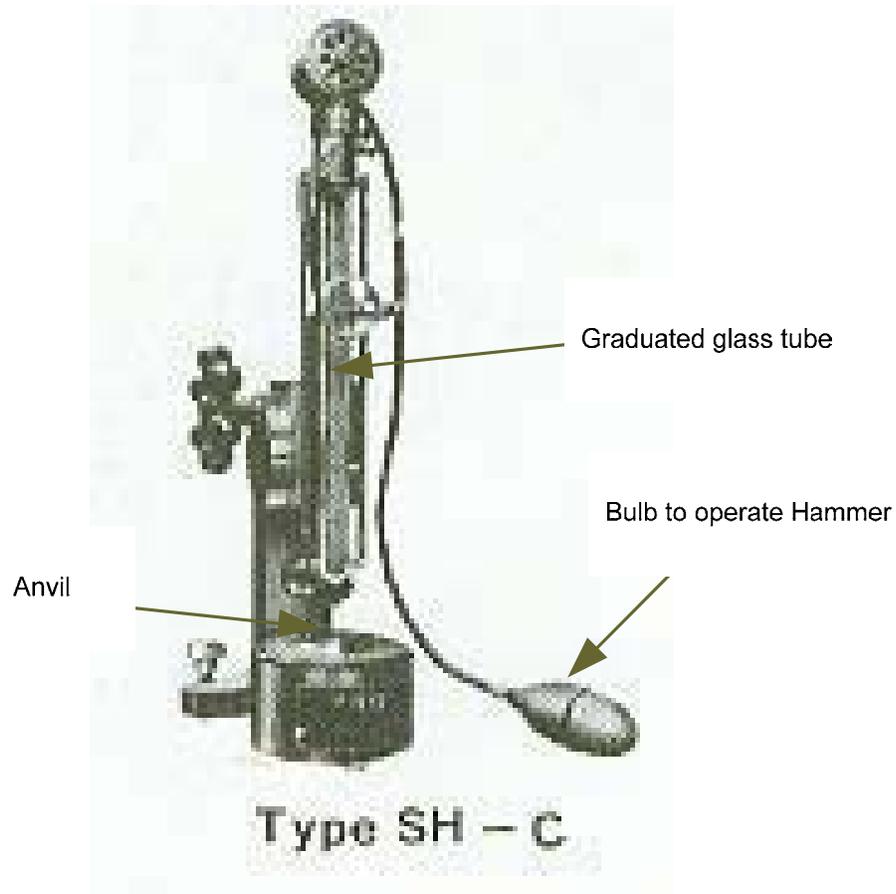
- **Pengujian dengan cara dinamik (Dynamic Test)**

Pengujian dengan cara dinamik (Dynamic Test) ialah pengujian kekerasan dengan mengukur tinggi pantulan dari bola baja atau intan (hammer) yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu. Tinggi pantulan memberikan indikasi kekerasan bahan tersebut, dimana semakin tinggi pantulan artinya bahan ini memiliki kekerasan yang tinggi. Pengukuran kekerasan dengan cara ini disebut sistem Shore Scleroscope.

Dalam proses ini “small diamond-tipped hammer” dijatuhkan secara bebas dari ketinggian 250 mm didalam gelas pengukur (Graduated Glass Tube) diatas permukaan test piece. Lihat gambar 10.1 konstruksi pesawat uji berikut.



**Gambar 10.1** Mesin uji kekerasan shore scleroscope.  
a. Type SH-D



**Gambar 10.2** Mesin uji kekerasan shore scleroscope.  
b. Type SH-C

Alat uji kekerasan dari sistem shore scleroscope ini juga dibuat dengan sistem yang sederhana dengan pengoperasian sebagaimana terlihat pada gambar 10.3 akan tetapi dalam pelaksanaannya tetap mematuhi ketentuan yang berlaku pada proses pengujian ini, dengan prinsip penentuan beban berdasarkan gaya grafitasi.



**Gambar 10.3** Mesin uji kekerasan Shore scleroscope.  
c. Type PHS-3

**b) Pengujian kekerasan dengan sistem Brinell**

Pengujian kekerasan dengan sistem Brinell merupakan salah satu metoda pengujian kekerasan dengan cara penekanan. Proses penekanan ini dimaksudkan untuk membentuk penetrasi pada permukaan bahan uji (test piece) yang akan dianalisis untuk menentukan tingkat kekerasan dari bahan tersebut. Penetrasi ini merupakan bentuk perubahan tetap dari bahan uji yang disebabkan oleh pembebanan, dimana beban yang diberikan dalam pengujian ini tidak mengakibatkan rusak atau pecahnya benda uji (test piece) itu sendiri yaitu ditentukan berdasarkan perbandingan antara angka konstanta dari jenis bahan ketebalan bahan dimana beban itu diberikan terhadap diameter alat penekan (Indentor).

Pada pengujian kekerasan dengan sistem Brinell ini alat penekannya menggunakan bola baja yang dipilih sesuai dengan ketentuan pengujian. Pada beberapa jenis pesawat uji kekerasan ini terdapat pula mesin uji universal yang dapat digunakan dalam ketiga sistem pengujian kekerasan yakni *Brinnell*, *Vickers* dan *Rockwell*. Akan tetapi ada juga mesin yang didisain khusus untuk

pengujian kekerasan brinell untuk jenis mesin pengujian kekerasan brinell ini dapat dilihat pada gambar 10.4 berikut.



**Gambar 10.4** Mesin uji kekerasan Brinell.

Mesin uji kekerasan Brinell seperti yang diperlihatkan pada gambar 10.4 merupakan mesin yang didisain khusus untuk pengujian kekerasan Brinell besarnya kapasitas pembebanan telah dirancang sesuai dengan spesifikasi Pengujian Kekerasan Brinell.

Pembebanan tekan yang diberikan melalui Indentor mambentuk indentasi pada permukaan benda uji (test piece) dan untuk mengetahui luas bidangnya diameter indentasi tersebut diukur dengan Measuring Microscope karena indentasinya yang sangat kecil dan tidak mungkin diukur dengan alat ukur biasa sehingga objek ukur harus diperbesar. Oleh karena itu mesin uji kekerasan Brinell ini selain indentor, Calibration Test Block atau Standard Test Block juga Measuring Microscope.

Perbandingan antara ukuran indenter yang akan digunakan, besarnya beban yang akan diberikan serta kesesuaiannya dengan jenis dan ukuran bahan dapat dilihat pada table berikut.

**Tabel 10.1** Perbandingan ukuran indenter dan tebal bahan

tebal bahan (mm)	diameter (D)Indentor (mm)	Beban (kg.f)			
		30D <sup>2</sup>	10D <sup>2</sup>	5D <sup>2</sup>	2,5D <sup>2</sup>
6	10	3000	1000	500	250
6 - 3	5	750	250	125	62,5
3 - 1	2,5	187,5	62,5	31,25	15,625

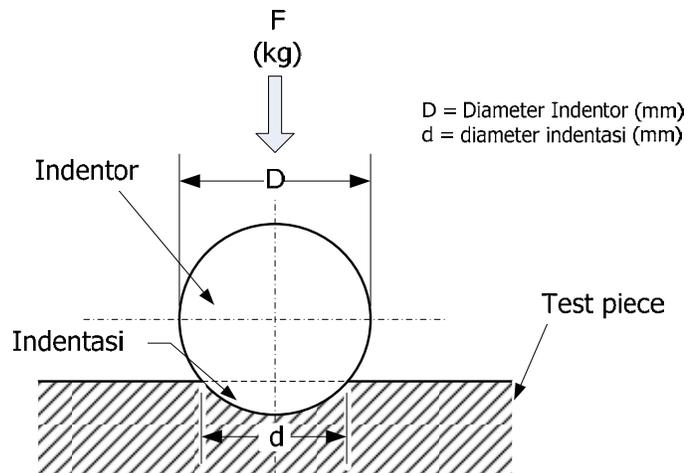
Perbandingan diameter Indentor (D) terhadap konstanta bahan diperlihatkan pada table berikut.

**Tabel 10.2;** Perbandingan diameter Indentor (D) terhadap konstanta bahan

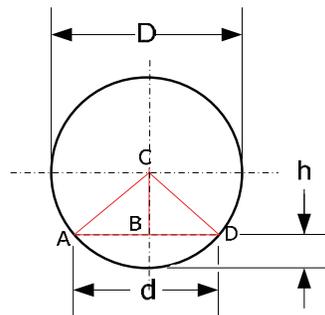
Jenis bahan	Perbandingan Konstanta terhadap D
Besi dan baja	30 D <sup>2</sup>
Tembaga	10 D <sup>2</sup>
Alumunium	5 D <sup>2</sup>
Timah	2,5 D <sup>2</sup>
Timbal	D <sup>2</sup>

Angka kekerasan dari hasil pengujian kekerasan Brinell merupakan perbandingan antara besarnya beban terhadap luas penampang bidang Indentasi.

Dengan indenter yang berbentuk bola maka indentasi yang terbentuk pada permukaan benda uji (Test Piece) akan berbentuk tembereng, jadi bidang yang menahan beban tersebut ialah sebuah tembereng lingkaran dengan ukuran diameter bola baja (D).



**Gambar 10.5** Posisi penekanan dengan indentor dalam pengujian kekerasan Brinell



Luas tembereng A =  $\pi \cdot d \times h$  (mm<sup>2</sup>)

Hitung jarak h = ?

Pada  $\Delta ABC \rightarrow AC = D/2; AB = d/2; BC = ?$

Phytagoras :

$$AC^2 = AB^2 + BC^2 \rightarrow BC = \sqrt{AC^2 - AB^2}$$

$$BC = \sqrt{(D/2)^2 - (d/2)^2}$$

$$h = D/2 - BC \rightarrow D/2 - \sqrt{(D/2)^2 - (d/2)^2}$$

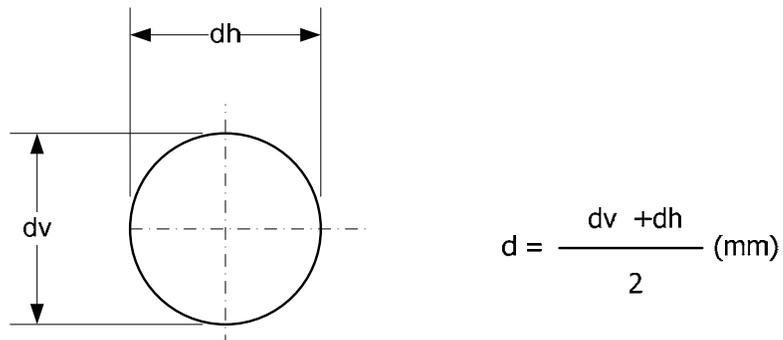
Luas tembereng  $A = \pi \cdot d \cdot h$  (mm<sup>2</sup>)

$$A = \pi \cdot d \cdot \left[ D/2 - \sqrt{(D/2)^2 - (d/2)^2} \right]$$

Angka kekerasan Brinell diketahui dengan :

$$\begin{aligned} \text{HB} &= F/A \text{ (kg/mm}^2\text{)} \\ &= \frac{F}{\pi \cdot d \cdot \left[ D/2 - \sqrt{(D/2)^2 - (d/2)^2} \right]} \text{ (kg/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

Pengukuran pada diameter indentasi ( $d$ ) dilakukan pada dua posisi Vertical dan Horizontal.



Angka kekerasan Brinell diketahui dengan :

$$\text{HB} = F/A \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

$$\text{HB} = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot \left[ D/2 - \sqrt{(D/2)^2 - (d/2)^2} \right]} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

Keterangan :

HB = Hardness Brinell ( $\text{kg/mm}^2$ )  
F = Beban (kgf)  
D = Diameter Indentor (mm)  
d = Diameter Indentasi (mm)

Waktu penekanan ditentukan pula berdasarkan jenis bahan yang diuji yaitu :

15 detik untuk logam Ferro  
30 detik untuk Tembaga dan  
1 menit untuk timah serta paduannya.

Ukuran diameter Indentor 10 mm memiliki toleransi sebesar  $\pm 0,0025$  mm, dan untuk yang lainnya  $\pm 0,5$  %.

Angka kekerasan Brinell ditentukan sesuai dengan aturan dalam pengujian kekerasan Brinell yaitu seperti contoh berikut :

### **150HB10/3000/15**

Artinya :

150 = Angka hasil pengujian  
HB = Hardness Brinell  
10 = Diameter Indentor  
3000 = Beban pengujian (kg.f)  
15 = Waktu pembebanan (detik)

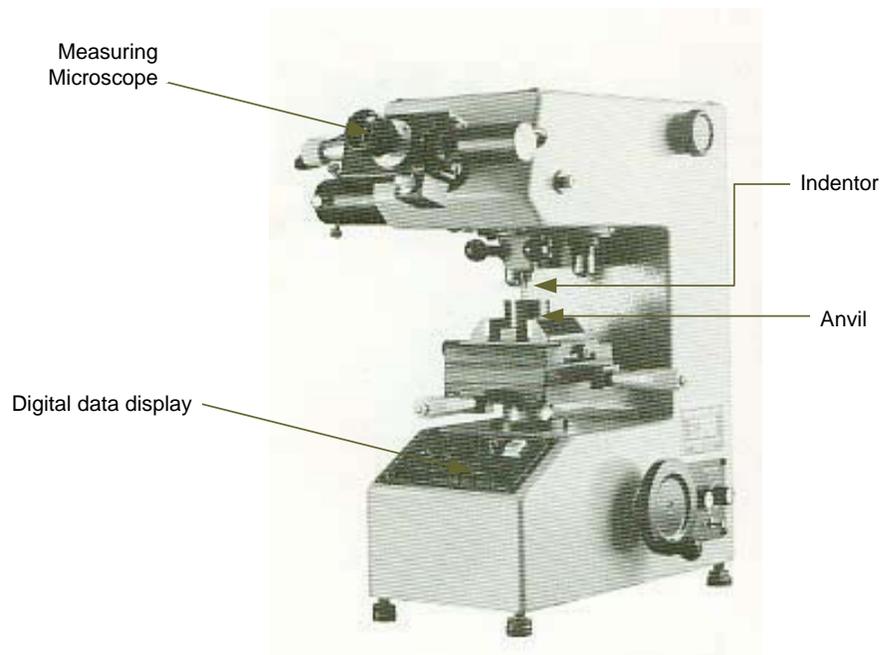
Untuk percobaan pengujian bahan uji (speciment) dibentuk sesuai ukuran khususnya pada ketebalan standar pengujian kekerasan Brinell, permukaan bidang pengujian harus dihaluskan dan selama proses pembuatan harus diperhatikan jangan sampai temperatur pengerjaan mengakibatkan terjadinya perubahan sifat bahan tersebut.

Dalam proses pengujian jarak indentasi tidak boleh terlalu berdekatan. Lakukan pengujian minimal 3 titik pengujian kemudian tentukan harga rata-ratanya untuk menghindari kesalahan dan perbedaan hasil pengujian.

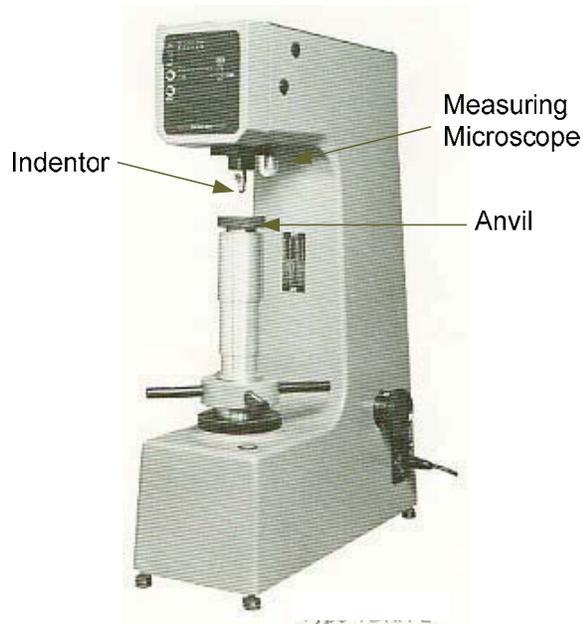
**c) Pengujian kekerasan dengan sistem Vickers**

Pada prinsipnya pengujian dengan sistem Vickers ini tidak jauh berbeda dengan Pengujian kekerasan dengan sistem Brinell, salah satu yang berbeda didalam pengujian kekerasan sistem Vickers ini ialah pemakaian Indentornya, dimana Vickers menggunakan piramida intan dengan sudut puncak piramida adalah  $136^{\circ}$ . Bentuk indentor yang relative tajam dibanding dengan Brinell yang menggunakan bola baja, Vickers mamberikan pembebanan yang sangat kecil yakni dengan tingkatan beban 5; 10; 20; 30; 50 dan 120 kg, bahkan untuk pengujian microstruktur hanya ditentukan 10 g, sehingga pengujian kekerasan Vickers cocok digunakan pada bahan yang keras dan tipis, sedangkan untuk bahan yang lunak dan tidak homogen seperti besi tuang (cast Iron) Vickers tidak sesuai untuk digunakan.

Konstruksi dan bagian-bagian dari mesin uji kekerasan Vicker dapat dilihat pada gambar 10.6 berikut.

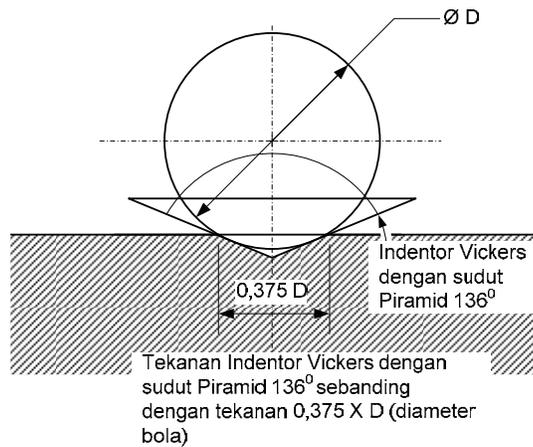


**Gambar 10.6** Mesin uji kekerasan Vickers

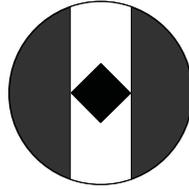


**Gambar 10.7** Mesin uji kekerasan Vickers

Untuk menentukan angka kekerasan dalam pengujian kekerasan sistem Vickers ini sebagaimana yang dilakukan oleh Brinell, yang dapat dianalisis sebagai berikut :

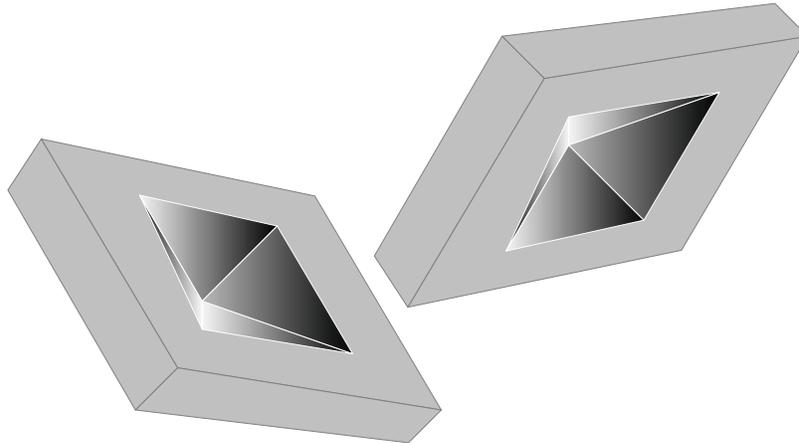


**Gambar 10.8** Posisi Indentor dalam pengujian kekerasan Vickers



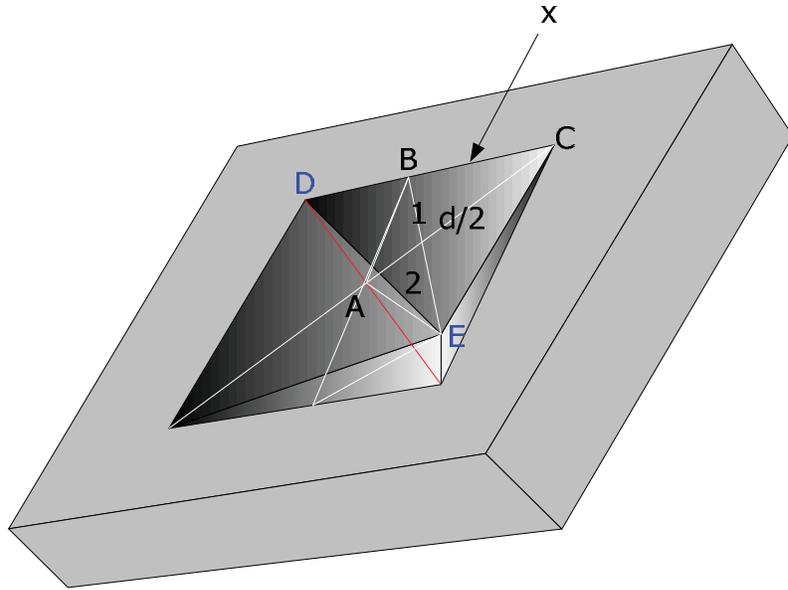
Indentasi dilihat dibawah microscope  
dalam keadaan tertutup  
Untuk menyetel ketepatan  
pengukuran

**Gambar 10. 9** Posisi Indentor dalam pengamatan dibawah microscope

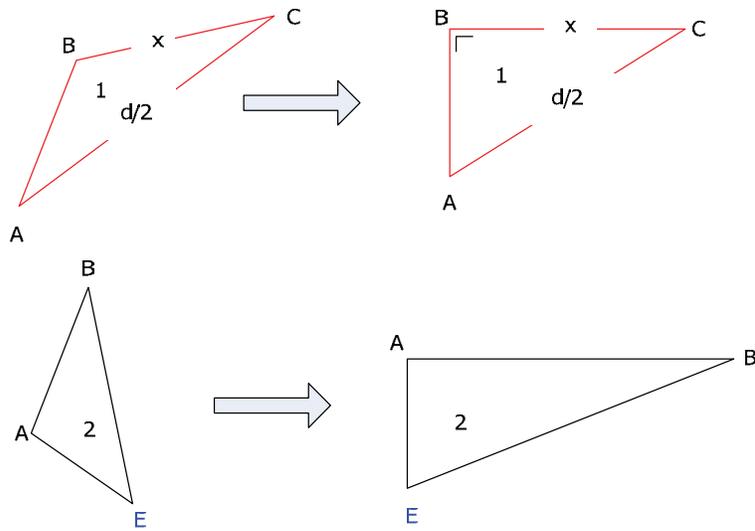


**Gambar 10.10** Ilustrasi bentuk indentasi pada permukaan specimen setelah pangujian

Analisis terhadap luas bidang indentasi yang menahan gaya tekan dalam pengujian kekerasan Vickers dengan mengeluarkan bidang-bidang geometris dari indentasi yang berbentuk pyramida.



**Gambar 10.10** Bidang-bidang geometris pada Diamond Indentation



Luas piramida = 4 X LUAS  $\Delta$  DEC =  $\frac{1}{2}$  BE X DC  
 Kita pindahkan  $\Delta$  1 ABC, , Jika sisi BC = X, maka :  
 $AC = x\sqrt{2}$  diketahui sisi AC = d/2 dengan  $d/2 = x\sqrt{2}$   
 Maka  $x = d/2 : \sqrt{2}$

$$= \frac{d}{2\sqrt{2}}$$

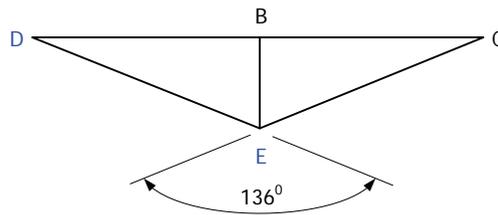
Kita pindahkan  $\Delta$  2 AEB, Jika sisi AB = X, maka :  
 diketahui sudut AEB =  $136^\circ/2 = 68^\circ$ , BE = ?

$\sin \alpha = AB/BE$ , jadi  $BE = AB/\sin \alpha$ ,

Dengan  $AB = X = \frac{d}{2\sqrt{2}}$

$\alpha = 68^\circ$

maka :  $BE = \frac{d}{2\sqrt{2}} : \sin \alpha$ ,  $BE = \frac{d}{2\sqrt{2} \cdot \sin 68^\circ}$



Segitiga dari salah satu sisi indentasi

$$\begin{aligned} \text{Luas } \Delta \text{ DEC} &= \frac{1}{2} BE \times DC & DC &= 2 \times \frac{d}{2\sqrt{2}} \rightarrow DC = \frac{d}{\sqrt{2}} \\ &= \frac{1}{2} \frac{d}{2\sqrt{2} \cdot \sin 68^\circ} \times DC \\ &= \frac{1}{2} \frac{d}{2\sqrt{2} \cdot \sin 68^\circ} \times \frac{d}{\sqrt{2}} \\ &= \frac{1}{4} \frac{d^2}{2 \cdot \sin 68^\circ} \end{aligned}$$

Luas piramida = 4 X LUAS  $\Delta$  DEC

$$= 4 \times \frac{1}{4} \frac{d^2}{2 \cdot \sin 68^\circ}$$

Jadi luas Indentasi (A) =  $\frac{d^2}{2 \cdot \sin 68^\circ}$  (mm<sup>2</sup>)

Jadi jika Angka kekerasan Vickers diketahui dengan :

$$HV = \frac{F}{A} \quad (KG/MM^2)$$

Maka angka kekerasan Vicker dapat dihitung dengan :

$$HV = \frac{F}{d^2} \quad (kg/mm^2)$$
$$HV = \frac{F}{d^2} \times \frac{1}{2 \cdot \sin 68^\circ} \quad (kg/mm^2)$$

$$2 \cdot \sin 68^\circ = 2,0,927183854$$
$$= 2,0,927183854$$
$$= 1,5854367709 = 1,58544$$

$$HV = 1,58544 \frac{F}{d^2} \quad (kg/mm^2)$$

Hasil pengujian kekrasan dengan sistem Vickers ini ditulis dengan ketentuan penulisan sebagaimana contoh berikut :

650 HV 30

Artinya :

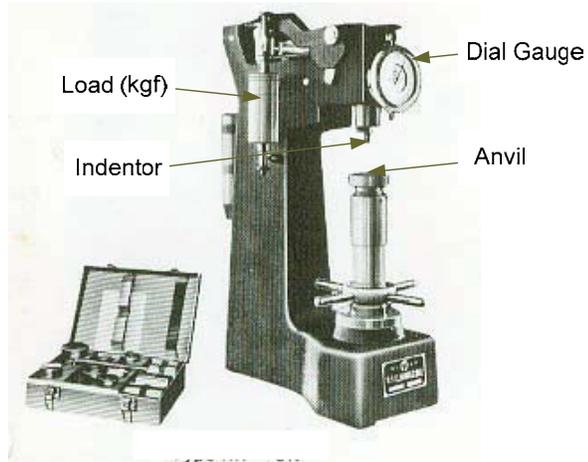
650 = Angka kekerasan Vickers (kg/mm<sup>2</sup>)

30 = Beban (kg)

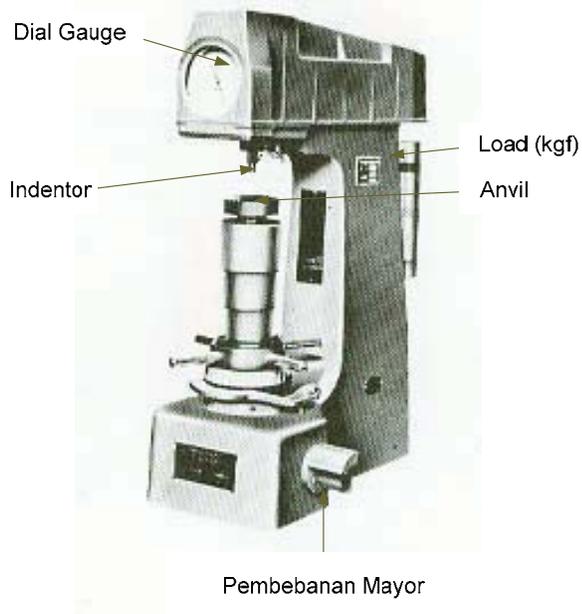
#### d) Pengujian kekerasan dengan sistem Rockwell

Pengujian kekerasan dengan sistem Rockwell ini paling banyak digunakan di bengkel-bengkel permesinan, karena prosesnya mudah dan cepat memperoleh angka kekerasan bahan uji, dimana angka kekerasan Rockwell dapat dibaca langsung dari pesawat uji yang kita gunakan, disamping itu pengujian kekerasana dengan sisitem Rockwell ini memiliki fungsi pemakaian yang cukup luas sehingga memungkinkan digunakan pada berbagai jenis dan karakteristik bahan dengan tersedianya skala kekerasan untuk berbagai aplikasi. Dilihat dari konstruksinya Mesin uji ini tidak jauh berbeda dengan mesin-mesin yang digunakan oleh Brinell dan

Vickers, bahkan untuk beberapa jenis mesin dibuat dengan fungsi universal dapat digunakan pada semua pengujian kekerasan dengan cara penekanan (indentation test), serta dibuat dengan ukuran kecil yang dapat digunakan pada pengujian kekerasan ditempat dimana produk itu ditempatkan. Berikut diperlihatkan jenis mesin uji kekerasan Rockwell



**Gambar 10.12** Konstruksi pesawat uji kekerasan Rockwel



**Gambar 10.13** Konstruksi pesawat uji kekerasan Rockwel

Mesin uji kekerasan Rockwell ini paling banyak digunakan dan dikembangkan dilaboratorium pengujian logam, memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan distandarkan menurut JIS dan ASTM. Spesifikasi khusus dari mesin ini penetrasi diberikan dengan pembebanan kecil/ringan.

Mesin uji kekerasan ini selanjutnya dikembangkan dengan pengukuran secara digital, sistem kerjanya masih menggunakan prinsip yang sama namun angka kekerasan dari hasil pengujian ditunjukkan dengan angka yang lebih jelas. (lihat gambar 10.14).



**Gambar 10.14** Konstruksi pesawat uji kekerasan Rockwell



**Gambar 10.15** Konstruksi pesawat uji kekerasan Rockwell

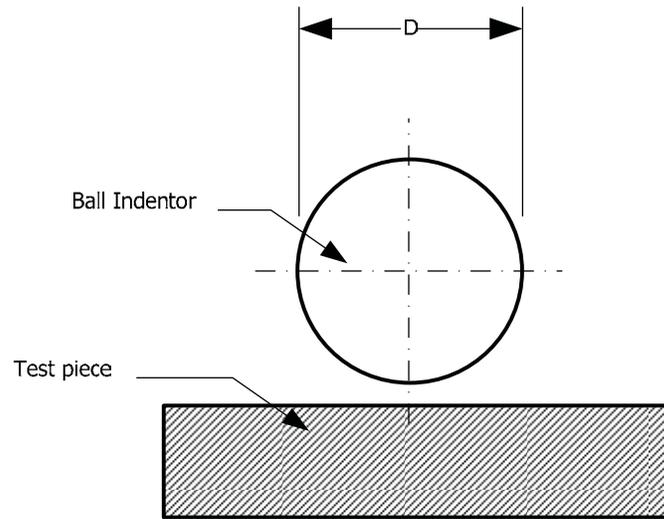
Prinsip dasar penentuan kekerasan yang dilakukan dalam pengujian Kekerasan Rockwell ini berbeda dengan yang dilakukan oleh Brinell dan Vickers, jika dalam pengujian kekerasan Brinell dan Vickers menentukan kekerasannya dengan melihat seberapa jauh bahan tersebut dapat menahan beban yang diberikan pada setiap satuan luas penampang ( $\text{mm}^2$ ) bidang benda uji (test piece) yang kita lakukan. Sedangkan pada pengujian kekerasan sistem Rockwell ini angka kekerasan bahan ini ditentukan oleh kedalaman masuknya indentor kedalam bahan akibat penekanan dengan besaran beban tertentu yang kita berikan.

Pengujian kekerasan dengan sistem Rockwell ini menggunakan dua jenis indentor (alat penekan), yaitu Indentor yang dibuat dari bahan intan dibentuk kerucut dengan sudut penekan  $120^\circ$  dan Indentor dari bentuk bola dengan berbagai ukuran untuk berbagai skala kekerasan dan aplikasi.

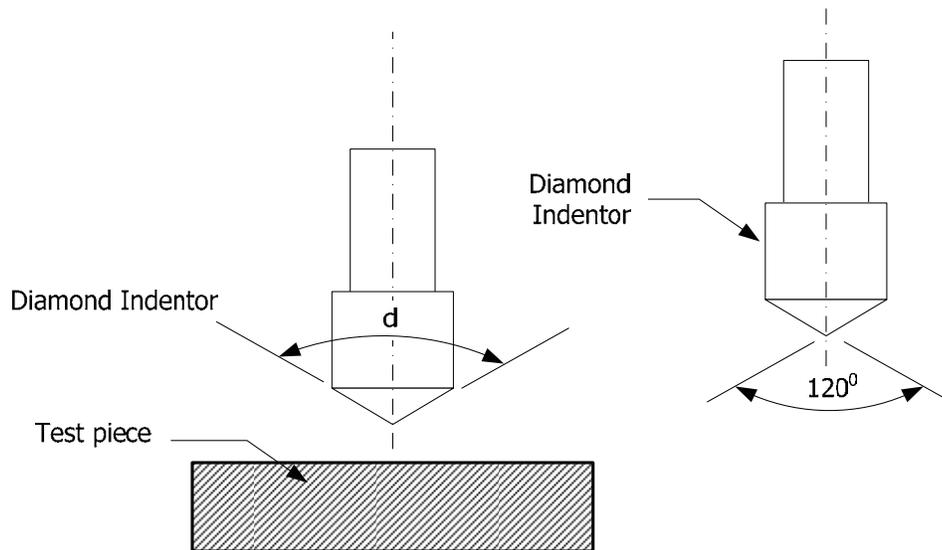
Oleh keran itu pengujian kekerasan Rockwell ini dibedakan menjadi 2 jenis berdasarkan pemakaian indentornya, yaitu :

- Rockwell cone ialah pengujian kekerasan dengan sistem Rockwell yang menggunakan indentor Kerucut bersudut intan  $120^\circ$ .
- Rockwell ball ialah pengujian kekerasan dengan sistem Rockwell yang menggunakan indentor Bola baja dengan berbagai ukuran untuk berbagai aplikasi.

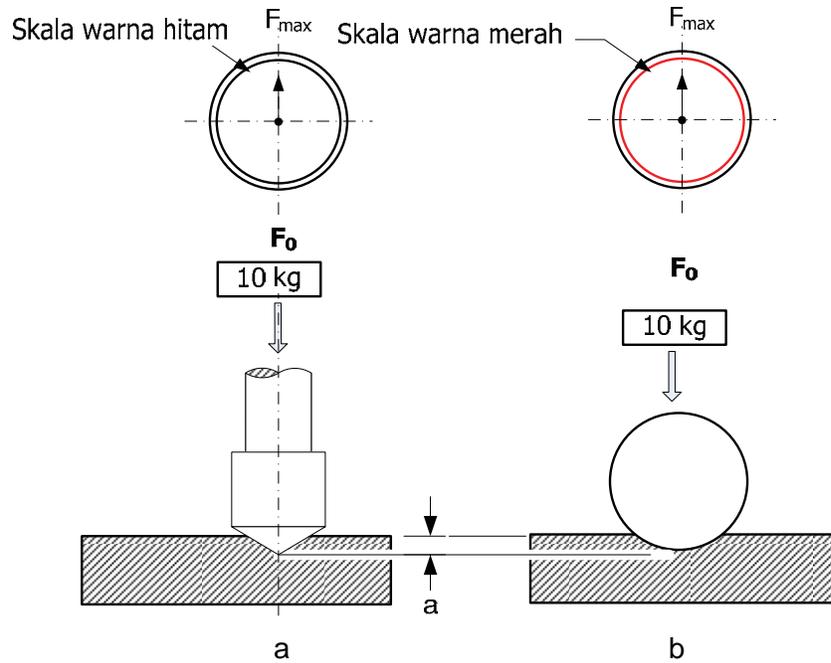
Gambar berikut memperlihatkan perilaku penekanan dalam pengujian kekerasan dengan sistem Rockwell tersebut.



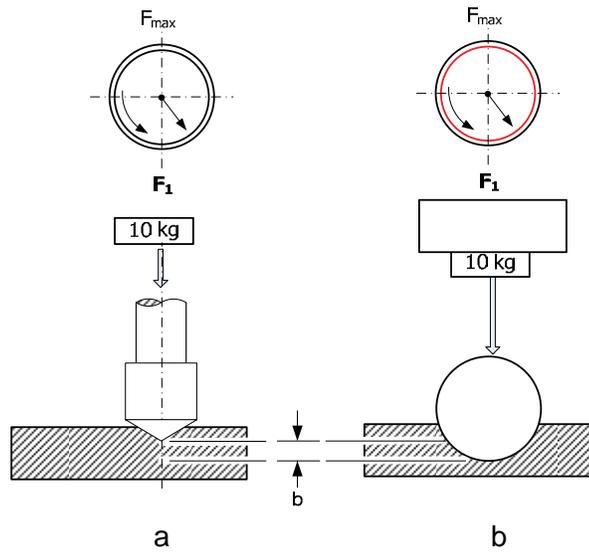
**Gambar 10.16** Ball Indentor pada posisi siap menekan



**Gambar 10.17** Diamond Indentor pada posisi siap menekan



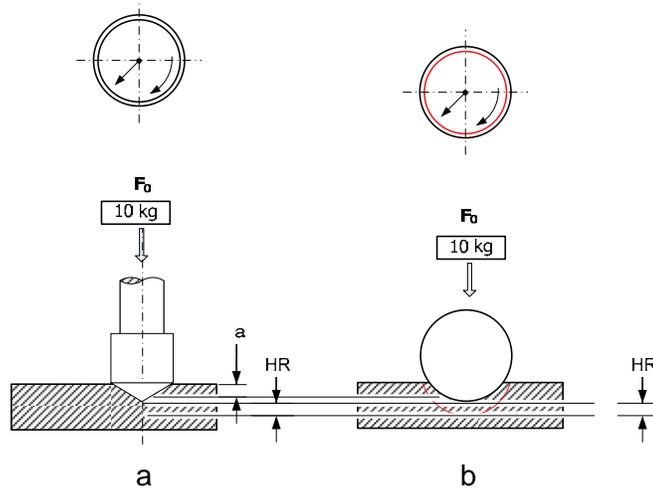
**Gambar 10.18** Diamond (a) Ball (b) Indentor pada posisi menekan



**Gambar 10.19** Diamond (a) Ball (b) Indentor pada posisi menekan dengan beban Mayor ( $F_1$ ) "X" kg menghasilkan kedalaman b

**Catatan :**

“X” = berbeda sesuai dengan skala pengujian yang digunakan (lihat table skala kekerasan Rockwell).



**Gambar 10.20** Diamond (a) Ball (b) Indentor pada posisi menekan hanya dengan beban minor 10 kg menunjukkan angka kekerasan (HR) =Jarak b + (b-a)

Pada gambar terlihat bahwa skala ukur kekerasan dibedakan dari warnanya dimana untuk Rockwell Cone atau Rockwell yang menggunakan kerucut intan 120<sup>0</sup> menggunakan warna hitam dan untuk Rockwell yang menggunakan bola baja sebagai indentornya menggunakan warna merah.

Dalam pemakaiannya, skala pengujian kekerasan Rockwell ini dipilih sesuai dengan ketentuan yang direkomendasikan dalam Pengujian kekerasan Rocwell sebagaimana pada table berikut.

**Tabel 10.3** Skala Kekerasan dalam Pengujian kekerasan Rockwell.

Skala	Indentor	Beban (kgf)			Pemakaian
		Minor	Mayor	Total	
A	Intan 120 <sup>0</sup>	10	50	60	Cabide Cementite baja tipis dan baja dengan lapisan keras yang tipis.
B	Bola baja Ø 1,588 mm (1/16")	10	90	100	Tembaga, Alumunium, baja lunak dan besi tempa

Skala	Indentor	Beban (kgf)			Pemakaian
		Minor	Mayor	Total	
C	Intan 120 <sup>0</sup>	10	140	150	Baja yang keras sedang besi tempa pearlitic baja dengan lapisan keras.
D	Intan 120 <sup>0</sup>	10	90	100	Baja yang keras sedang besi tempa pearlitic baja dengan lapisan keras.
E	Bola baja Ø 3,75 mm (1/8")	10	90	100	Besi tuang, Alumunium, Magnesium dan logam-logam bantalan
F	Bola baja Ø 1,588 mm (1/16")	10	50	60	Paduan tembaga yang dilunakan, plat dan logam lunak yang tipis.
G	Bola baja Ø 1,588 mm (1/16")	10	140	150	Besi Tempa, Paduan Tembaga Nic-kel-Seng dan Tembaga Nikel.
H	Bola baja Ø 3,175 mm	10	50	60	Alumunium Seng dan Timbal
K	Bola baja Ø 3,175 mm	10	140	150	Logam-logam bantalan dan logam lunak atau bahan-bahan yang sangat tipis.
L	Bola baja Ø 6,35 mm (1/4")	10	90	100	Logam-logam bantalan dan logam lunak atau bahan-bahan yang sangat tipis.
M	Bola baja Ø 6,35 mm (1/4")	10	90	100	Logam-logam bantalan dan logam lunak atau bahan-bahan yang sangat tipis.
P	Bola baja Ø 6,35 mm (1/4")	10	140	150	Logam-logam bantalan dan logam lunak atau bahan-bahan yang sangat tipis.
R	Bola baja Ø 12,7 mm (1/2")	10	50	60	Logam-logam bantalan dan logam lunak atau bahan-bahan yang sangat tipis.

Skala	Indentor	Beban (kgf)			Pemakaian
		Minor	Mayor	Total	
S	Bola baja Ø 12,7 mm (1/2")	10	90	100	Logam-logam bantalan dan logam lunak atau bahan-bahan yang sangat tipis.
V	Bola baja Ø 12,7 mm (1/2")	10	140	150	Logam-logam bantalan dan logam lunak atau bahan-bahan yang sangat tipis.

## 2. Pengujian Tarik (Tensile Test)

Pengujian Tarik merupakan proses pengujian yang biasa dilakukan karena pengujian tarik dapat menunjukkan perilaku bahan selama proses pembebanan, selain Tegangan tarik dengan notasi  $\sigma_t$ , juga Elastisitas (E), regangan ( $\epsilon$ ) dan Kontraksi (Z).

- **Bahan uji (Test piece)**

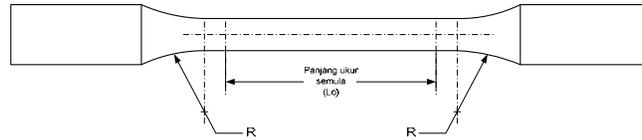
Untuk menghindari Variasi bentuk bahan uji atau specimen (Test piece), maka untuk bahan uji ini diatur berdasarkan standarisasi pengujian, dimana bahan uji tarik ini dikelompokkan kedalam dua jenis bahan uji, yaitu bahan uji yang masuk dalam standarisasi ketentuan secara proporsional, yang menurut jenis bahan serta ukurannya harus memiliki perbandingan tertentu terutama pada ukuran panjangnya yakni menurut rumus :

$$L_0 = k \sqrt{S_0}$$

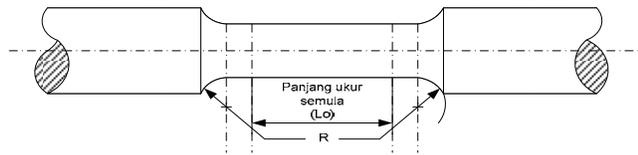
Dimana :

- $L_0$  = Panjang pada ukuran semula (mm)  
 $k$  = Angka tetapan dengan besarnya sesuai dengan jenis bahannya, yaitu : 5,65 untuk besi dan baja, dan 11,3 untuk Tembaga Alumunium dan paduannya (logam non-Ferro).  
 $S_0$  = Luas penampang semula ,yaitu :  
 $\pi/4 d_0^2$  (mm<sup>2</sup>) untuk benda bulat,  
 $d_0$  = diameter semula (mm<sup>2</sup>), dan  
 $P \times L$  (mm<sup>2</sup>) untuk benda segi empat.

Bentuk dan ukuran bahan uji tarik menurut British standard



**Gambar 10.21** Standar bahan uji plat (segi empat) menurut British standard



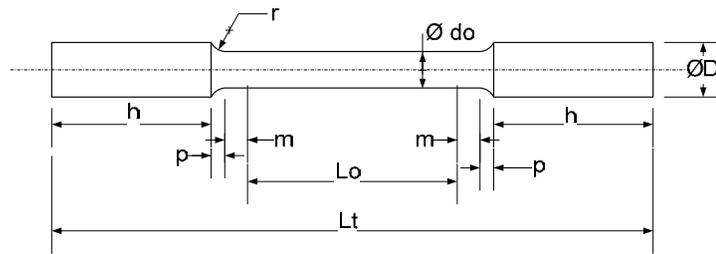
**Gambar 10.22** Standar bahan uji bulat (round) menurut British standard

- **Bahan uji Proporsional dan non-proporsional**

Angka konstanta bahan uji sebagaimana ditentukan untuk bahan yang memenuhi syarat proporsional diatur pula berdasarkan standar Dp, yakni DP-5 dan Dp-10, namun demikian angka ini akan mendekati kepada ketentuan formulasi standar  $Lo = k\sqrt{So}$ , dimana DP-5 adalah  $Lo = 5.do$  ; dan Dp-10 adalah  $Lo = 10.do$ . Beberapa bagian lain dari bentuk bahan uji proporsional ini ialah pada bagian prismatis  $Le = Lo + 2m$  dan berada diantara  $Lo = 10,3\sqrt{So}$  atau  $Lo = 5,65\sqrt{So}$ . Untuk bahan uji bulat harga  $Le$  harus diantara  $Lo + d$  dan  $Lo + 2d$ , sedangkan untuk benda uji segi empat perbandingan antara tebal dengan lebarnya adalah 1 : 4 , tapi tidak berlaku untuk bahan uji yang tipis. Untuk bahan uji yang tidak proporsional ketentuan sebagaimana dipakai dalam menentukan ukuran bahan uji proporsional ( $Lo = k\sqrt{So}$ ) ini tidak berlaku, yang termasuk dalam kelompok bahan ini ialah bahan-bahan yang tipis kurang dari 3 mm serta kawat dan besi tuang.

Standarisasi bahan uji tarik ini secara spesifik dapat dilihat pada table berikut.

**Tabel 10.4** Bahan uji tarik proporsional menurut standar DP untuk bahan uji bulat.



**Dimensional bahan uji tarik**

$d_o$	$D_{min}$	$h_{min}$	$m$	$p$	Standar Dp-5				Standar Dp-10		
					$r$	$L_o$	$L_o + 2m$	$L_t$ min	$L_o$	$L_o + 2m$	$L_t$ min
6	8	25	3	2,5	3	30	36	91	60	66	121
8	10	30	4	3	4	40	48	104	80	88	154
10	12	35	5	3	5	50	60	136	100	100	186
14	15	40	6	4	6	60	72	160	120	132	220
14	17	45	7	4,5	7	70	84	183	140	154	253
16	20	50	8	5,5	8	80	96	207	160	176	287
18	22	55	9	6	9	90	108	230	180	198	320
20	24	60	10	6	10	100	120	252	200	220	352
25	30	70	12,5	8	12,5	125	150	305	250	275	430

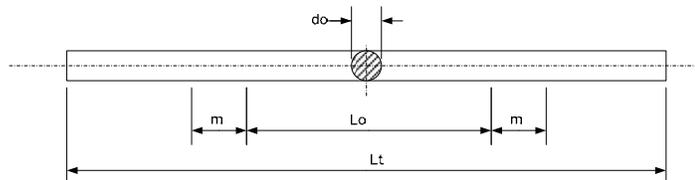
Catatan :

- Untuk bahan yang lunak diperlukan ukuran  $D$  yang lebih besar
- Untuk bahan yang keras diperlukan  $h$  yang lebih panjang.
- Ukuran panjang semula  $L_o$  mendekati kepada rumus :  $L_o = k\sqrt{S_o}$

**Tabel 10.5** Bahan uji tarik proporsional menurut standar DP untuk bahan uji persegi empat

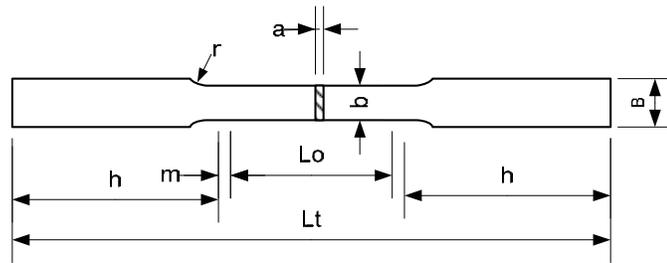
d <sub>o</sub>	D <sub>min</sub>	h <sub>min</sub>	m	p	Standar Dp-5			Standar Dp-10			
					r	L <sub>o</sub>	L <sub>o</sub> +2m	L <sub>t</sub> min	L <sub>o</sub>	L <sub>o</sub> +2m	L <sub>t</sub> min
5	10	16	30	4	6,5	8	40	48	121	80	88
5	16	22	30	5	7	10	50,5	60,5	139,5	101	101
6	20	27	40	6,5	8,5	12	62	75	173	124	137
7	22	27	45	7	8	14	70	84	190	140	154
8	25	33	50	8	10	16	80	96	216	160	176
10	25	33	60	9	10,5	18	89,5	107,5	250	180	197
10	31	40	70	10	12,5	20	100	100,5	284,5	199	219
12	26	33	70	10	10,5	20	100	120	283	200	220
15	30	40	70	12	14,5	24	120	144	313	240	264
18	20	40	70	13,5	16	27	131,5	158,5	303,5	263	290
22	30	40	80	14,5	16,5	29	145	174	367	290	319
24	30	40	80	15,5	17	31	150,5	180,5	374	301	331

**Tabel 10.6** Bahan uji tarik non-proporsional untuk bahan uji bulat.



Simbol	Panjang semula L <sub>o</sub> (mm)	M (mm)	L <sub>t</sub>
DP-10	10 d	Min.25	Tidak ditentukan
DI	100 atau 200	Min.25	Tidak ditentukan

**Tabel 10.7** Ukuran bahan uji tarik non-proporsional untuk pelat



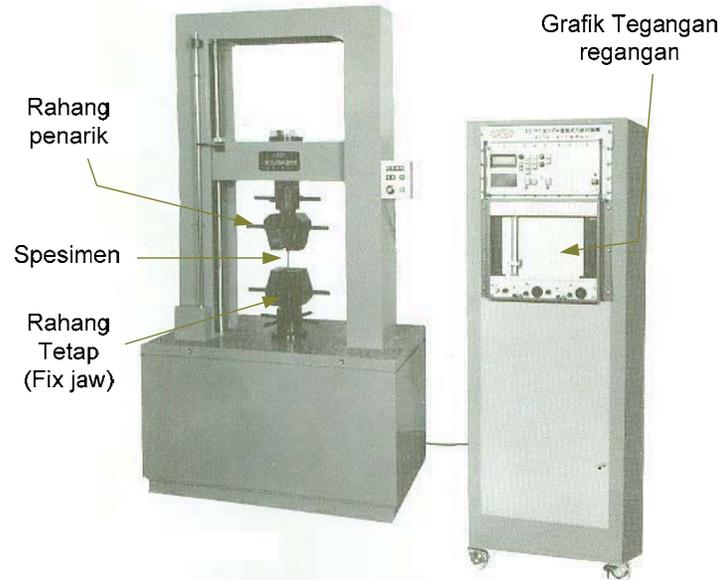
Symbol	t	b	Lo	m	r
dl.1	tebal	20 ± 1	80 ± 0,8	20 ± 0,5	Min.2 5
dl.2		12,5 ± 1	50 ± 0,5	12,5 ± 2,5	Min.2 5

d	So			Lg	Lt min.
6 ± 0,1	28,33	D-10	13	20	46
8 ± 0,1	50,3	M-12	16	21	53
10 ± 0,1	78,5	M-16	20	23	63
12,5 ± 0,2	122,7	M-20	24	25	73
16 ± 0,2	201	M-24	30	27	87
20 ± 0,5	314	M-30	36	30	102
25 ± 0,5	491	M-36	44	31	109
32 ± 0,5	804	M-45	55	33	143

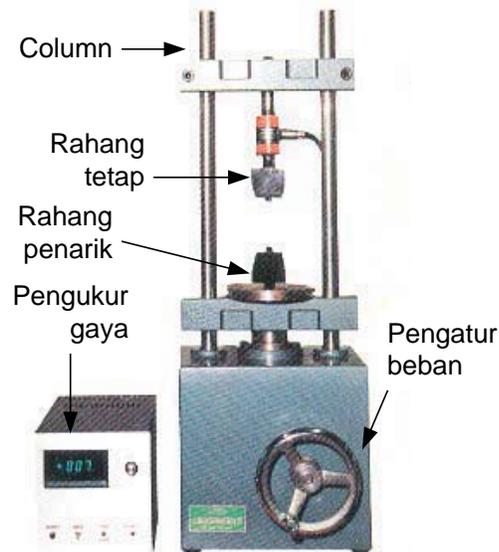
- **Pesawat uji tarik**

Mesin uji tarik memiliki secara spesifik memiliki karakteristik tersendiri, dimana konstruksinya didisain agar dapat memberikan gaya axial sepanjang bahan uji yang masing-masing ujungnya dijepit pada ujung masing-masing spindle yang terdiri dari bagian spindle tetap dan spindle panarik, gaya tarik ini dapat diperoleh dari power Hydraulic atau dengan motor listrik melalui transmisi roda gigi dan ulir, akan tetapi yang paling penting bahwa gaya yang diberikan untuk melakukan penarikan pada specimen ini dapat terindikasi dalam penunjukan ukuran sebagai perilaku specimen akibat penarikan tersebut. Pada beberapa jenis mesin dengan power hydraulic, gaya tarik yang dikeluarkan untuk menarik specimen ini dapat terlihat secara langsung pada penunjuk tekanan hydraulic (Pressure gauge), namun bagaimana perubahan bentuk yang terjadi karena penarikan ini harus diperlihatkan melalui grafik yang disebut grafik diagram tegangan regangan (akan dibahas berikut).

Dalam perkembangannya apapun sistem tenaga yang digunakan dalam penarikan ini sekarang sudah dapat terbaca secara digital dengan graphic secara elektronik yang dapat dicopy dan diduplikasikan sebagai dokumen pengujian. Gambar 10.23 dan 10.24 berikut memperlihatkan berbagai mesin uji tarik yang dikembangkan dewasa ini.



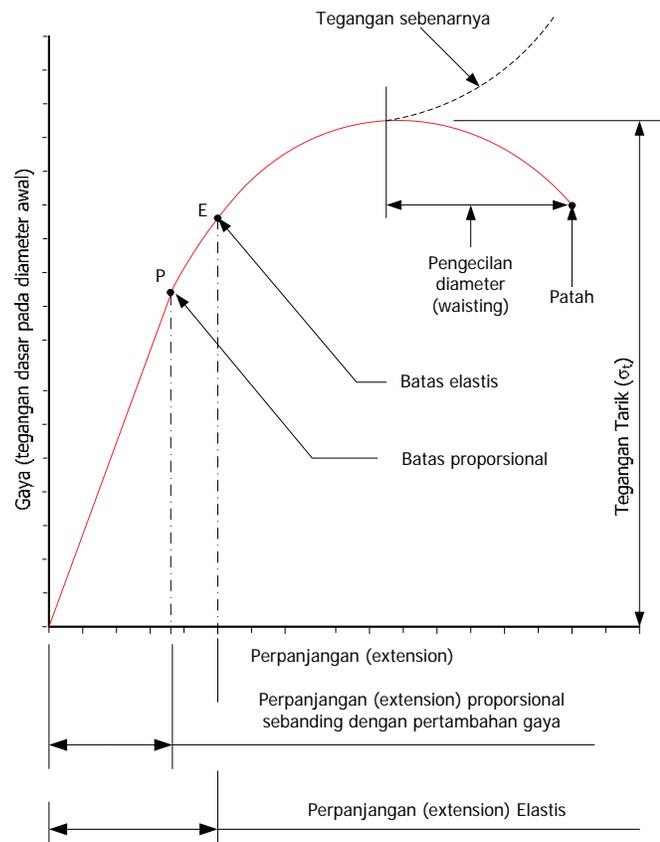
**Gambar 10.23** Konstruksi umum dari mesin uji tarik



**Gambar 10.24** Konstruksi umum dari mesin uji tarik

- **Prilaku bahan uji (Test piece) selama proses penarikan dalam pengujian tarik.**

Prilaku bahan uji (Test piece) selama proses penarikan dalam pengujian tarik, dimana pembebanan yang diberikan secara axial pada arah yang berlawanan, maka penambahan panjang pada setiap penambahan gaya tarik akan terindikasi pada pangukur perpanjangan (Extensometer), melalui grafik akan terlihat hubungan antara penambahan panjang dengan penambahan gaya tarik . Pada gambar 10.24 memperlihatkan dimana penambahan gaya tarik yang perlahan-lahan ini menunjukkan kesebandingan antara peningkatan gaya tarik dengan penambahan panjang secara proporsional, dan jika gaya tarik ini dilepaskan, maka bentuk dan ukuran kembali kepada bentuk serta ukuran semula, kondisi ini yang disebut perubahan bentuk elastis atau yang disebut sebagai *deformasi elastis* .



**Gambar 10.25** Diagram tegangan regangan

Keadaan yang demikian ini akan terhenti pada titik “P” (lihat gambar 10.25), dimana gaya tarik ini menjadi tidak sebanding dengan perpanjangan, bahkan gaya tarik cenderung tetap bahkan turun dan perpanjangan justru semakin besar seperti terlihat pada gambar 10.25 (Diagram tegangan regangan), ini akan berakhir pada titik “E” yang kita sebut sebagai batas elastis (*Elastic limit*) pada titik ini bahan menjadi berada dalam keadaan antara elastis dan plastis, yakni antara titik P dan titik E, walaupun di dalam praktiknya titik-titik ini berhimpitan atau tidak nampak. Jika gaya tarik ini dilanjutkan maka akan terjadi pengecilan pada diameternya yang akan mengakibatkan tegangan meningkat kendati tanpa peningkatan gaya yang kemudian turun hingga bahan uji ini putus.

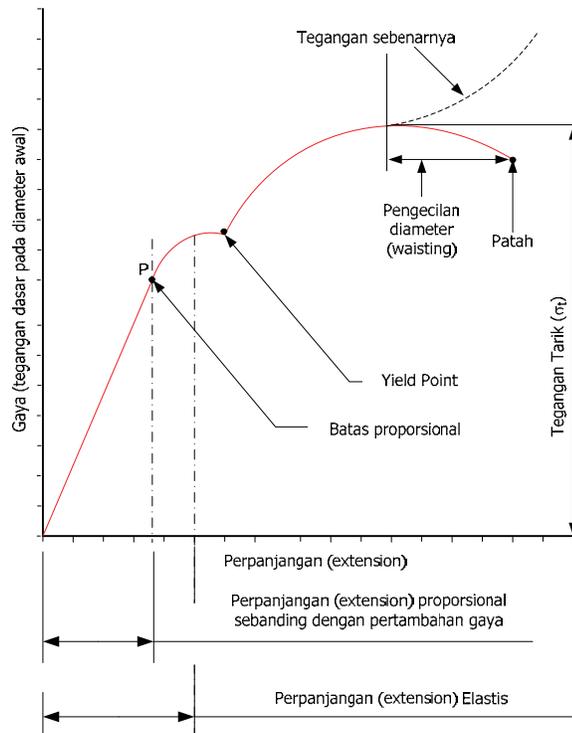
Pada sebuah pengujian tegangan sebenarnya dapat tergambarkan pada grafik diagram tegangan regangan ini, namun jika tidak maka setiap perubahan bentuk specimen akibat penarikan harus selalu diukur. Pengukuran ini dilakukan untuk menghindari tidak tergambarkannya perbandingan antara gaya terhadap perpanjangan atau “nominal stress” atau tegangan tarik ( $\sigma_t$ ) terhadap regangan atau dapat dihitung dengan gaya dibagi dengan luas penampang semula, atau :

$$\text{Tegangan Tarik } (\sigma_t) = \frac{\text{Gaya } (F_{\max})}{\text{Luas penampang semula } (S_0)} \text{ kg/mm}^2$$

Hal ini merupakan ketentuan yang biasa dilakukan karena didalam praktiknya sering terjadi dimana tegangan dapat terjadi sebelum mencapai batas elastis, dan pada tegangan ini hanya terjadi pengecilan diameter yang sangat sedikit. Serta tegangan tarik hanya sedikit perbedaannya dengan tegangan tarik yang sebenarnya dengan gaya tarik yang lebih rendah, nilai Tegangan tarik dari hasil perhitungan lebih tinggi dari tegangan tarik yang diperoleh pada saat bahan mengalami patah. Dalam perhitungan tentu saja harus ditambah dengan factor-factor keamanan dan diperhitungkan didalam batas elastis. Jika kita perhatikan diagram tegangan regangan ini hampir sama dengan diagram gaya dan perpanjangan dengan konversi bentuk kurvanya.

- **Prilaku baja lunak dalam pengujian tarik.**

Pada gambar 10.26 diperlihatkan prilaku baja lunak dalam proses pengujian tarik, titik dimana terjadinya perpanjangan tanpa penambahan gaya tarik, ini yang disebut sebagai *Yield point* Kendati bahan memiliki tegangan yang tinggi dari pada tegangan yield pada akhirnya tidak akan melebihi tegangan yield tersebut, karena dengan perpanjangan yang tiba-tiba akan menyebabkan kesalahan pada bagian lain dalam perakitan atau pada bagian itu sendiri.



**Gambar 10.26** Prilaku baja Lunak dalam proses pengujian tarik

- **Sifat-sifat bahan yang dapat diketahui melalui pengujian tarik pengujian tarik.**

Diagram Tegangan regangan memberikan informasi tentang prilaku bahan selama bahan tersebut menerima pembebanan tarik, akan tetapi beberapa sifat bahan juga dapat diketahui secara analisis, antara lain :

Modulus elastis (young's Modulus of elasticity) atau "E" yang terlihat pada diagram tegangan regangan yakni lereng bagian lurus pada curva namun dapat dihitung dengan :

$$\text{Elastisitas (E)} = \frac{\text{Tegangan Tarik } (\sigma_t)}{\text{Regangan } (\epsilon)} \quad \text{kg/mm}^2$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = \frac{\text{Perpanjangan}}{L_0}$$

Prosentase penurunan pada luas penampang atau kontraksi (Z) :

$$\text{Kontraksi (z)} = \frac{S_u - S_o}{S_o} \times 100 \%$$

Prosentase pertambahan panjang setelah patah (A) :

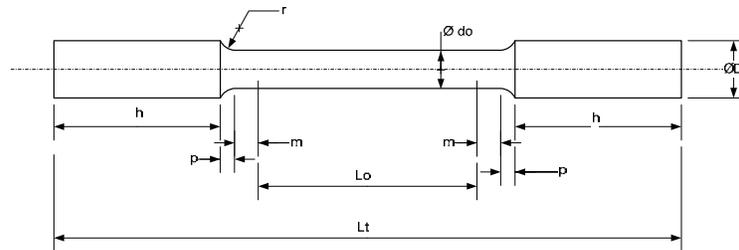
$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \times 100 \%$$

- **Proses pengujian tarik.**

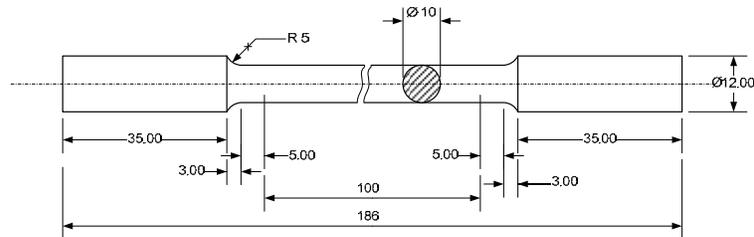
Proses pengujian tarik secara umum dilakukan sebagaimana dalam pengujian yang lainnya, yakni dengan terlebih dahulu merumuskan tujuan pengujian yang akan kita lakukan sehingga hasil pengujian dapat memberikan informasi yang akurat mengenai aspek-aspek karakteristik bahan yang akan diuji, untuk selanjutnya melakukan analisis terhadap bahan uji untuk menentukan metoda pengujian yang tepat sesuai dengan ketentuan pengujian, dalam pengujian tarik bahan uji ini dikelompokkan kedalam dua jenis bahan uji, yaitu bahan uji yang memenuhi ukuran dalam ketentuan proporsional, atau bahan yang termasuk non-proporsional.

Untuk bahan uji yang memenuhi syarat proporsional bahan uji dibentuk menurut ketentuan ukuran dalam standar Dp-5 atau Dp-10 atau menurut ukuran dengan ketentuan  $L_o = k\sqrt{S_o}$ . Jika bahan ini diperlukan pembentukan, biasanya dibentuk pada mesin perkakas seperti pekerjaan bubut, yang perlu diperhatikan adalah pengendalian temperatur pada saat pembentukan itu dilakukan dengan memberikan pendinginan yang memadai. Setelah proses pembentukan dilakukan, bahan uji tarik diberi tanda pembagian dengan menggunakan penitik atau penggores, hati-hati dalam pemberian tanda-tanda ini agar tidak mengakibatkan pengaruh terhadap sifat mekanik bahan tersebut selama proses pengujian tarik.

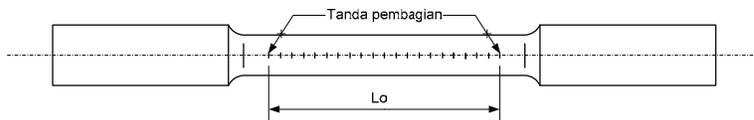
Untuk persiapan bahan ini dapat dilihat pada gambar 10.27, 10.28 dan 10.29.



**Gambar 10.27** Dimensi standar bahan uji proporsional menurut Dp-10

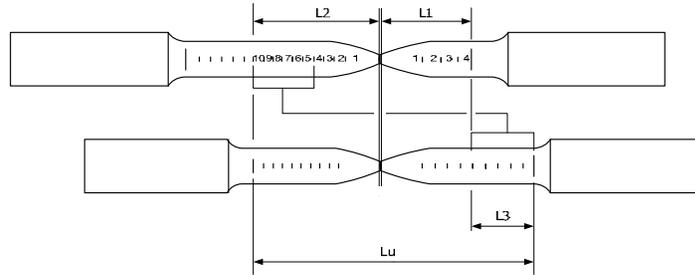


**Gambar 10.28** Dimensi standar bahan uji proporsional menurut Dp-10 dibentuk pada mesin perkakas



**Gambar 10.29** Tanda pembagian sepanjang  $L_o$   
contoh : pembagian pada 20 bagian

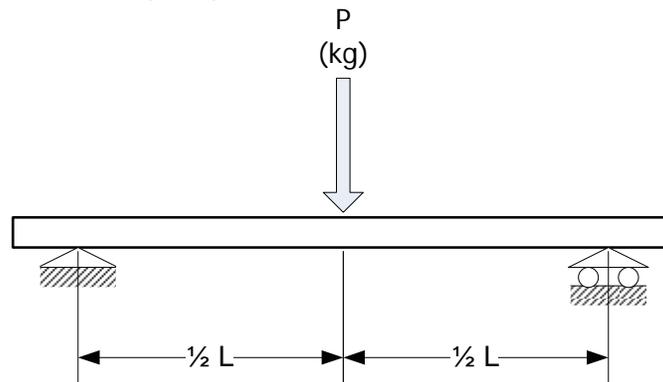
Tanda pembagian yang dibuat pada specimen pengujian tarik yakni pada daerah sepanjang  $L_o$  ini berfungsi untuk membantu proses pengukuran akhir setelah bahan uji itu patah ( $L_u$ ) apabila bahan uji tidak patah ditengah-tengah, walupun pengaruhnya sangat kecil terhadap perbedaan hasil ukur namun deformasi yang diharapkan terjadi secara merata sepanjang  $L_o$ . Kemungkinan terjadi hal yang demikian ini antara lain disebabkan oleh kondisi struktur bahan atau komposisi unsur yang tidak merata pada bahan uji tersebut. Untuk menghindari kesalahan maka pengukuran  $L_u$  dilakukan dengan cara sebagaimana diperlihatkan pada gambar 10.30 berikut.



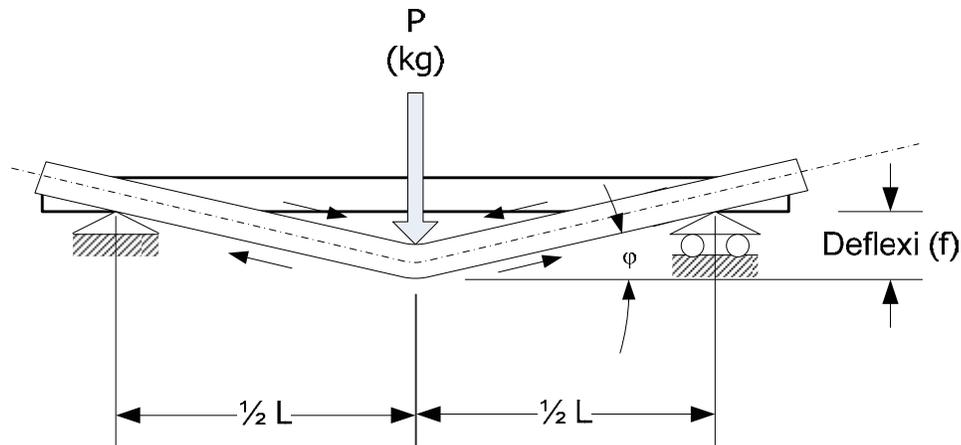
**Gambar 10.30** Pengukuran panjang setelah patah ( $L_u$ )  
 $L_u = L_1 + L_2 + L_3$

### 3. Pengujian Lengkung (Bend Test)

Pengujian lengkung merupakan salah satu pengujian sifat mekanik bahan yang dilakukan terhadap specimen dari bahan baik bahan yang akan digunakan sebagai konstruksi atau komponen yang akan menerima pembebanan lengkung maupun proses pelengkungan dalam pembentukan. Pelengkuan (bending) merupakan proses pembebanan terhadap suatu bahan pada suatu titik ditengah-tengah dari bahan yang ditahan diatas dua tumpuan. Dengan pembebanan ini bahan akan mengalami deformasi dengan dua buah gaya yang berlawanan bekerja pada saat yang bersamaan. Gambar dibawah ini memperlihatkan perilaku bahan uji selama pembebanan lengkung.



**Gambar 10.31** Pembebanan lengkung dalam pengujian lengkung (Bend Test)



**Gambar 10.32** Pengaruh pembebanan lengkung terhadap bahan uji (spesiment)

Sebagaimana perilaku bahan terhadap pembebanan, semua bahan akan mengalami perubahan bentuk (deformasi) secara bertahap dari elastis menjadi plastis hingga akhirnya mengalami kerusakan (patah). Dalam proses pembebanan lengkung dimana dua gaya bekerja dengan jarak tertentu ( $1/2L$ ) serta arah yang berlawanan bekerja secara beramaan (lihat gambar 10.32), maka Momen lengkung ( $M_b$ ) itu akan bekerja dan ditahan oleh sumbu batang tersebut atau sebagai momen tahanan lengkung ( $W_b$ ). Dalam proses pengujian lengkung yang dilakukan terhadap material sebagai bahan teknik memiliki tujuan pengujian yang berbeda tergantung kebutuhannya. Berdasarkan kepada kebutuhan tersebut maka pengujian lengkung dibedakan menjadi 2, yaitu :

- a. Pengujian lengkung beban dan
- b. Pengujian lengkung perubahan bentuk.

#### a. Pengujian lengkung beban

Pengujian lengkung beban ialah pengujian lengkung yang bertujuan untuk mengetahui aspek-aspek kemampuan bahan uji dalam menerima pembebanan lengkung, yakni :

- Kekuatan atau tegangan lengkung ( $\tau_b$ )
- Lenturan atau defleksi ( $f$ )

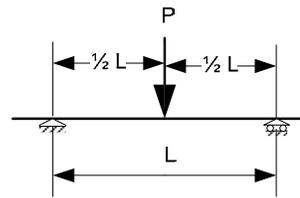
Sudut yang terbentuk oleh lenturan atau sudut defleksi dan

- Elastisitas ( $E$ )

- **Kekuatan atau tegangan lengkung ( $\tau$  b)**

Kekuatan atau tegangan lengkung ialah perbandingan antara momen lengkung ( $M_b$ ) terhadap momen tahanan lengkung ( $W_b$ ).

Momen lengkung ( $M_b$ ) ialah hasil kali antara beban lengkung ( $P$ ) dengan jarak tumpuan terhadap beban lengkung tersebut.



**Gambar 10.33** Momen lengkung ( $M_b$ )

Kekuatan lengkung untuk bahan uji bulat dapat diketahui dengan :

$$\text{Tegangan Lengkung } (\tau) = \frac{1/2 P \times 1/2 L}{\pi/32 \cdot d^3} \text{ (kg/mm}^2\text{)}.$$

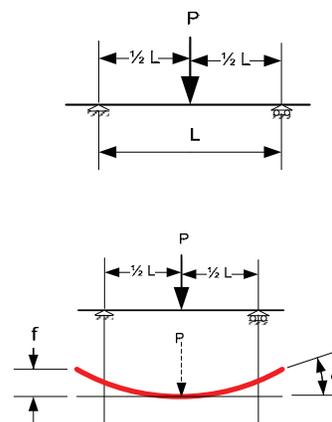
$$\text{Tegangan Lengkung } (\tau) = \frac{1/4 P \cdot L}{\pi/32 \cdot d^3} \text{ (kg/mm}^2\text{)}.$$

Kekuatan lengkung untuk bahan uji bulat dapat diketahui dengan :

$$\text{Tegangan Lengkung } (\tau) = \frac{1/4 P \cdot L}{1/6 \cdot b \cdot h^2} \text{ (kg/mm}^2\text{)}.$$

- **Kedalaman lenturan (f)**

Kedalaman lenturan atau defleksi merupakan perubahan bentuk permanen (deformasi plastis yang terjadi akibat pembebanan lengkung yang diukur sebelum bahan uji patah dan merupakan beban maksimum, dimana tidak terjadi peningkatan skala pembebanan walaupun pembebanan ditingkatkan,



**Gambar 10.34** defleksi

sebenarnya di dalam praktiknya, defleksi ini dapat diukur secara langsung setelah proses pembebanan, sehingga dengan menggunakan formulasi :

$$\text{Defleksi (f)} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \text{ (mm).}$$

E = Elastisitas Kg/mm<sup>2</sup> , akan diketahui atau angka ini akan diketahui melalui data hasil pengujian tarik. Dengan diketahuinya angka Elastisitas ini memperlihatkan bahwa dalam pengujian lengkung ini bekerja juga pembebanan tarik sebagaimana diperlihatkan pada gambar 10.32.

I = Momen kelembaban linear yaitu :

$\pi/64 d^4$  (untuk bahan berbentuk bulat)

$1/12 b \cdot h^3$  (untuk bahan segi empat)

#### **Sudut lenturan ( $\phi$ ).**

Sudut yang terbentuk oleh penurunan lenturan defleksi (f) ini dapat diketahui dengan :

$$\text{Sudut defleksi ( $\phi$ )} = \frac{P \cdot L^2}{16 \cdot E \cdot I} \text{ (rad).}$$

Catatan :

1 radian x  $180/\pi = (^\circ)$

Nilai Elastisitas akan lebih akurat diperoleh melalui pengujian tarik.

#### **Bahan uji untuk pengujian lengkung beban.**

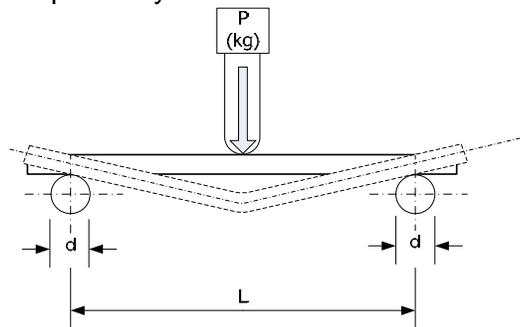
Bahan uji untuk pengujian lengkung beban, ukuran bahan uji (spesiment) pengujian diatur berdasarkan perbandingan tertentu terhadap duri pelengkung serta jarak antara tumpuan, sebagai pedoman dalam persiapan bahan uji, ketentuan tersebut dapat dilihat pada table berikut. Sedangkan bahan-bahan yang diuji biasanya bahan-bahan yang rapuh (brittle) seperti besi tuang (Cast Iron).

**Tabel 10.8** Ukuran bahan uji dan perbandingannya terhadap duri pelengkung dan jarak tumpuan.

Diameter Nominal d (mm)	Diameter rol penumpu (mm)	Jari-jari pelengkung (mm)	Jarak antara tumpuan, L (mm)
10	20 – 30	10 – 15	200
13	20 – 30	10 – 15	260
20	50 – 60	25 – 30	400
30	50 – 60	25 – 30	600
45	50 - 60	25 – 30	900

**Kedudukan bahan uji dan pemberian beban dalam proses pengujian lengkung beban.**

Kedudukan bahan uji harus ditempatkan ditengah-tengah pada tumpuan yang terdapat pada mesin uji dengan jarak sesuai dengan table, sedangkan pembebanan harus diberikan secara perlahan-lahan dengan penambahan beban tidak lebih dari 3kg/mm<sup>2</sup> setiap detiknya.



**Gambar 10.35** Kedudukan bahan uji dalam pengujian lengkung beban

**b. Pengujian lengkung perubahan bentuk**

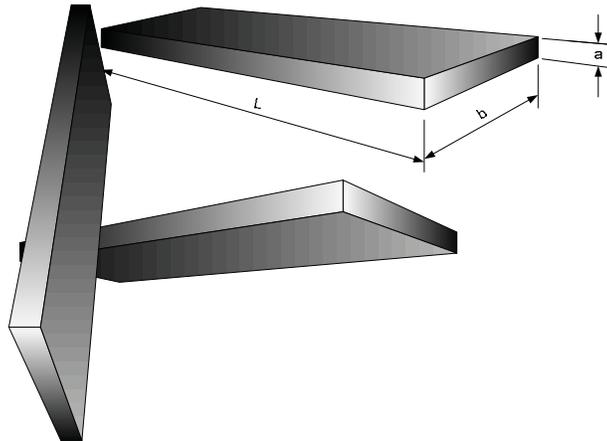
Pengujian lengkung perubahan bentuk berbeda dengan pengujian lengkung beban, kendati bahan uji yang diuji diperkirakan memiliki sifat yang sulit untuk dibentuk melalui pengerjaan dingin (cold working processes), namun pada dasarnya proses pengujian lengkung perubahan bentuk ini bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh bahan uji ini dapat dibengkok atau dibentuk tanpa pemanasan. Oleh karena itu didalam prosesnya diperlukan pengamatan yang cermat serta memperhatikan berbagai aturan yang ditentukan dalam pengujian.

### Pengujian dengan metoda sederhana.

Proses pengujian lengkung pengubahan bentuk ini tidak memerlukan mesin uji yang khusus yang paling penting adalah mesin yang mampu membrikan gaya tekan serta memiliki kelengkapan sebagai pendukung bahan uji selama pengujian, bahkan tidak memerlukan pengukur tekanan sebagaimana mesin yang digunakan pada mesin uji lengkung beban, namun berbagai ketentuan yang berlaku seperti bentuk dan ukuran spesiment serta rol penumpu dan duri pelengkung ditetapkan secara spesifik.

### Bentuk dan ukuran spesiment

Bentuk dan ukuran spesiment untuk pengujian lengkung pengubahan bentuk memiliki ketentuan ukuran sebagaimana terlihat pada gambar 10.36 berikut.



**Gambar 10.36** Dimensi specimen pengujian lengkung pengubahan bentuk

Lebar (b) :

Lebar minimum = tebal a maks.  $4 \times a$  atau  $\leq 30$  mm.

Panjang (L) :

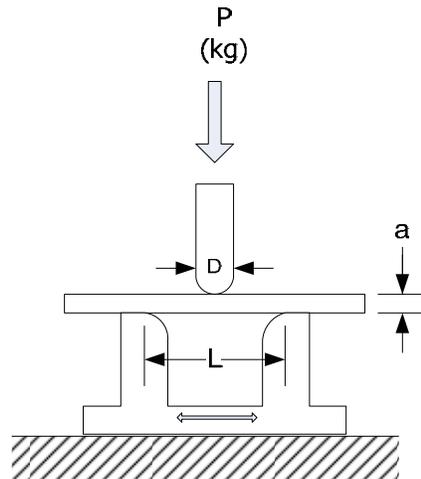
$L = D + 3a + 40 + \text{diameter rol penumpu.}$

D = Tebal duri pelengkung, nilainya disesuaikan dengan kekuatan tarik bahan uji, misalnya untuk baja Karbon : BJ .34 =  $0,5a$ , BJ.

42 = a, BJ 50 =  $1,5a$

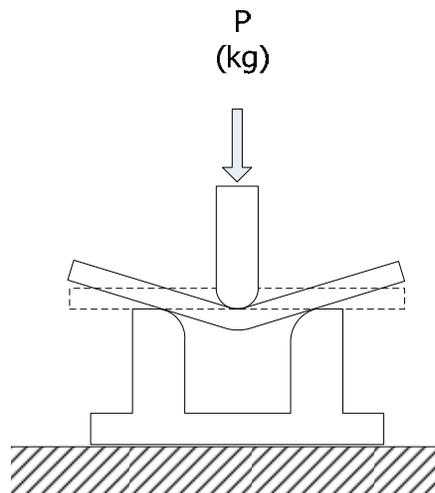
Rol penumpu biasanya ditentukan sebesar 50 mm

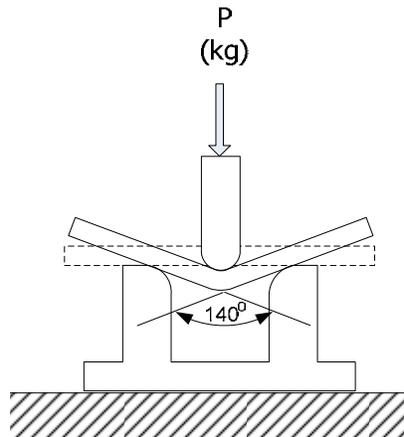
Kedudukan rol penumpu harus dapat distel agar dapat menyesuaikan dengan kebutuhan jarak ukur (L) menurut kebutuhan pengujian sesuai dengan ketebalan bahan uji sebagaimana ditentukan pada ketentuan ukuran bahan uji. Demikian pula dengan kedudukan duri pelengkung dibuat agar dapat berputar me-nyesuaikan dengan kesejajaran rol penumpu.



**Gambar 10.37** Kedudukan specimen pada landasan

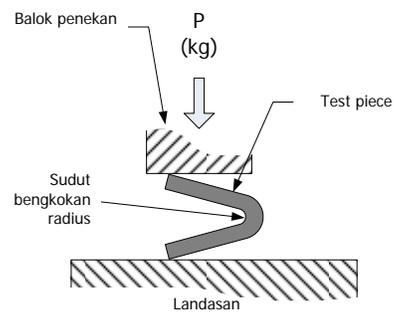
Pembebanan pertama diberikan hingga diperkirakan ujung duri pelengkung sejajar dengan permukaan rol penumpu. Pembebanan dilanjutkan hingga diperkirakan benda uji membentuk sudut  $140^{\circ}$  (gambar 10.38)





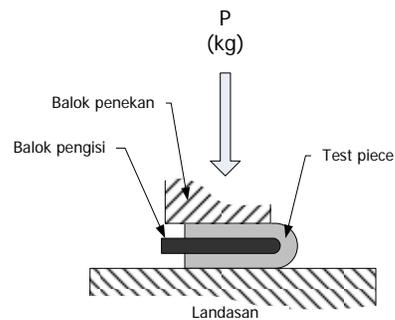
**Gambar 10.38** Pembebanan dalam pengujian lengkung

Jika pada pem-bentukan sudut hingga  $140^{\circ}$  tidak terdapat keretakan, maka pembentukan dilakukan dengan mengubah posisi penekanan pada landasan hingga membentuk  $180^{\circ}$  dengan bantuan balok pengisi. (Gambar 10.39)



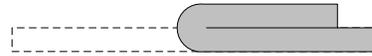
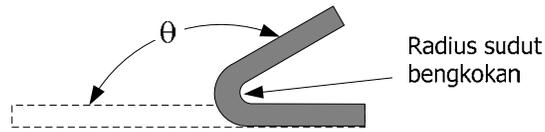
**Gambar 10.39**

Pengujian Lengkung ini pada umumnya digunakan pada baja lunak atau dalam kebutuhan bahan baja lembaran (sheet metal) dan disebut sebagai pengujian lengkung tunggal.



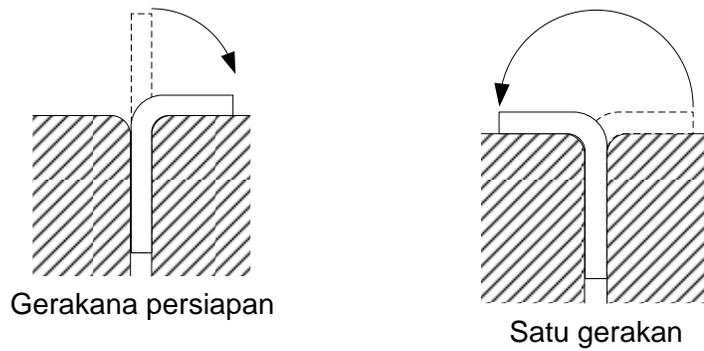
**Gambar 10. 40** Pengujian lengkung tunggal

Pengujian bengkokan tunggal pada sheel metal (gambar 10.39)

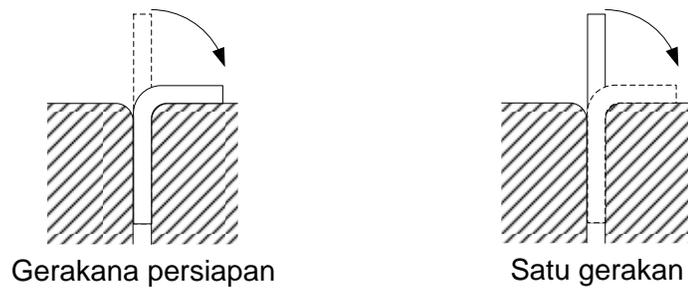


Bengkokan tertutup

**Gambar 10.41** Pengujian bengkokan tunggal



**Gambar 10.42** Gerak bengkokan 180°



**Gambar 10.43** Gerak bengkokan 90°

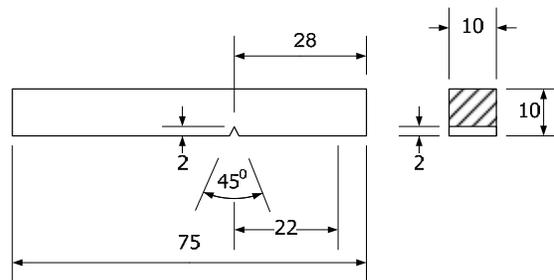
#### 4. Pengujian Pukul Takik (Impact Test)

Pengujian pukul Takik merupakan salah satu proses pengukuran terhadap sifat kerapuhan bahan. Walaupun secara sederhana melalui pengujian bengkok sebagaimana yang telah diuraikan dapat memberikan indikasi tentang kerapuhan bahan, namun dari pengujian tersebut hanya merupakan hasil pengamatan yang tidak memiliki besaran standar, sehingga tingkat akurasi yang rendah. Tentu saja pengujian yang memberikan perlakuan terhadap bahan uji secara spesifik mengenai perilaku bahan apabila diberikan pembebanan secara tiba-tiba akan memberikan indikasi tentang pengaruh yang terjadi pada bahan tersebut sebagai sifat keuletan (*toughness*) dari bahan tersebut. Proses ini yang disebut sebagai Pengujian Pukul takik (*Impact test*). Sifat keuletan atau *toughness* dari suatu bahan tidak dapat terdeteksi oleh pengujian tarik, jika dua buah bahan akan memiliki sifat yang mirip sama namun jika diuji dengan *Impact test* itu akan berbeda. Pengujian Pukul takik dilakukan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap pembebanan kejutan (*shock resistance*), seperti kerapuhan yang disebabkan oleh perlakuan panas atau sifat kerapuhan dari produk tuangan (*Casting*) serta pengaruh bentuk dari produk tersebut.

Pengujian ini dilakukan pada mesin uji yang dirancang dengan memiliki sebuah pendulum dengan berat tertentu yang mengayun dari suatu ketinggian untuk memberikan beban kejutan, dalam pengujian ini terdapat dua macam cara pengujian yakni cara “Izod” dan cara “Charpy” yang berbeda menurut arah pembebanan terhadap bahan uji serta kedudukan bahan uji tersebut sebagaimana diperlihatkan pada gambar 10.44 berikut.

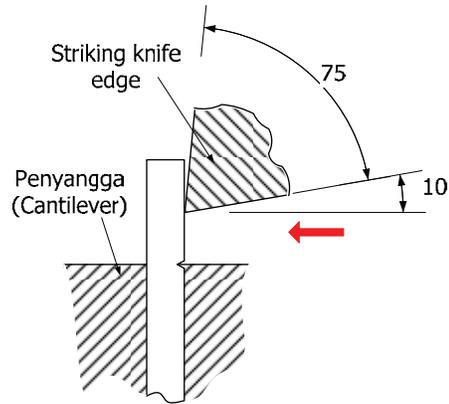
##### Sistem “Izod”

Bentuk Spesimen dalam pengujian pukul takik dengan sistem Izod, takikannya berada pada jarak 28 mm dari salah satu ujung dari panjang ukur keseluruhan 75 mm. (Gb. 10.44)



Gambar 10.44 Bahan uji “Izod”

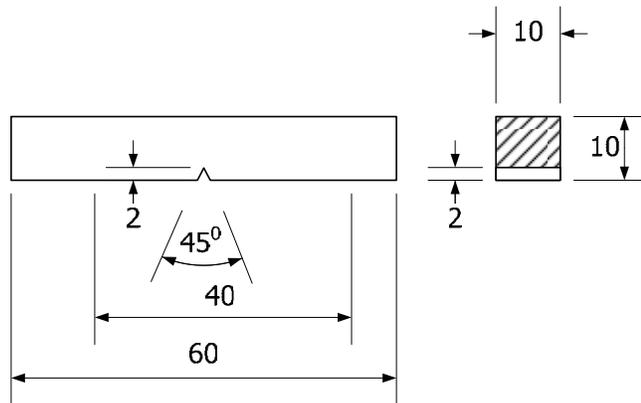
Kedudukan Cantilever untuk bahan uji Izod serta posisi pemukulnya (Striking Knife edge) ditentukan sebagaimana terlihat pada gambar 10.45. Bahan uji dijepit pada penyangga. Pembebanan diberikan di depan takikan.



**Gambar 10.45** Kedudukan Bahan

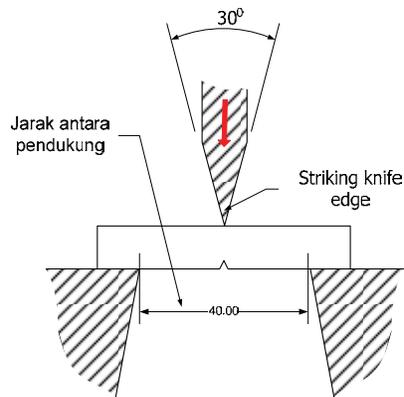
Bahan uji yang ditentukan dalam pengujian sistem Charphy ini diperlihatkan pada gambar 10.46, Ukuran takikan "V"  $45^{\circ}$  – 2 mm berada ditengah-tengah diantara panjang 60 mm.

Cara pembebanan yang diberikan oleh sistem Charphy ini ialah diantara panjang 40 mm dibelakang takikan, berbeda dengan sistem Izod yang memberikan pembebanan melalui pemukul dari depan takikan.



**Gambar 10.46** Spesifikasi bahan uji Charphy

Pembebanan diberikan dibelakang takikan oleh pisau pemukul (striking Knife edge) yang bersudut  $30^{\circ}$  seperti terlihat pada gambar 10.47



**Gambar 10.47** Kedudukan Bahan

### Mesin uji Pukul takik (Impact test)

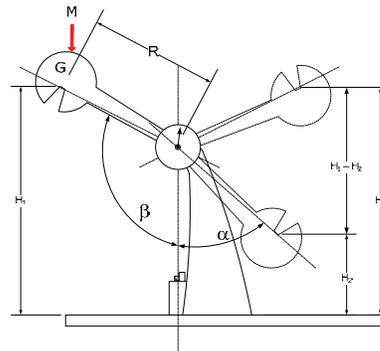
Mesin uji pukul takik ini memiliki desain yang bermacam-macam tergantung pembuatnya, namun secara prinsip hampir tidak terdapat perbedaan. Mesin uji yang dipersiapkan untuk pengujian dengan sistem Izod, kedudukan spesimennya disesuaikan dengan ketentuan dalam pemasangan bahan uji, dimana bahan uji dipasang dengan sistem cantilever, sedangkan untuk sistem Charphy menggunakan sistem "Beam", sebagai ilustrasi tentang bentuk mesin uji ini diperlihatkan pada gambar 10.48 berikut.



**Gambar 10.48** Mesin uji pukul takik (Impact Testing Machine)

### Penentuan Nilai Impact (sifat keuletan atau ductility)

Pembebanan dalam proses pengujian pukul takik (impact Test), diberikan oleh ayunan pendulum dengan berat  $G$  dan jarak terhadap sumbu putar  $R$  yang bergerak dari ketinggian  $H_1$  pada sudut awal  $\alpha$ , (pada beberapa mesin ditetapkan sebesar  $141,5^0$ ).



**Gambar 10.49** Dasar penentuan daya dalam pengujian pukul takik (Impact Test).

Jika pendulum mengayun tanpa bahan uji maka gerakan ini akan menghasilkan Sudut akhir  $\beta$  dan ketinggian  $H_2$ , besarnya akan sama dengan  $H_1$ , namun apabila gerakan ini dihambat oleh adanya bahan uji, maka sudut  $\beta$  akan menjadi lebih kecil demikian pula dengan ketinggian  $H_2$ , maka dengan demikian terdapat penyerapan daya sebesar  $H_1 - H_2$  (lihat gambar 10.49)

Dalam proses pengujian, ketinggian  $H$  tidak diketahui, yang diketahui ialah besarnya sudut awal ( $\alpha$ ) yang ditentukan menurut spesifikasi mesin ( $141,5^0$ ) serta sudut akhir ( $\beta$ ) yang diketahui setelah proses pembebanan dilakukan.

Momen yang bekerja untuk melakukan pembebanan Impact ialah :

$$\text{Momen Impact (M)} = G \times R$$

Dimana :

$G$  = Berat pendulum (kg)

$R$  = Jarak pisau pemukul (knife edge) terhadap sumbu putar (m).

Gaya yang diserap untuk pembebanan Impact ( $A$ ) diketahui dengan :

$$A = G.R (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha) \quad (\text{kg.m})$$

Nilai Impact (angka kerapuhan) :

$$K = A/S_o \quad (\text{kgm/mm}^2)$$

Keterangan :

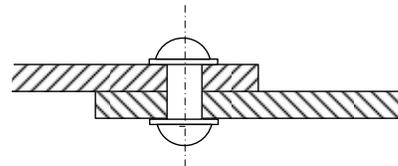
$S_o$  = Luas penampang dibawah takikan ( $\text{mm}^2$ )

## 5. Pengujian Geser

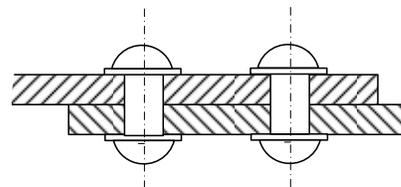
Pengujian geser digunakan untuk pengujian terhadap sambungan-sambungan yang menggunakan paku keling dan lain-lain. Beban yang terjadi didalam konstruksi sambungan biasanya berupa beban tarik atau beban tekan yang disebut sebagai pembebanan geser. Penggunaan sambungan dengan paku keling dilakukan pada bahan-bahan yang sulit untuk disambung dengan cara lain seperti pengelasan seperti konstruksi Alumunium, atau konstruksi yang harus dihindari dari pengaruh pengerjaan panas, sedangkan sambungan dengan baut digunakan pada konstruksi yang diperlukan untuk dibuka sewaktu-waktu atau sambungan yang bersifat remanen.(lihat gambar 10.50 dan 10.51)

Pengujian geser tidak memerlukan mesin khusus, yang penting dari pengujian ini ialah pesawat yang digunakan harus menunjukkan besarnya gaya geser yang diberikan terhadap specimen pengujian berupa baut atau paku keling. Konstruksi sambungan dengan paku keling atau baut biasanya dibuat dengan penyambung lebih dari satu buah

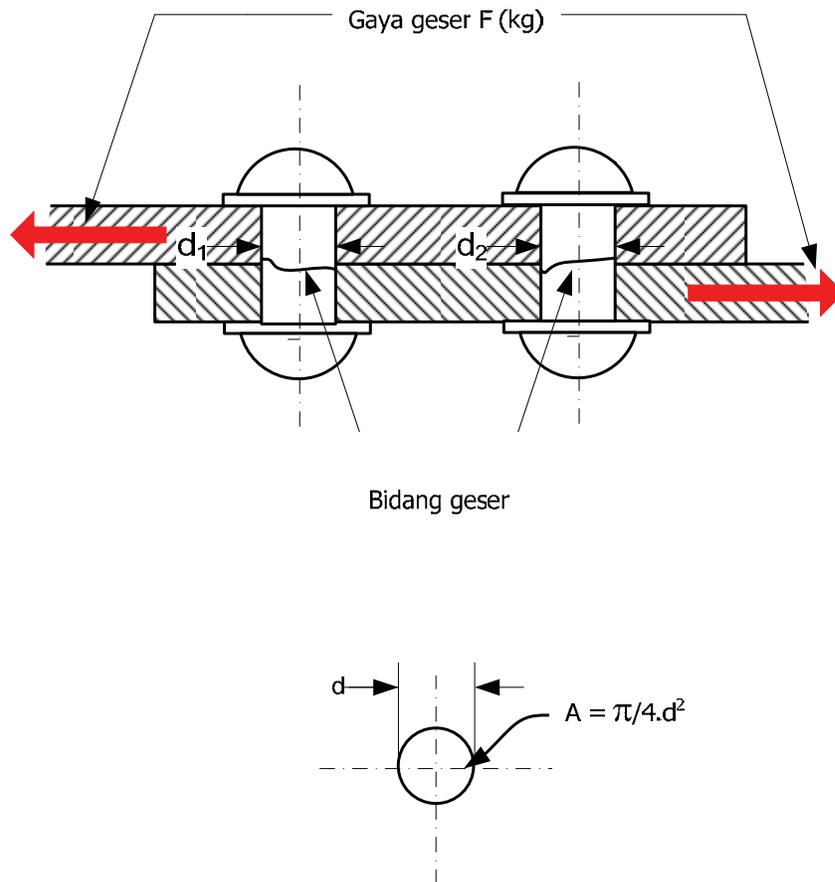
kecuali pada konstruksi khusus, oleh karena itu dalam pengujiannya juga dilakukan pda kedua jenis sambungan tersebut yakni sambungan tunggal dan sambungan majemuk, atau pengujian geser tunggal dan pengujian geser ganda



**Gambar 10.50** Sambungan tunggal



**Gambar 10.51** Sambungan ganda



**Gambar 10.52** Gaya geser pada sambungan dikeling ganda

Kekuatan bahan terhadap pembebanan geser disebut tegangan geser yakni tegangan yang bekerja pada penampang bidang geser, sehingga nilai tegangan ( $\sigma_g$ ) merupakan perbandingan antara gaya ( $F$ ) dalam kg per luas penampang ( $A$ ) dalam  $\text{mm}^2$ . Lihat gambar 10.50

Tegangan Geser ( $\sigma_g$ ) diketahui dengan :

$$\sigma_g = F/A \quad (\text{kg/mm}^2) \quad \text{untuk sambungan tunggal}$$

$$\sigma_g = F/n.A \quad (\text{kg/mm}^2), \quad n = \text{Jumlah paku keling}$$

### C. Pemeriksaan bahan (*Materials Inspection*)

Proses pemeriksaan bahan merupakan bagian dari tugas Quality Control baik pada bahan baku produk yang diterima (*incoming materials*) maupun pada produk yang telah selesai dikerjakan. Proses inspeksi ini lebih dititik beratkan pada sifat *physic* dari bahan atau produk yang dihasilkan dari kemungkinan adanya cacat, baik cacat luar maupun cacat dalam. Benda-benda logam atau baja yang telah melalui proses perlakuan panas biasanya sangat mungkin akan terjadi keretakan dibagian kulit, namun pada bahan-bahan tuangan atau *casting* biasanya cenderung pada cacat dalam, seperti keropos atau berongga.

Untuk proses lanjutan terutama proses produksi pada benda-benda tuangan (*casting*), seperti blank roda gigi, Pulley serta bahan-bahan komponen lainnya biasanya akan terdeteksi setelah proses pekerjaan berlanjut, jia demikian ini akan sangat merugikan sekali terutama jika pekerjaan itu mendekati penyelesaian, baik rugi waktu, biaya pengerjaan, biaya listrik, tenaga kerja dan lain-lain. Oleh karena itu pemeriksaan terhadap bahan baku khususnya bahan tuangan (*casting*) diperlukan perhatian khusus serta metoda-metoda pemeriksaan yang tepat. Kendati demikian pemeriksaan ini tidak boleh mengakibatkan cacat atau kerusakan selama atau setelah pemeriksaan berbeda dengan pengujian terhadap sifat mekanik bahan yang disebut sebagai merusak (*Destructive Testing of Materials/DT*), oleh karena itu pemeriksaan ini disebut sebagai pengujian yang tidak merusak (*NDT = Non-destructive Test*).

Berbagai kemungkinan yang merugikan akan terjadi dengan keadaan cacat ini terlebih lagi bila produk ini merupakan komponen-komponen kendaraan, pesawat terbang, kereta api dan lain-lain tentu saja akan berdampak sangat buruk.

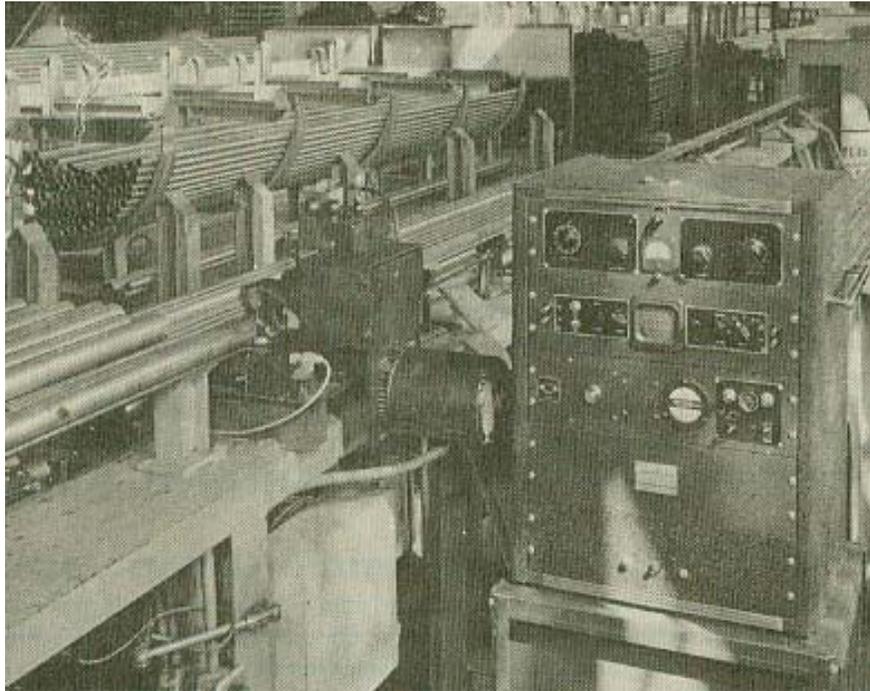
Sedemikian pentingnya pemeriksaan terhadap bahan atau produk yang dihasilkan ini, berbagai metoda diupayakan agar proses ini tidak justru menghambat proses produksi, kadang-kadang pemeriksaan material ini dianggap membuang waktu. Oleh karena itu pemilihan metoda pemeriksaan yang tepat menjadi sangat penting, untuk itu pemeriksaan bahan (*materials*) atau produk ini dikelompokkan menjadi dua macam yaitu : pemeriksaan cacat luar dan pemeriksaan cacat dalam.

## 1. Pemeriksaan cacat luar

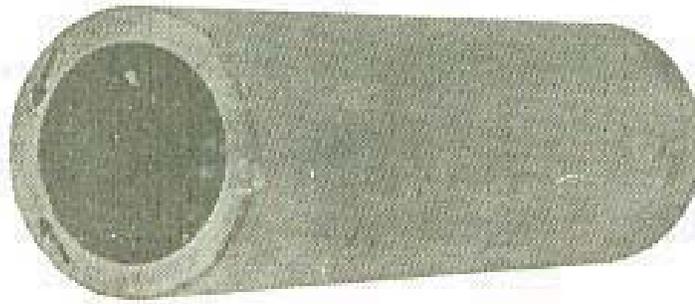
Pemeriksaan cacat luar dilakukan untuk mengetahui keadaan cacat bagian luar dari benda kerja atau bahan produk, keadaan cacat ini sangat sering terjadi pada baja yang telah melalui proses perlakuan panas dimana terjadi tegangan dalam yang sangat tinggi atau terjadinya proses transformasi struktur yang tidak seimbang (non qilibrium).

Dalam pelaksanaannya pengujian cacat luar ini dapat dilakukan dengan metoda die penetrant. jika kita melihat efisiensi pemeriksaan dari metoda-metoda tadi yang paling mudah dan murah adalah secara visual atau dengan mata kita, akan tetapi karena berbagai keterbatasan maka secara visual saja tidak cukup walaupun dengan bantuan microscope, walaupun mata kita cukup terlatih untuk mendeteksi keadaan cacat luar, namun cacat luar itu pun belum tentu ada diluar dalam jangkauan kita, karena yang dimaksud dengan cacat luar ialah keadaan cacat bukan pada bagian inti dari logam tersebut, misalnya cacat pada pipa atau tabung, cacat luar bisa terjadi dibagian dalam pipa atau tabung tersebut yang sulit dijangkau walaupun menggunakan telescope.

Gambar 10.53 memperlihatkan bentuk pemeriksaan cacat secara magnetic.



**Gambar 10.53** Pemeriksaan cacat dengan spectromagnetic



**Gambar 10.54** Keadaan cacat dari pipa : keretakan pada bagian dalam pipa Baja –AISI 52100



**Gambar 10.55** Keadaan cacat dari pipa : keretakan pada bagian luar

**Pemeriksaan cacat luar atau permukaan (Checks for surface defects)**

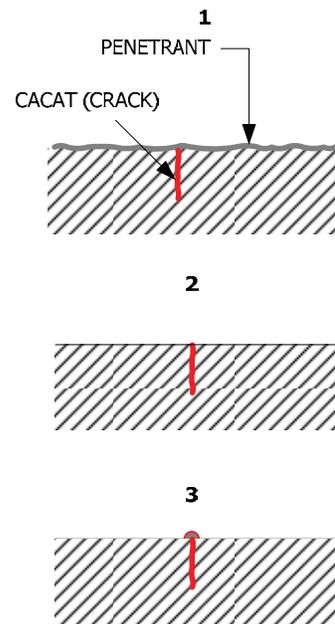
Pemeriksaan cacat luar dengan die penetrant merupakan cara pemeriksaan cacat yang paling mudah dan cepat, walaupun masih memerlukan kecermatan visual untuk menentukan posisi dan keadaan cacatnya.

Metoda pemeriksaan ini menggunakan 3 unsur bahan yang terdiri atas :

1. Cleaner ialah cairan pembersih yang berfungsi untuk membersihkan kotoran dari permukaan benda kerja
2. Penetrant yakni unsur cairan yang memiliki kristal halus sehingga jika disemprotkan ke permukaan benda kerja dapat meresap ke dalam celah keretakan

Developer yaitu cairan yang memaksa mengeluarkan cairan penetran dari dalam celah keretakan ke permukaan benda kerja.

Langkah-langkahnya seperti diperlihatkan pada gambar 1. yaitu melapisi permukaan benda kerja dengan cairan penetran, membiarkannya beberapa saat agar lapisan penetran tadi meresap ke dalam celah keretakan. Setelah kering sisa penetran dibersihkan dengan kain seperti diperlihatkan pada gambar 2 dan membiarkannya beberapa saat. Dengan pencahayaan sinar ultraviolet penetran yang keluar dari celah keretakan akan nampak kepermukaan seperti ditunjukkan pada gambar 3.



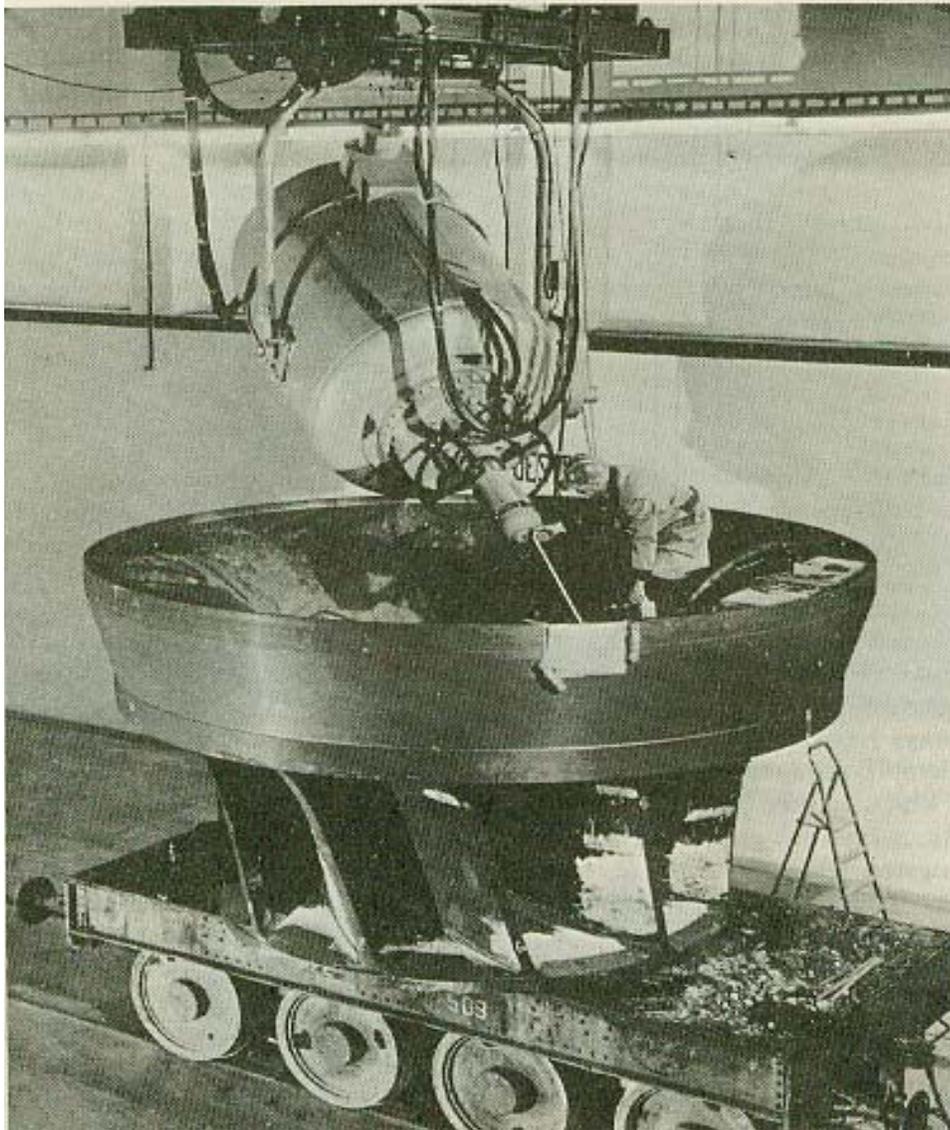
## 2. Pemeriksaan cacat dalam (Checks for internal defects)

Keadaan cacat dibagian dalam dari suatu benda tidak dapat dideteksi secara Visual dan keadaan cacat ini sering kali menimbulkan kerugian dalam proses produksi bahkan dapat berakibat fatal karena kerusakan yang diakibatkannya merusak bagian lain jika benda ini merupakan komponen dari komponen lainnya dalam sebuah perakitan. Oleh karena itu pemeriksaan cacat ini perlu dilakukan secara seksama dengan menggunakan metoda yang benar.

Keadaan cacat bagian dalam sangat banyak terjadi pada benda-benda produk pengecoran dimana terdapatnya rongga udara atau campuran yang tidak homogen sehingga grafit terkumpul pada daerah tertentu sehingga benda cor menjadi keropos dibagian dalam, demikian pula dengan adanya penyusutan sering kali mengakibatkan terjadi distorsi dibagian dalam yang mengakibatkan keretakan. Sebagai tindakan preventif ialah menempatkan saluran-saluran secara tepat pada posisi yang sesuai kendati tidak ada jaminan bahwa keropos dapat dihindari.

Metoda pemeriksaan cacat dalam (internal defects) ini dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain dengan,:

Sinar - X atau ( $\gamma$ -ray) atau disebut juga sinar- röntgen, pemeriksaan secara cermat hingga dapat memperlihatkan bentuk dan posisi cacat dalam termasuk keadaan cacat luar dibagian belakang atau dibawah permukaan. Demikian pula dengan penyusutan akan terdeteksi dengan pemeriksaan ini.



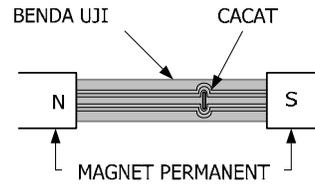
**Gambar 10.56** Pemeriksaan cacat dengan Sinar- X pada Hydraulic Turbin.

**Pemeriksaan secara Magnetic, atau disebut Spectro magnetic atau eddy-curent.**

Pada prinsipnya pemakaian metoda ini dalam pemeriksaan cacat dalam ialah mengalirkan gaya magnetic melintasi benda kerja. Gaya Magnetic ini dapat diperoleh dari logam yang secara permanent memiliki gaya magnet atau magnet yang dibuat dengan sumber tenaga listrik tergantung bentuk benda yang akan diperiksa.

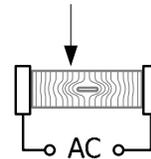
Lintasan medan magnet akan mengalir melalui benda kerja dari arah kutub yang berlawanan, dan gaya magnet itu akan selalu terkonsentrasi pada setiap kutubnya, dimana adalah ujung logam magnetic tersebut, sehingga jika terjadi cacat atau keretakan dalam yang memotong garis medan magnet akan merupakan kutub magnetic yang baru sehingga jika ditaburkan partikel dari logam magnetic, maka partikel tersebut akan berkumpul pada bagian dimana terdapat keretakan tersebut.

Oleh karena itu dalam pemeriksaan ini diperlukan pengaturan posisi sesuai dengan arah pemotongan lintasan medan magnet karena cacat yang memanjang sejajar dengan garis perlintasan medan magnet tidak akan terdeteksi.

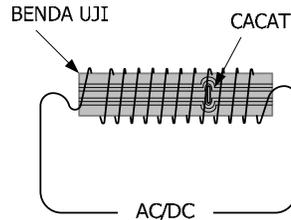


Penggunaan magnet permanent

BENDA UJI

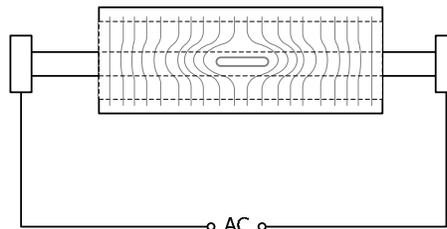


(Voltage rendah Arus tinggi)



(Voltage rendah Arus tinggi)

electromagnet



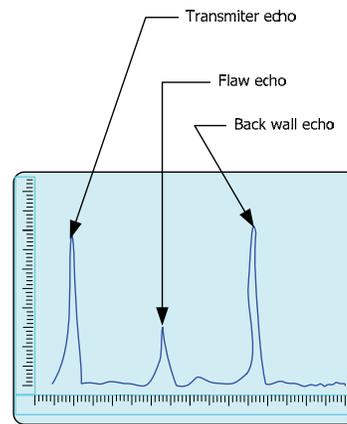
(Voltage rendah Arus tinggi)

**Gambar 10.57** Pemeriksaan cacat pada pipa dengan spectromagnetic

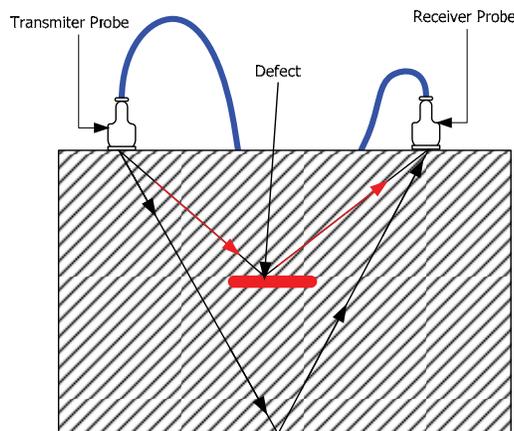
### Pemeriksaan cacat dalam dengan Ultra Sonic

Pemeriksaan cacat dalam dengan Ultra Sonic merupakan proses pemeriksaan cacat dalam yang lebih aman dan akurat, perlu diperhatikan bahwa pemeriksaan cacat dengan sinar X memiliki pengaruh yang berbahaya sehingga prosesnya harus dilakukan di dalam ruangan isolasi untuk menghindari bahaya radiasi. Hal ini tidak terjadi pada sistem Ultra Sonic walaupun menggunakan suara berfrekwensi tinggi namun frekwensinya yang sangat tinggi ini diluar batas pendengaran manusia.

Dalam proses pemeriksaan ini dilakukan dengan menggunakan sistem pemancar suara (*Transmitter*) yang menghasilkan suara berfrekwensi tinggi yang akan dipancarkan kedalam benda kerja dengan pengarah yang disebut *probe*, suara ini akan masuk ke dalam benda kerja (test piece) hingga menembus dinding permukaan benda kerja dibagian belakang. Perbedaan kecepatan suara dari sumber suara karena terhambat oleh permukaan benda kerja maka akan menimbulkan gelombang suara pemancar yang disebut Transmitter-echo dan ditampilkan dalam bentuk curve pada tabung catode. Lihat gambar.



Cathode-ray tube Display



**Gambar 10.58** Prinsip dasar pemeriksaan cacat dalam dengan Ultra Sonic

Suara akan bergerak dengan kecepatan konstan di dalam benda kerja dan langsung hingga dinding belakang, karena terjadi kekosongan hambatan suara, maka setelah melewati permukaan belakan juga akan menimbulkan gelombang suara yang disebut "Back wall echo" Back wall echo ini akan diterima kembali oleh probe receiver dan ditampilkan pada tabung cathode, dimana jarak antara Transmitter echo dengan back wall echo yang ditunjukkan oleh skala horizontal merupakan ketebalan benda kerja

#### **D. Metallography**

Metallography ialah suatu cara pemeriksaan pada microstruktur dari bahan logam untuk mengetahui keadaan struktur bahan tersebut dalam hubungannya dengan sifat bahan tersebut sebelum atau sesudah proses perlakuan panas. Sebagaimana telah kita pelajari bahwa sifat bahan khususnya bahan logam sangat dipengaruhi oleh struktur serta komposisi unsur dari logam tersebut, oleh karena itu dalam proses perbaikan sifat bahan sering dilakukan dengan cara merubah struktur bahan tersebut melalui proses perlakuan panas.

Proses metallography dilakukan dengan melihat microstruktur tersebut di bawah Metallography-microscope, menganalisis bentuk serta susunan dan jenis unsur yang terdapat pada logam tersebut, dengan langkah-langkah sebagai berikut :

Mempersiapkan specimen dari jenis bahan yang akan diperiksa Strukturnya, bahan yang memungkinkan dipotong dengan ukuran kurang lebih  $\varnothing 20 \times 15$  mm diratakan dan dihaluskan hingga bebas dari goresan bekas pemotongan, dan jika bahan kurang dari ukuran tersebut maka terlebih dahulu dilakukan penyalutan dengan bahan acrylic atau bakelite selanjutnya diratakan dan dihaluskan hingga tidak terdapat goresan bekas pemotongan.

Proses selanjutnya ialah pengetsaan yakni pengikisan dengan menggunakan larutan kimia sesuai dengan jenis bahan yang akan diperiksa. Maksud peng-"etsa"-an ini ialah untuk memeperjelas batas dan garis-garis struktur serta merangsang pembentukan warna dari setiap komposisi unsur dari logam tersebut, dimana setiap unsur akan memiliki reaksi pembentukan warna yang berbeda terhadap bahan etsa, dengan demikian akan mudah membedakan prosentase kadar unsur yang terdapat pada logam terebut.

Langkah berikutnya adalah pencucian logam dari bahan etsa yang telah bereaksi selama waktu yang ditentukan dalam proses etsa. Pencucian dilakukan dengan membasuhnya pada air yang mengalir.

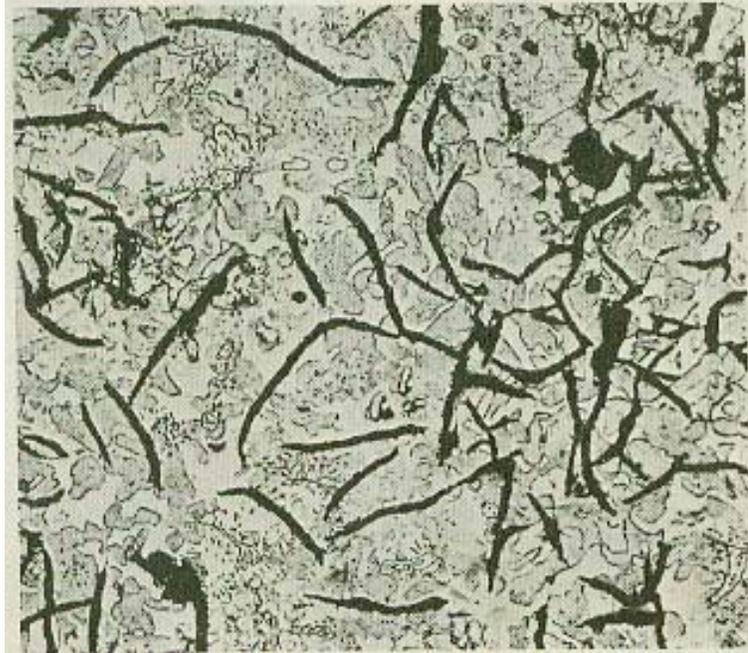
*Perhatikan* bagi yang sensitif terhadap larutan kimia, gunakan peralatan keselamatan kerja yang memadai. Jika terjadi kecelakaan atau larutan terkena mata lakukan pertolongan pertama oleh petugas yang kompeten dan hubungi Dokter atau paramedis.

Setelah proses pencucian dilakukan keringkan specimen dengan hembusan udara panas, kemudian persiapkan Metallography-microscope dan kelengkapan pemotret untuk memperoleh dokumentasi hasil pemeriksaan.

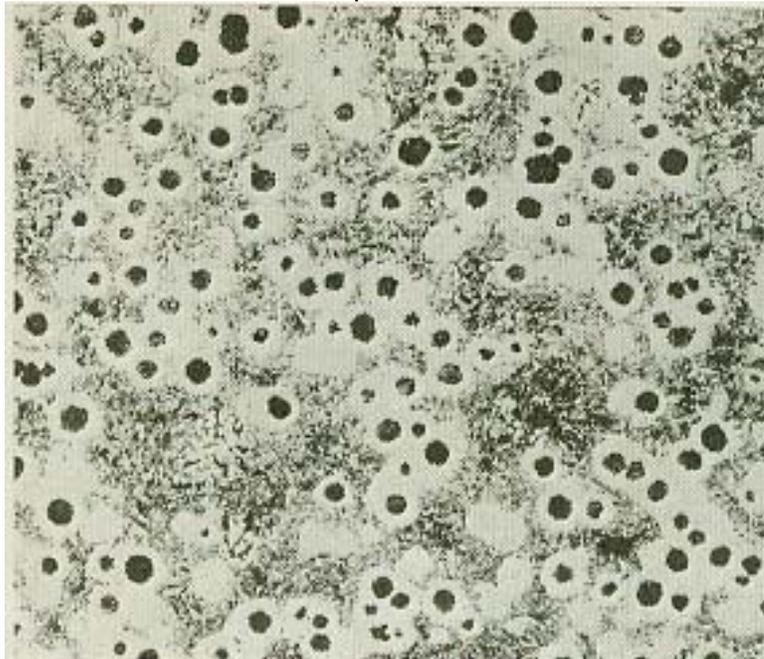
Lakukan analisis dengan membandingkan warna-warna struktur pada komposisi bahan tersebut dengan warna-warna standar.



**Gambar 10.59** Microstruktur dari besi tuang (cast iron) setelah pemanasan dan didinginkan dengan udara pembesaran 500X



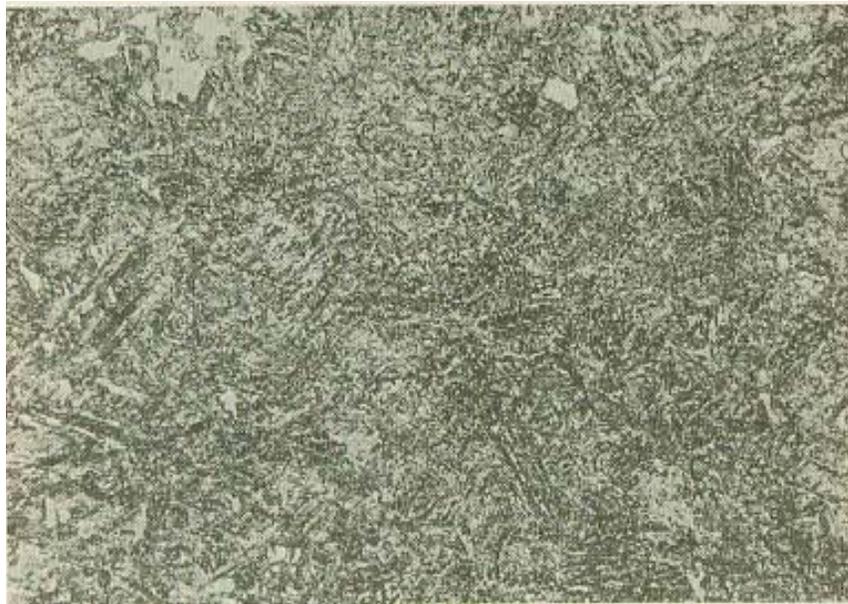
**Gambar 10.60** Microstruktur ari besi tuang (cast Iron) setelah pemanasan dan di-quenching dengan H<sub>2</sub>O pembesaran 500X



**Gambar 10.61** Struktur nodular graphite-iron dietsa dengan nital dengan pemeriksaan microscopis pada pembesaran 100X



**Gambar 10.62** Standar sample untuk besi tuang putih (white cast-iron) dengan pembesaran 200 X



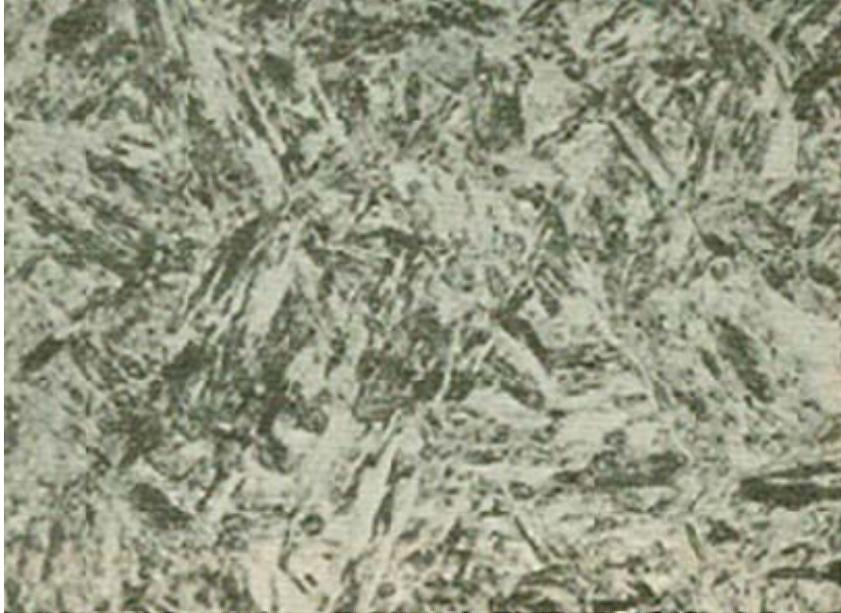
**Gambar 10.63** Struktur dari baja AISI 4340 dalam struktur bainite tinggi diperbesar 1000 X



**Gambar 10.64** Struktur dari baja AISI 4340 dalam struktur bainite rendah diperbesar 1000 X



**Gambar 10.65** Struktur dari baja AISI 4340 dalam struktur bainite rendah diperbesar 2000 X



**Gambar 10.66** Struktur Martensite dari Baja AISI 4340 ditemper dengan temperatur 400<sup>o</sup>F diperbesar 1000 X



**Gambar 10.67** Struktur martensite dari baja AISI 4340 ditemper dengan temperatur 400<sup>o</sup>F diperbesar 32000 X



**Gambar 10.68** Struktur baja SAE 52100 setelah proses hardening diperbesar 10000 X

**Rangkuman :**

Kualitas serta mutu suatu produk ditentukan oleh terpenuhinya berbagai sifat yang disyaratkan oleh produk itu sendiri, antara lain , kualitas fungsional dan kualitas mekanis. kualitas dimensional geometris,serta kualitas estetis.

Sifat mekanik bahan ialah sifat yang berhubungan dengan kekuatan suatu bahan dalam menerima berbagai aspek pembebanan, sifat-sifat ini antara lain meliputi ; kekerasan; tegangan terhadap penarikan (tegangan tarik), tegangan puntir, tegangan geser, tegangan lengkung, kerapuhan (keuletan), rambat (creep), lelah (fatigue).

Pengujian bahan dibedakan dalam pengujian merusak (DT=Destructive Test) dan pengujian tidak merusak (NDT=Non Destructive test).

Kekerasan ialah kekuatan bahan dalam menerima pembebanan hingga terjadi perubahan tetap

Pengujian kekerasan dapat dilakukan dengan 3 cara yaitu :

- Pengujian kekerasan dengan cara penekanan (Indentation Test)
- Pengujian kekerasan dengan cara goresan (Scratch Test)
- Pengujian kekerasan dengan cara Dinamik (Dynamic Test)

Angka kekerasan dari hasil pengujian kekerasan Brinell merupakan perbandingan antara besarnya beban terhadap luas penampang bidang Indentasi.

Pengujian Tarik bertujuan untuk mengetahui perilaku bahan selama proses pembebanan, selain Tegangan tarik dengan notasi  $\sigma_t$ , juga Elastisitas (E), regangan ( $\epsilon$ ) dan Kontraksi (Z).

Bahan uji yang masuk dalam standarisasi ketentuan secara proporsional, yang menurut jenis bahan serta ukurannya harus memiliki perbandingan tertentu terutama pada ukuran panjangnya yakni menurut rumus :  $L_0 = k \sqrt{S_0}$  atau standar Dp.

Pengujian lengkung merupakan pengujian sifat mekanik dari bahan yang akan digunakan sebagai konstruksi atau komponen yang akan menerima pembebanan lengkung maupun proses pelengkungan dalam pembentukan.

Pengujian lengkung dibedakan menjadi 2, yaitu :

- a. Pengujian lengkung beban dan
- b. Pengujian lengkung perubahan bentuk.

Pengujian pukul Takik merupakan salah satu proses pengukuran terhadap sifat kerapuhan bahan

Pengujian pukul Takik dilakukan dengan dua macam cara pengujian yakni cara "Izod" dan cara "Charpy"

Pengujian geser dilakukan untuk mengetahui kekuatan geser.

Pengujian dan pemeriksaan sifat fisik dilakukan dengan cara tidak merusak (NDT) yang meliputi pemeriksaan cacat luar dan cacat dalam serta pemeriksaan mikrostruktur atau metallography.

**Soal-soal :**

1. Sebutkan dua cara pengujian dan pemeriksaan kualitas bahan atau produk ?
2. Termasuk dalam kelompok manakah dari soal nomor 1 untuk pengujian terhadap sifat mekanik ?
3. Sebutkan 3 metoda pengujian kekerasan ?
4. Apakah yang dimaksud dengan kekerasan suatu bahan ?
5. Apakah perbedaan antara Brinell dan Vickers dibanding dengan Rockwell ?
6. Sebutkan dua kategori bahan uji tarik menurut bentuk dan ukuran bahannya ?
7. Apakah tujuan pengujian Tarik ?
8. Sebutkan 2 jenis pengujian geser dan jelaskan tujuan pengujian masing ?
9. Apakah tujuan pengujian pukul takik ?
10. Bahan uji Aluminium  $\theta$  25,4 X 12 mm diuji kekerasannya dengan system Brinell pada mesin uji yang berkapasitas 250 kgf. Hitung angka kekerasannya jika hasil pengujian diketahui diameter indentasinya (d) = 3,82 mm.

## **BAB XI**

### **PERKAKAS PERTUKANGAN KAYU DALAM PROSES PENGECORAN LOGAM**

#### **A. Umum**

Perkakas merupakan salah satu unsur penting dalam proses produksi apapun bentuk produk atau jenis bahan baku yang digunakannya, disamping berbagai aspek pengetahuan dan keterampilan yang harus dikuasai sebelum proses tersebut dilakukan. Hal ini telah dibahas pada uraian sebelumnya dimana aspek utama yang berhubungan dengan pengetahuan dan keterampilan tersebut antara lain kemampuan membaca dan menggunakan gambar teknik, memilih dan menggunakan alat ukur serta menguasai pengetahuan dan keterampilan dalam teknologi pemotongan. Salah satu aspek yang berhubungan dengan pengetahuan dan keterampilan dalam teknologi pemotongan ini

#### **B. Kayu sebagai bahan teknik**

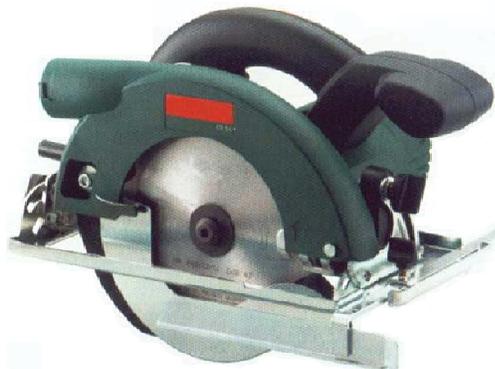
Kayu merupakan salah satu bahan alam yang telah sejak lama hingga sekarang digunakan sebagai bahan teknik. Pemakaian kayu hingga sekarang masih didominasi sebagai bahan bangunan gedung dan perabot rumah tangga karena sifat estetikanya yang alami, sifat mekaniknya rata-rata lebih rendah dari bahan logam, bersifat non konduktor walaupun tidak digunakan sebagai isolator karena menyerap air.

Industri logam menggunakan kayu terutama untuk pembuatan model (pattern) dalam pengecoran logam (lihat bab VI) walaupun tidak selalu karena pola cetakan dapat pula menggunakan bahan-bahan tiruan seperti polystyrene dan resin. Pemakaian kayu sebagai bahan model (pattern) tidak mempersyaratkan kualitas, pembentukan model dari bahan kayu ini hanya alasan mudah dalam pembentukannya dan harganya yang relative murah serta mudah didapat. Kendati demikian karena kayu memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda dari bahan logam maka perkakas yang digunakannya pun mempersyaratkan jenis dan bentuk tertentu sesuai dengan sifat kayu itu sendiri.

Model produk tuangan yang dibentuk dari bahan resin masih diperlukan model dari kayu walaupun dapat pula model itu dibuat dari bahan gips atau lilin. Untuk pembuatan model dari kayu diperlukan perkakas pertukangan kayu baik perkakas manual atau perkakas bertenaga (power tool).

### C. Perkakas pertukangan kayu

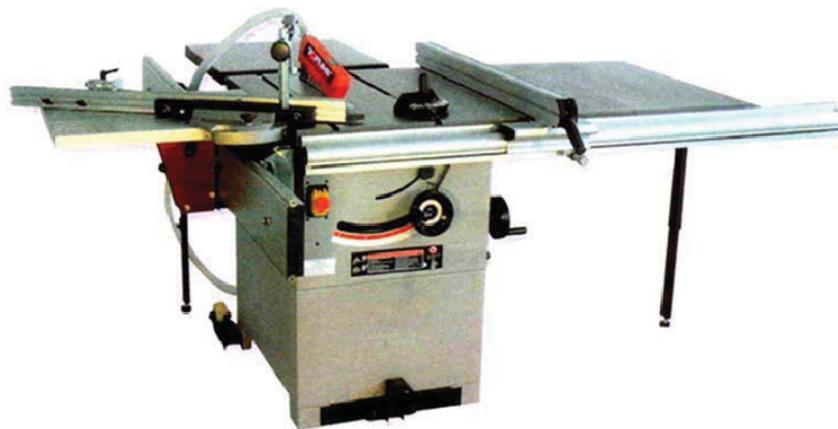
Mesin-mesin perkakas kayu telah lama dikembangkan terutama dalam industri meubel dan perabot rumah seperti *Circular saw*, planer, mesin bubut, mesin bor, square chisel machine dan lain-lain, dan dalam perkembangannya dibuat pula perkakas tangan bertenaga dalam fungsi yang sama. Mesin-mesin perkakas ini memiliki karakteristik yang berbeda dengan mesin perkakas yang digunakan dalam pembentukan bahan logam dimana kayu memiliki angka kecepatan potong yang sangat tinggi sehingga diperlukan putaran yang sangat tinggi, misalnya untuk *circular saw* diperlukan putaran antara 2000 sampai 3000 rpm, bahkan untuk router sampai 38000 rpm, planer 15000 sampai 17000 rpm. Lihat gambar.



**Gambar 11.1** Circular saw



**Gambar 11.2** Radial Arm Saw



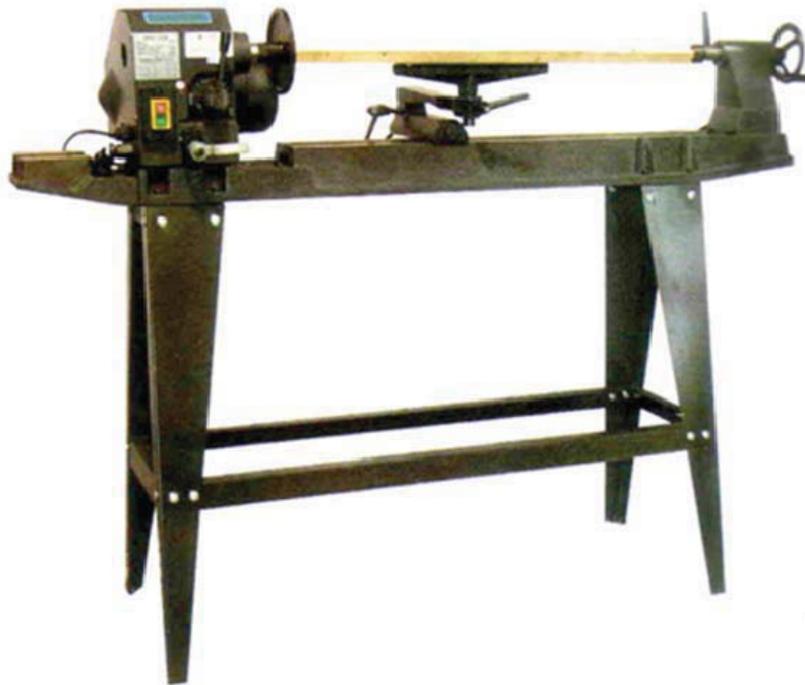
**Gambar 11.3** Bench Table Saw



**Gambar 11.4** Tilting arbor Saw



**Gambar 11.5** Radian Arm Saw



**Gambar 11.6** Wood lathe (Mesin bubut kayu)



**Gambar 11.7** Jig Saw



**Gambar 11.8** Membelah/memotong kayu dengan Jig Saw



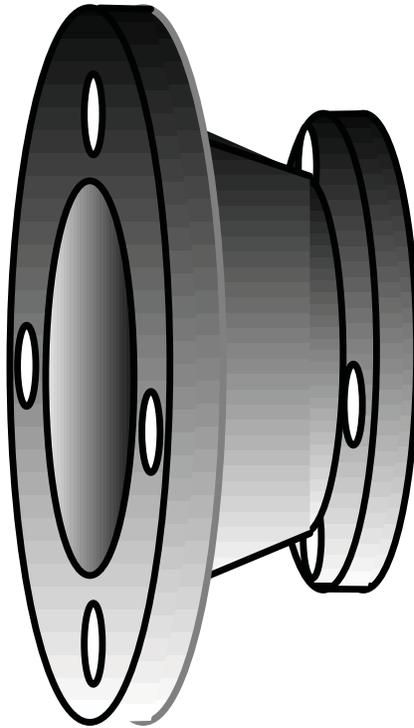
**Gambar 11.9** Hand Grinder



**Gambar 11.10** Membentuk benda kayu dengan hand grinder

Berbagai jenis perkakas seperti diperlihatkan pada gambar-gambar diatas merupakan sebagian kecil dari jenis perkakas bertenaga (power tool), akan tetapi dalam pengolahan dan pembentukan benda kerja dengan menggunakan bahan kayu ini pemakaian power tool bukan yang utama dan malah sebaliknya perkakas tangan (manual) itulah yang sangat penting terlebih lagi untuk pembentukan benda-benda kerja yang rumit.

Bentuk casting seperti diperlihatkan pada gambar, dapat dibentuk dengan menggunakan model kayu yang dikerjakan dengan mesin bubut, namun dari bentuk yang sederhana ini tentu saja tidak cukup dengan hanya menggunakan satu mesin, akan tetapi diperlukan berbagai perkakas lainnya termasuk perkakas tangan.



**Gambar 11.11** Casting

#### **D. Berbagai peralatan dan perkakas pendukung**

##### **1. Pemegang benda kerja**

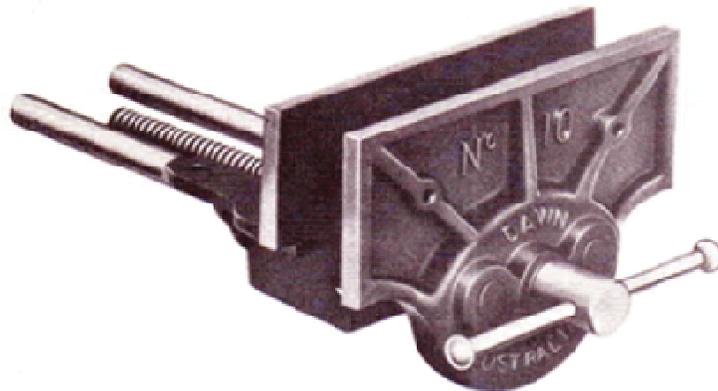
###### *Ragum (Vice)*

Untuk menghasilkan bentuk pemotongan yang baik dengan ukuran yang tepat benda kerja harus dipegang kuat dengan menggunakan alat pemegang benda kerja yang sesuai dengan bentuk dan posisi pengerjaan. Untuk perkakas pertukangan kayu (carpenters) terdapat berbagai jenis pemegang benda kerja dengan karakteristik dan fungsi yang berbeda-beda.

Gambar berikut ini memperlihatkan salah satu jenis ragum yang disebut “wood workers plain screw Vice”. Ragum mini didesain dengan memiliki luas rahang yang besar dan memenuhi standar “wood workers” dengan slide bar yang terbuat dari baja tahan karat dan dapat meluncur secara presisi.

*Plain screw-peg Vice*

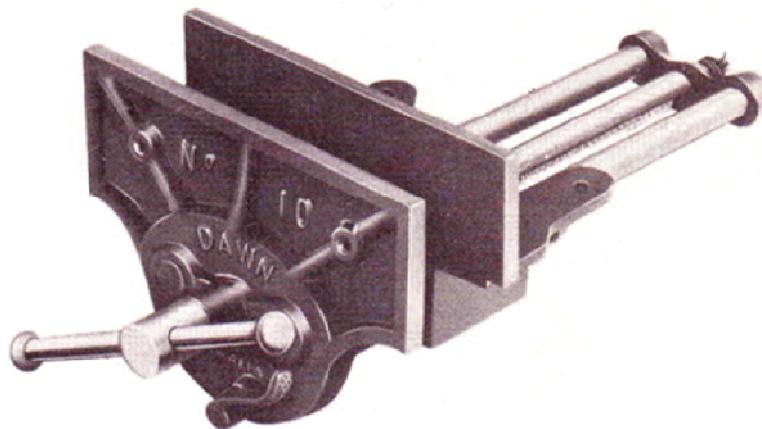
Plain screw-peg Vice ialah ragum pemegang balok kayu yang memungkinkan untuk memegang balok kayu yang panjang, bagiannya ditahan pada meja kerja (work bench). Dibagian depan dari jaw dilengkapi dengan pasak baja. Ragum ini dipasang pada meja kerja dengan menggunakan baut.



**Gambar 11.12** wood workers plain screw Vice

*Quick action Vice*

Sesuai dengan namanya ragum ini dapat bergerak secara cepat dalam memegang dan melepas benda kerja, ragum ini juga memiliki kapasitas rahang yang besar dan memungkinkan untuk memegang benda kerja dengan ukuran yang bervariasi.



**Gambar 11.13** Quick action Vice

### Saw Vice

Ragum yang digunakan untuk memegang benda kerja dalam proses pemotongan dengan gergaji tangan. Ragum ini dipasang pada meja kerja dengan menggunakan clamp, sedangkan posisi rahang dapat diubah posisinya sesuai dengan posisi pengerjaan melalui bagiannya yang berbentuk bola dan dikunci pada posisi yang dikehendaki.

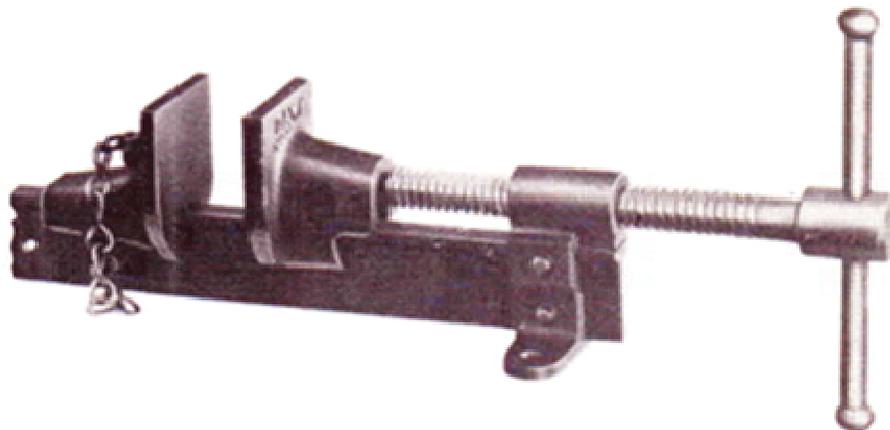


**Gambar 11.14** Saw Vice

### Cramp dan clamp

#### "T"-bar cramp

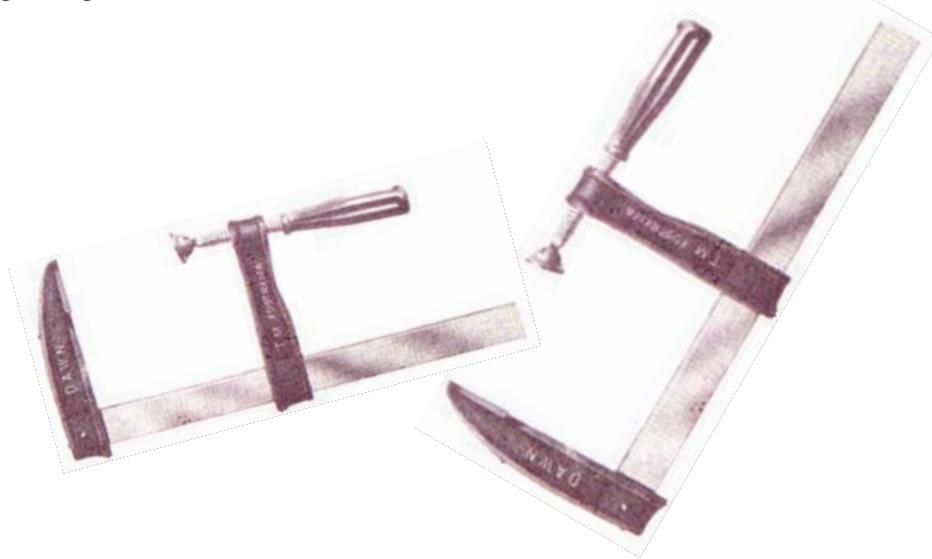
Salah satu bentuk jepitan (Cramp) ialah "T"-bar Cramp, ialah jepitan dengan menggunakan batang yang berbentuk T, penjepit ini memiliki dua buah rahang yang terdiri atas rahang "tetap" akan tetapi rahang ini dapat dipindahkan posisinya mendekati ukuran dengan ukuran benda kerja, dan rahang yang kedua merupakan rahang geser atau rahang jepit digunakan untuk menjepit benda kerja.



**Gambar 11.15** "T"-bar cramp

*Quick action clamp*

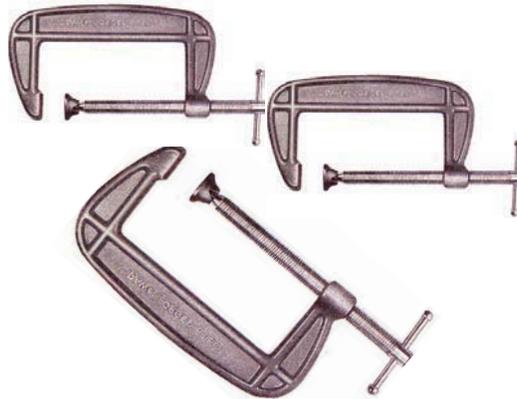
Clamp seperti diperlihatkan pada gambar merupakan clamp yang memiliki rahang yang dapat diposisikan untuk menjepit ukuran besar hingga 1000 mm batangnya berbentuk segi empat dengan rahang geser bersama dengan ulir penjepit dapat distel pada posisi mendekati pada ukuran bagian yang akan dijepit. Clamp ini biasanya digunakan dalam perakitan komponen perabot rumah tangga atau kusen-kusen bangunan gedung.



**Gambar 11.16** Quick action Clamp

Forged Steel “G”-Clamp

Clamp yang berbentuk huruf “G” memiliki fungsi yang sangat luas dalam memegang benda kerja, dibuat dari baja tempa yang kuat dan kaku, perhatikan kekuatannya jepitannya dan gunakan alas/bantalan agar tidak merusak benda kerja.



**Gambar 11.17** Forged Steel “G”-Clamp

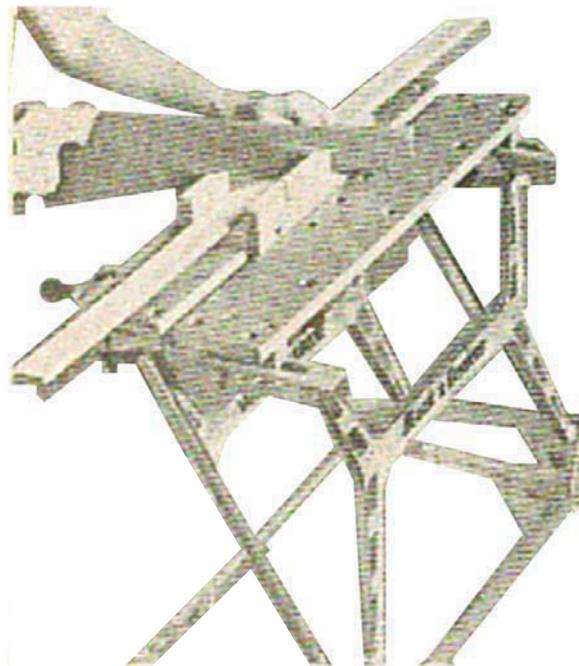
## 2. Perkakas tangan dengan operasi manual

### *Gergaji tangan (Handsaws)*

Gergaji tangan merupakan salah satu perkakas tangan yang efisien digunakan dalam memotong atau membelah kayu dengan ukuran dan jumlah yang kecil. Seperti pada semua perkakas tangan, pemakaian gergaji tangan ini diperlukan keterampilan untuk memberikan pemakanan dengan gerakan yang seimbang.



**Gambar 11.18** Gergaji tangan



**Gambar 11.19** Memotong menggunakan gergaji tangan (*Handsaws*)

*Gergaji tangan tipe busur (Bowsaw)*

Gergaji ini lebih ringan dengan mata potong yang halus menghasilkan pemotongan yang presisi terutama dalam fungsi pengepasan siku dan menyudut, dapat juga digunakan untuk memotong radius dengan  $r$  yang besar.

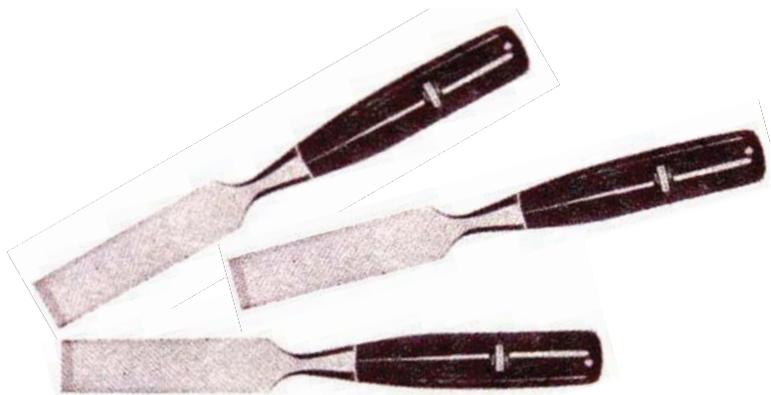


**Gambar 11.20** Gergaji tangan (Handsaws) type busur (Bowsaw)

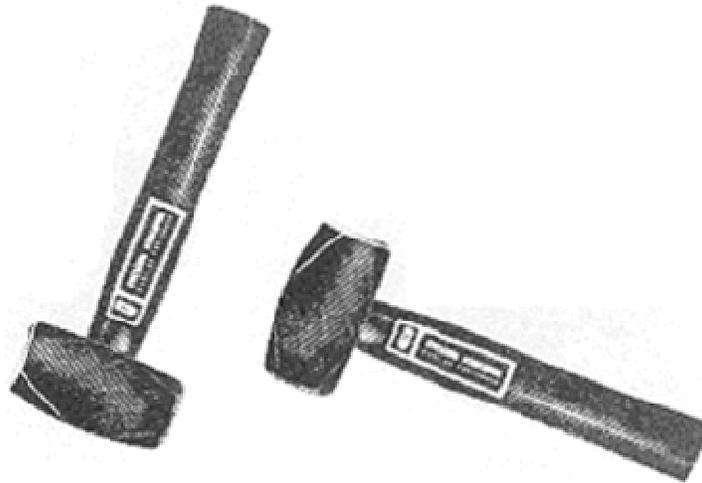
*Pahat kayu (wood chisels)*

- *Pahat tangan*

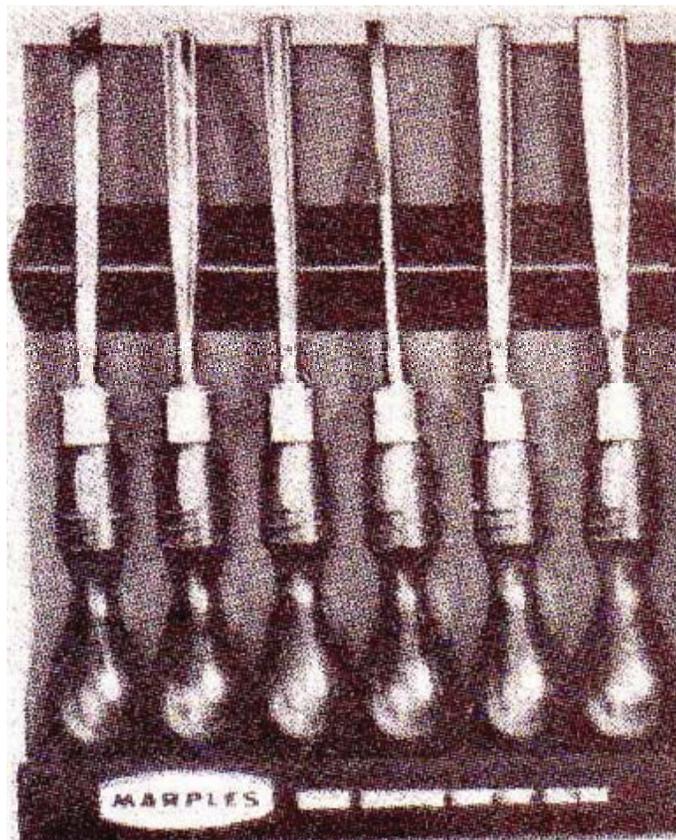
Pahat kayu merupakan alat potong kayu yang digunakan untuk membentuk benda kerja, bentuk luar serta memuat lubang segi empat. Pahat kayu dibuat dengan berbagai bentuk dan ukuran dengan tangkai yang dibuat dari kayu atau plastik. Pembentukan dengan menggunakan pahat kayu biasanya dilakukan dengan pemukulan oleh palu ("Mason's Club hammer) lihat gambar.



**Gambar 11.21** Pahat tetap (Chisel Firmer)



**Gambar 11.22** Palu ("Mason's Club hammer)



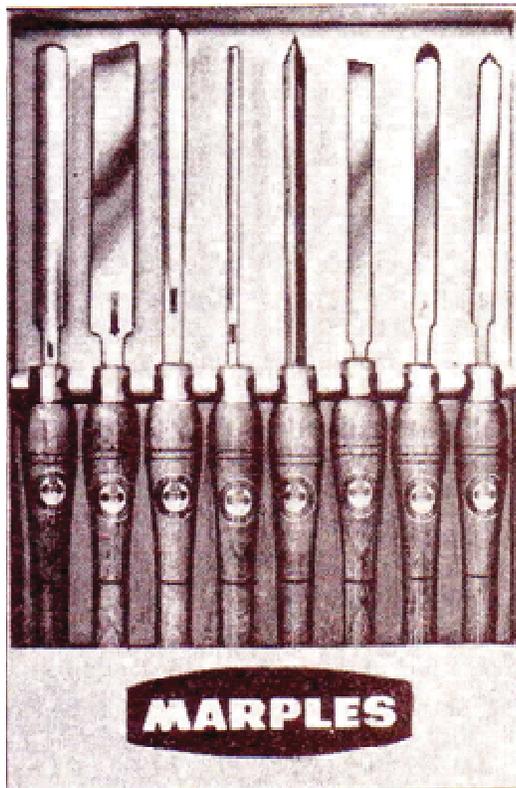
**Gambar 11.23** Pahat bubut kayu (wood turning tool)

*Pahat bubut kayu*

Pahat bubut kayu memiliki bentuk yang hampir sama dengan pahat tetap dan tersedia dalam berbagai bentuk dan ukuran, memiliki tangkai kayu atau plastic sebagaimana pahat tangan biasa atau pahat tetap, Pahat bubut kayu tersedia dalam satu set yang terdiri atas 6 buah yaitu round nose chisel  $\frac{1}{2}$ " , turning gouge  $\frac{1}{2}$ " dan  $\frac{1}{4}$  " , parting tool , diamond chisel dan turning chisel  $\frac{1}{2}$ ". Disamping itu terdapat pula pahat bubut yang terdiri atas 8 buah yang terdiri atas Standard gouge  $\frac{5}{8}$ " ,  $\frac{1}{4}$  " dan  $\frac{1}{2}$  " . Standar Chisel  $\frac{1}{2}$ " dan 1" , round nose chisel  $\frac{1}{2}$ " parting tool diamond point chisel  $\frac{1}{2}$ " Lihat gambar 11.24.

*Pahat ukir (wood carving tool set)*

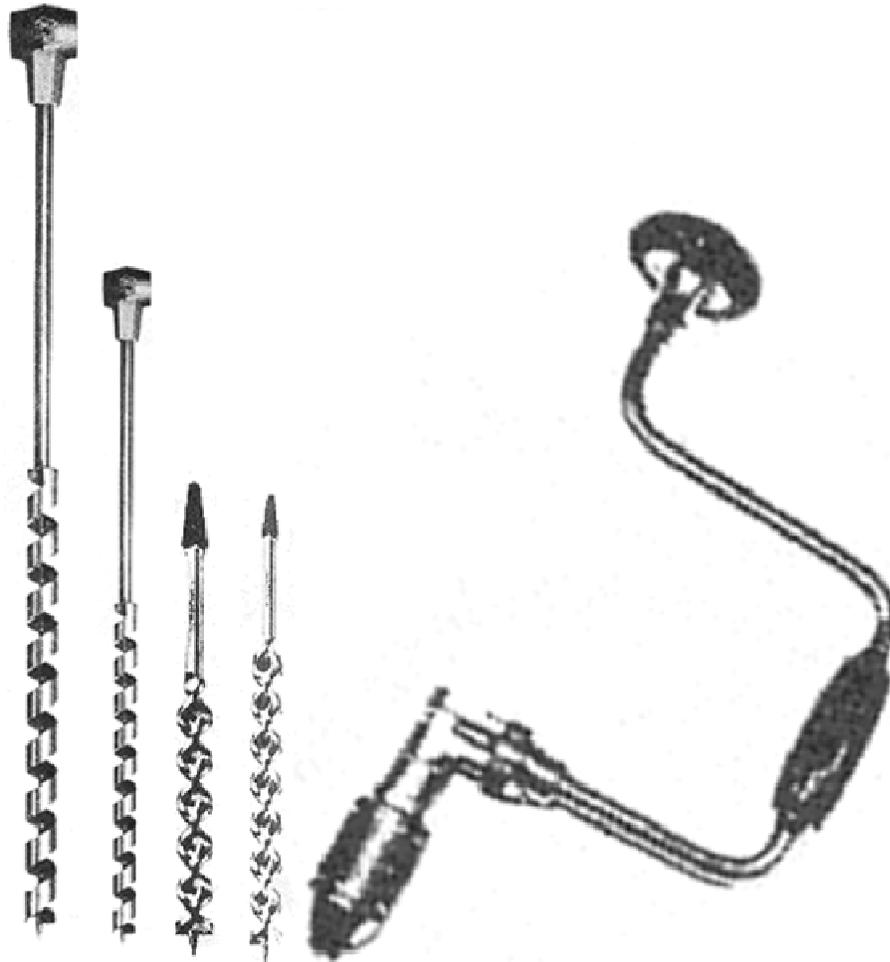
Pahat ukir (carving tool set) ialah seperangkat bahat dari berbagai bentuk dan ukuran sesuai dengan fungsi mengukir, pahat dengan nomor seri 152 terdiri dari enam buah pahat dengan berbagai bentuk dan ukuran namun panjangnya sama yakni 205 mm variasi bentuk ini antara lain : Skew-chisel  $\frac{1}{4}$ " , Straight gouge chisel  $\frac{3}{8}$  " dan  $\frac{1}{2}$ " , bent gouge  $\frac{1}{4}$ " spoon bit chisel  $\frac{1}{8}$ " dan V tool  $\frac{5}{16}$ "



**Gambar 11.24** Pahat ukir  
(wood carving tool)

### 3. Bor kayu dengan operasi manual (Bit Brace)

Bor kayu dengan operasi manual yaitu semua gerakan pengeboran diberikan secara manual, misalnya gerakan putarnya diperoleh dari gerakan engkol dari bor yang dirancang sedemikian rupa seperti diperlihatkan pada gambar berikut.



**Gambar 11.25** Bor dengan operasi manual (Bits brace long twist ring auger) dan Mata bor (Bits auger) untuk mesin bor dengan operasi manual

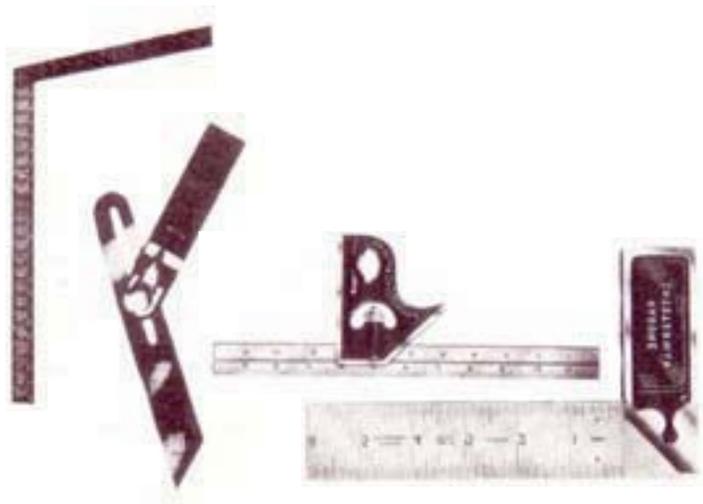
#### 4. Alat ukur dan penandaan dalam pertukangan kayu

##### *Alat ukur*

Alat ukur dan alat penandaan yang digunakan pada pengukuran logam juga dapat digunakan dalam pekerjaan pertukangan kayu ini bahkan untuk pengukuran kayu ini lebih sederhana dan terbatas tidak memerlukan tingkat ketelitian yang tinggi sebagaimana diperlukan dalam pengerjaan logam, untuk pengukuran linear mistar baja penyiku dan mistar gulung cukup untuk digunakan dalam pekerjaan kayu.



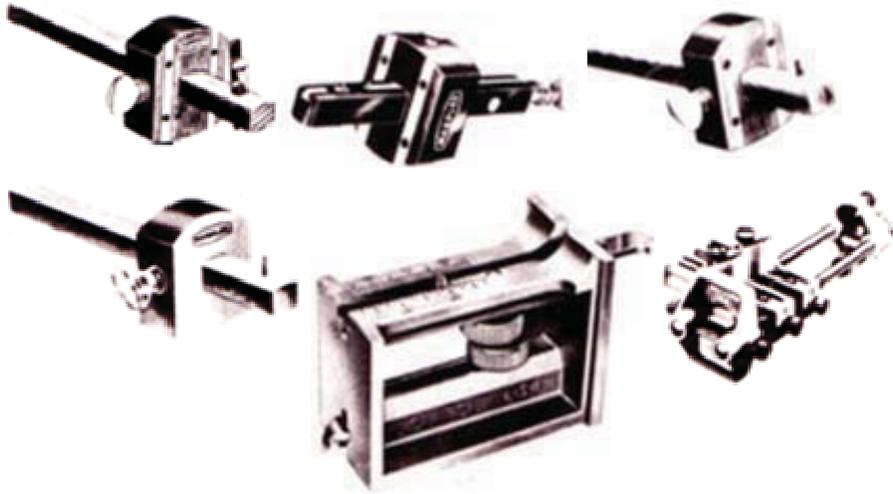
**Gambar 11.26** Mistar gulung (Roll meter)



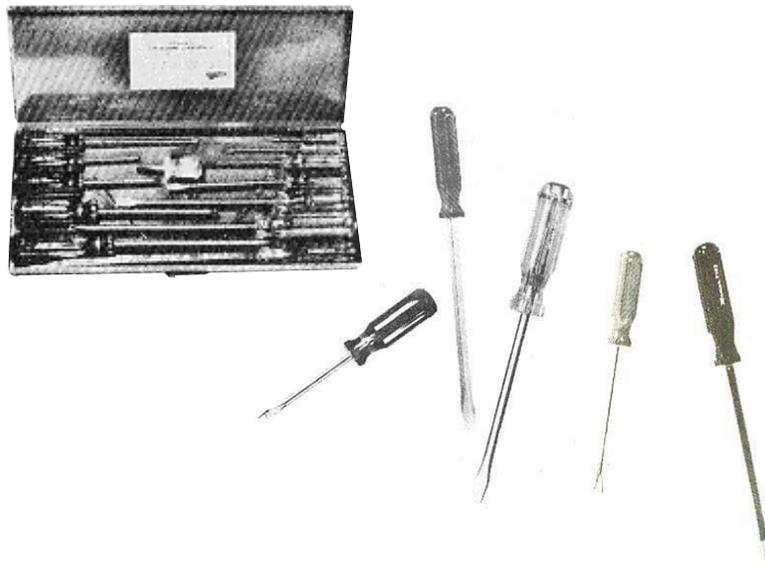
**Gambar 11.27** Penyiku (Caliber square) dan kombinasi set

*Alat penandaan*

Alat penandaan yang specific dalam pengerjaan kayu antara lain Marking gauge yang digunakan untuk membuat garis sejajar dengan salah satu sisi dari benda kerja. Bagian dari batangnya dapat digeser sesuai dengan jarak yang diinginkan. (lihat gambar)



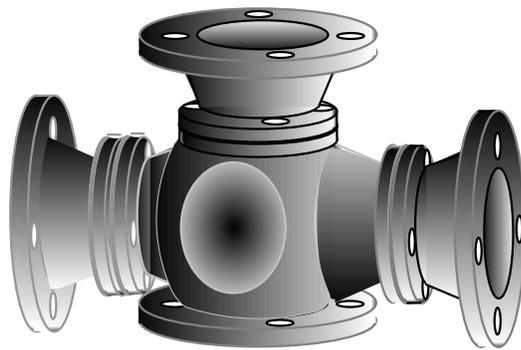
**Gambar 11.28** Marking gauge dan Cutting gauge



**Gambar 11.29** Screwdrivers

**E. Pembuatan model (pattern) dengan kayu.**

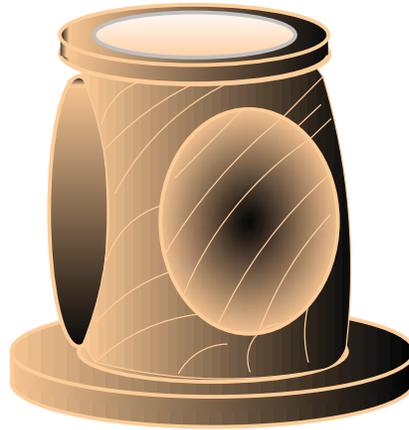
- Untuk pembuatan benda kerja dengan bentuk seperti diperlihatkan pada gambar 11.36, secara umum bentuk pola kayu ini dapat dikerjakan dengan mesin bubut, akan tetapi untuk kebenaran proses pekerjaan ini tidak cukup dengan memperkirakan berdasarkan perkiraan, Karena bentuk yang rumit ini tidak mungkin diperoleh dengan satu benda secara utuh, sehingga diperlukan pemotongan-pemotongan setiap bagian yang nantinya akan dirakit menjadi bentuk benda yang sebenarnya. Pola model bagian 1 merupakan bagian benda yang terbentuk secara “utuh”.



**Gambar 11. 30 Casting**



**Gambar 11.31 Model (Pattern)**



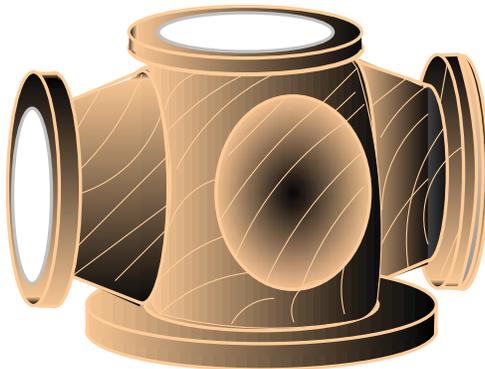
**Gambar 11.32** Model bagian 1

Untuk bentuk benda dari model bagian 1 ini yang disebut sebagai bagian yang utuh sebenarnya juga masih harus dipertimbangkan bagaimana pemindahannya kedalam bentuk cetakan jika akan dicetak pada cetakan pasir, atau mungkin tidak dapat dilakukan pemindahan bentuk ini melalui pencetakan pasir (sand casting). Analisis terhadap proses lanjutan dalam pembuatan pola Model ini menjadi penting, karena tidak saja membentuk model yang sesuai dengan bentuk benda yang dikehendaki, tetapi model itu sendiri harus terdiri atas bagian sehingga mudah dipindahkan kedalam bentuk cetakan dalam tujuan pengecoran.

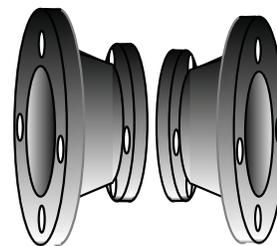
Model bagian 2 ini selanjutnya akan digabung dengan model bagian 1 dengan cara di pin atau dowel sehingga membentuk bagian benda utuh secara keseluruhan



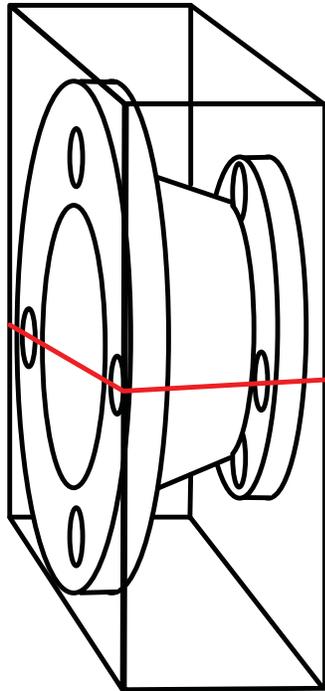
**Gambar 11.33** Model bagian 2



**Gambar 11.34** Gabungan Model bagian 1 dan Model bagian 2



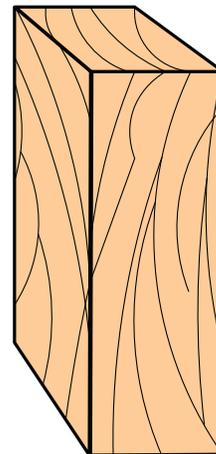
**Gambar 11.35** Casting



**Gambar 11.36** Model bagian

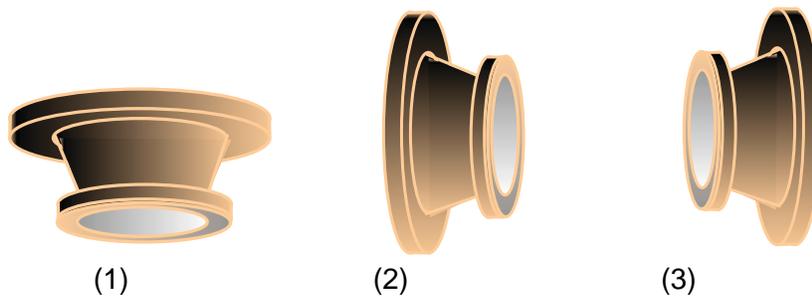


**Gambar 11.37** Model bagian 3



Semua model dibuat dari kayu yang terbelah menjadi dua bagian yang digabungkan dengan menggunakan pasak yang dapat dibuka pada saat model tersebut akan dipindahkan kedalam bentuk cetakan (lihat gambar), kecuali jika model ini akan dijadikan model untuk cetakan resin (lihat Teknik pembentukan benda kerja melalui proses pengecoran).

Model bagian 3 dibuat dengan cara serta dimensi yang sama.



**Gambar 11.38** Model bagian 1, 2, dan 3

### **Rangkuman :**

Industri logam menggunakan kayu terutama untuk pembuatan model (pattern) dalam pengecoran logam

Model produk tuangan yang dibentuk dari bahan resin masih diperlukan model dari kayu. Untuk pembuatan model dari kayu diperlukan perkakas pertukangan kayu baik perkakas manual atau perkakas bertenaga (power tool).

Mesin-mesin perkakas kayu telah lama dikembangkan terutama dalam industri meubel dan perabot rumah seperti *Circular saw*, planer, mesin bubut, mesin bor, square chisel machine dan lain-lain

Kayu memiliki angka kecepatan potong yang sangat tinggi sehingga diperlukan putaran yang sangat tinggi, misalnya untuk *circular saw* diperlukan putaran antara 2000 sampai 3000 rpm, bahkan untuk router sampai 38000 rpm, planer 15000 sampai 17000 rpm.

### **Soal-soal :**

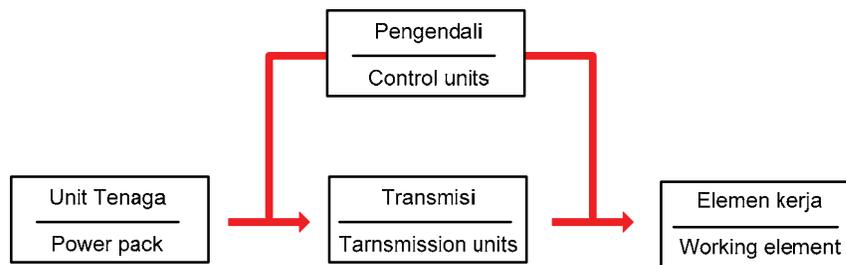
1. Apakah fungsi perkakas pertukangan kayu dalam pekerjaan pengecoran logam ?
2. Faktor apakah yang paling spesifik dari bahan kayu dibanding bahan lain seperti logam ?
3. Apakah perbedaan mesin perkakas untuk pengerjaan kayu dibanding dengan mesin perkakas logam ?
4. Faktor apakah dari aspek keselamatan kerja yang harus diperhatikan dalam pemakaian mesin perkakas kayu ?
5. Sebutkan macam-macam mesin pemotong kayu secara mekanik ?



## BAB XII MENGENAL BERBAGAI SISTEM KONVERSI ENERGI

### A. Sistem pesawat kerja

Pesawat kerja merupakan suatu system yang terdiri atas berbagai elemen yang berfungsi sebagai pengubah energy dari sumber daya menjadi system kerja mekanik menjadi energy yang berguna (energy mekanik) sesuai dengan kebutuhan dan fungsi pesawat kerja tersebut. Secara umum system pesawat kerja itu dapat dilihat pada Gambar 12.1 : skema diagram berikut.



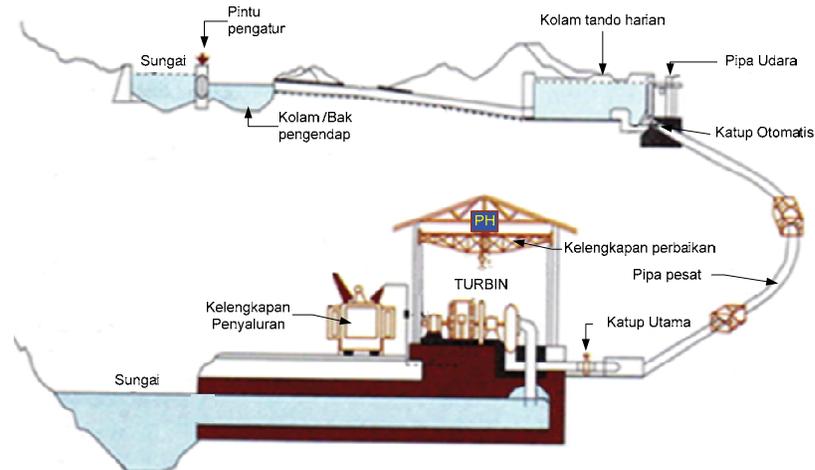
Gambar 12.1 : Skematik komponen pada system pesawat

Komposisi elemen dari komponen pesawat kerja tergantung pada system kerja yang digunakan dari sumber tenaga terhadap elemen kerjanya. Misalnya unit tenaga dengan system listrik (elektrik) dan elemen kerja bekerja secara elektrik; maka system control dan system Transmisinya adalah system elektrik, akan tetapi jika unit tenaga menggunakan system listrik dan elemen kerjanya menggunakan system kerja mekanik maka system kerja elektrik pada unit tenaga ini harus dikonversi terlebih dahulu menjadi system kerja mekanik, demikian pula untuk system kerja hydraulic atau pneumatic.

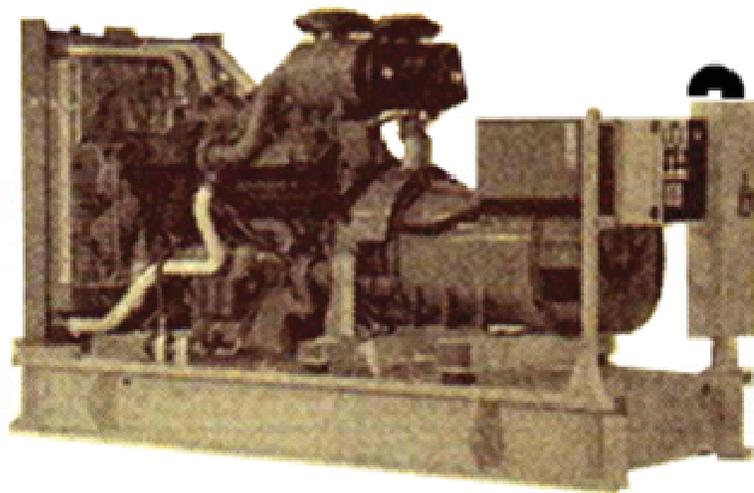
### B. Power pack, system konversi energy, Transmisi dan pengendaliannya

Pada umumnya pemakaian pada aplikasi pesawat kerja industry power pack-nya menggunakan listrik (electrical power pack) karena pemakaian energy listrik ini masih lebih efisien dibanding pemakaian energy minyak seperti system motor bakar yakni Diesel atau patrol engine, sedangkan pada system energy utama seperti pembangkit listrik kebanyakan menggunakan system pembangkit

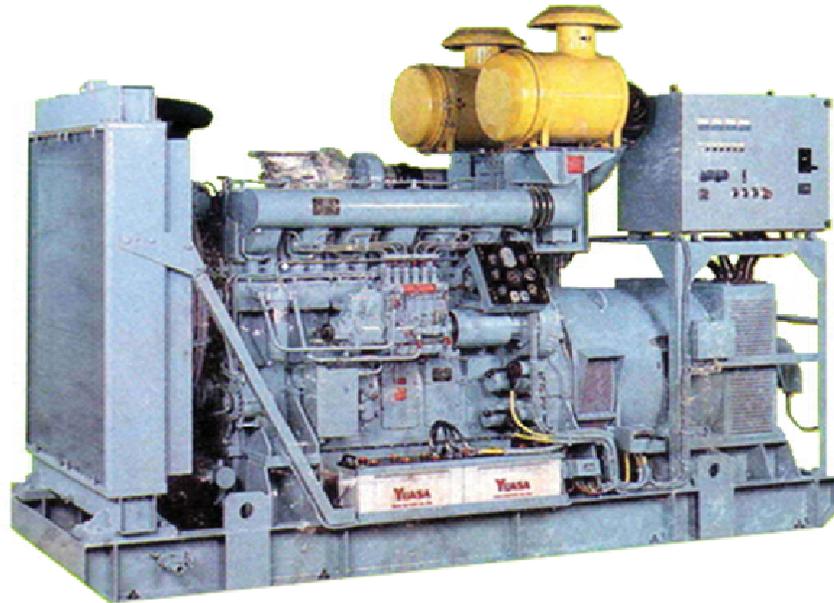
hydro terutama karena Indonesia memiliki sumber energy hydro yang memadai kendati dalam perkembangannya masih dibantu dengan pemakaian system tenaga uap, tenaga panas bumi serta tenaga mata hari (solar) dan sejalan dengan kebutuhan energy listrik yang efisien secara local dikembangkan pula system pembangkit listrik micro hydro sesuai dengan potensi local.



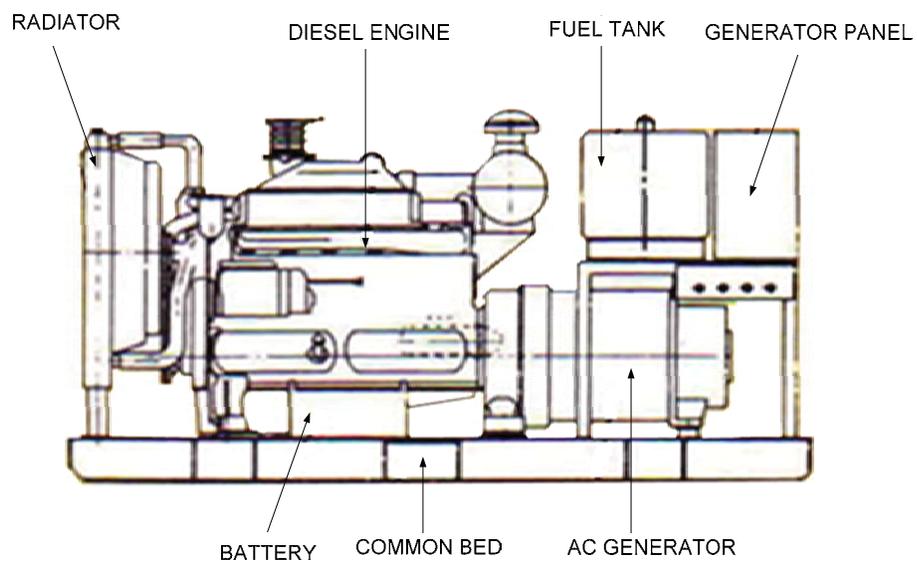
Gambar 12.2 : Instalasi Pusat Listrik Tenaga Air



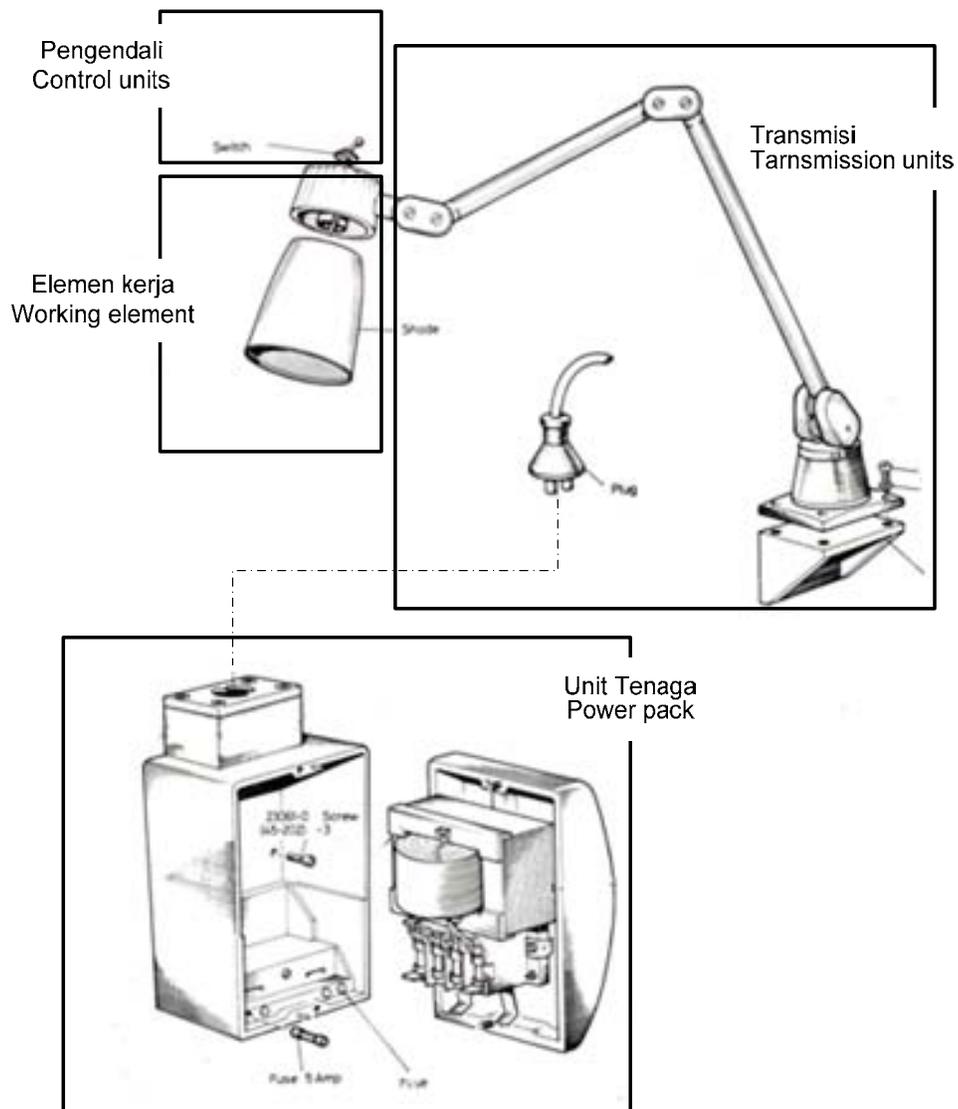
Gambar 12.3 : Proses Konversi energy dari Diesel engine ke energy listrik pada generator listrik



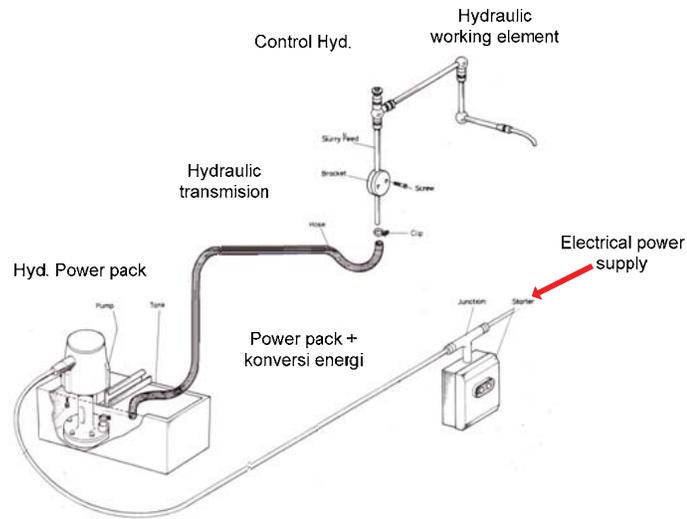
Gambar 12.4 : Proses Konversi energy dari Diesel engine ke energy listrik pada generator listrik



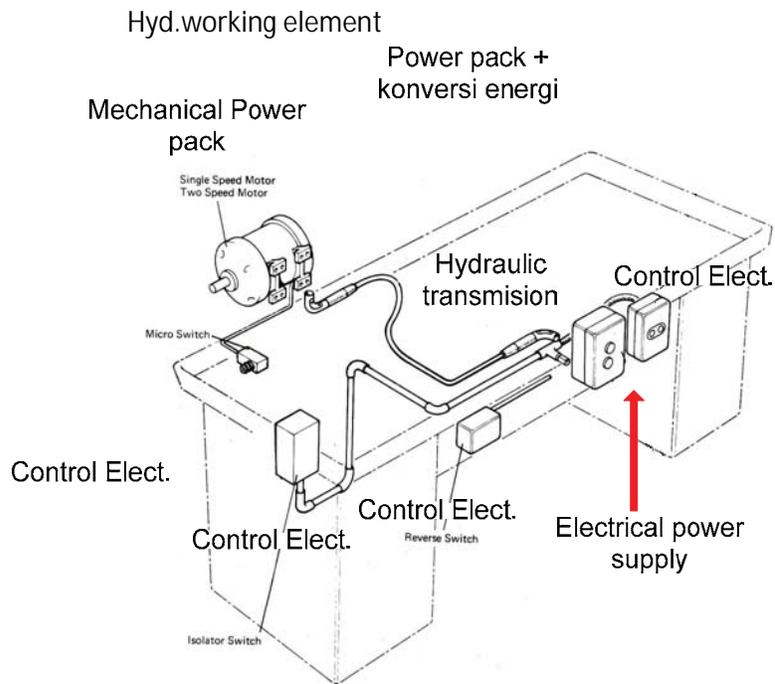
Gambar 12.5 : Bagian-bagian utama generator listrik



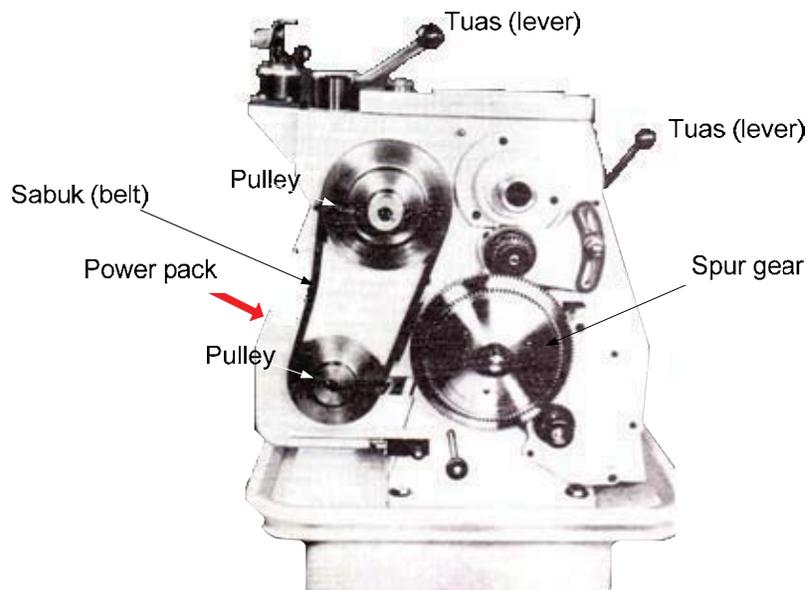
Gambar 12.6 : Skema pesawat kerja untuk system penerangan mesin Electrical Power pack dengan konversi pada Hyd.sys.



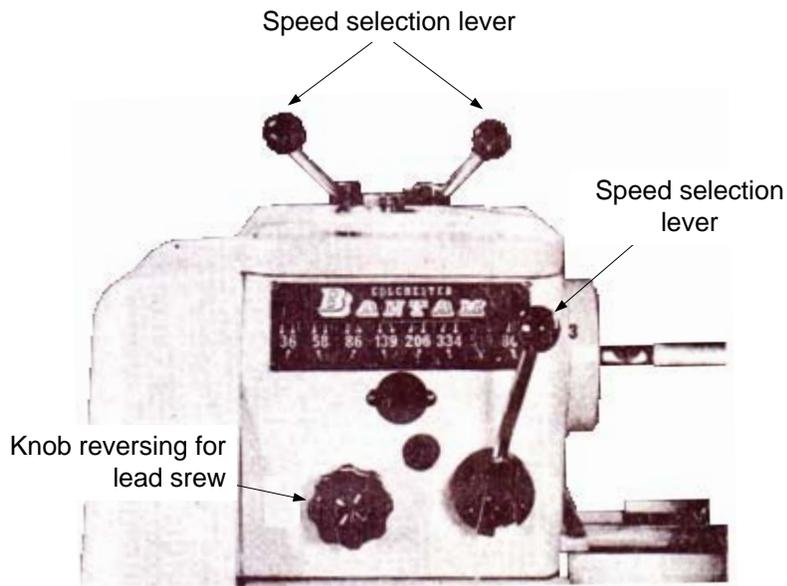
Gambar 12.7 : Skema pesawat kerja untuk system penerangan mesin Electrical Power pack , Electrical working element



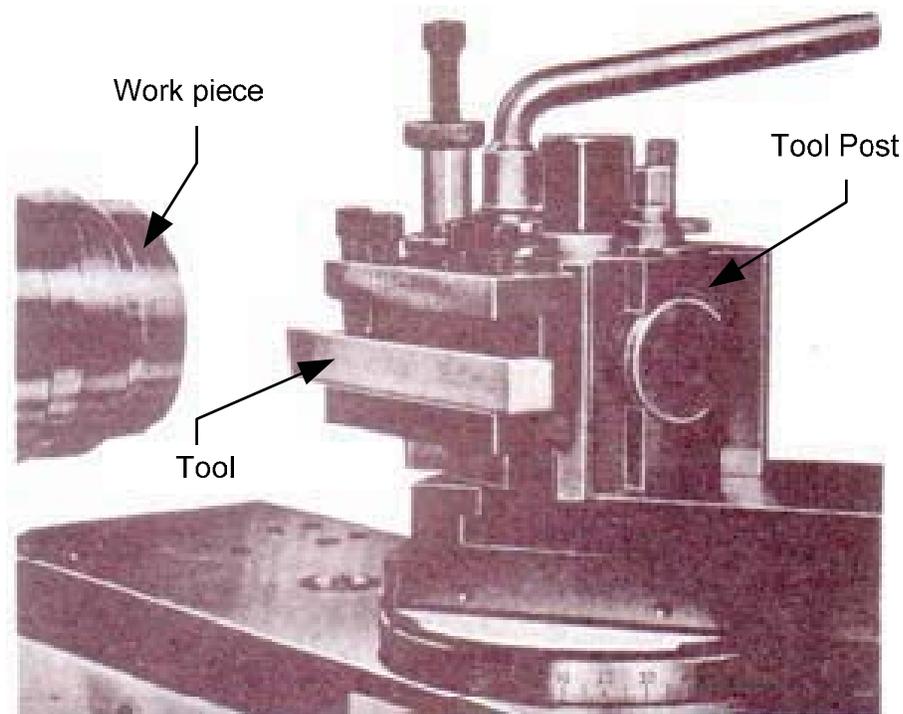
Gambar 12.8 : Skema pesawat kerja untuk system penggerak utama mesin bubut Electrical Power dengan konversi pada Mechanical Power pack dan Mechanical working element



Gambar 12.9 : Elemen transmisi dan elemen control system kerja Mekanik



Gambar 12.10 : Elemen control system kerja Mekanik



Gambar 12.11 : Working elemen pada system kerja Mekanik (mesin bubut)

Dari contoh-contoh rangkaian dari system pesawat kerja diatas memberikan penjelasan dimana system pesawat kerja merupakan rangkaian dari elemen-elemen yang terdiri atas :

- a) Unit tenaga (power pack)
- b) Sistem kendali (Unit control)
- c) Sistem transmisi (transmission system)
- d) Elemen kerja (working elemen)

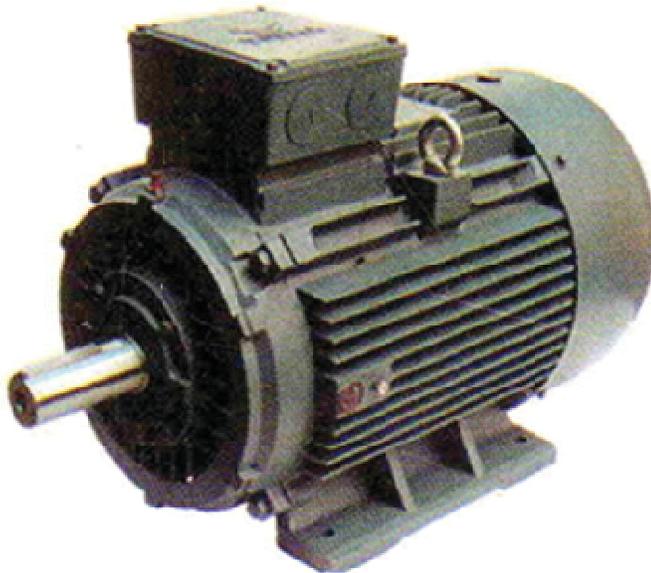
Hal ini berlaku untuk semua jenis pesawat kerja, dan karena terlalu banyaknya jenis dan system kerja yang digunakan, misalnya pada kendaraan, system pembangkit listrik, system kerja hydraulic dan lain-lain tidak mungkin untuk diuraikan satu-persatu terlebih jika masing-masing sub harus dijelaskan secara rinci.

### C. Konversi energi

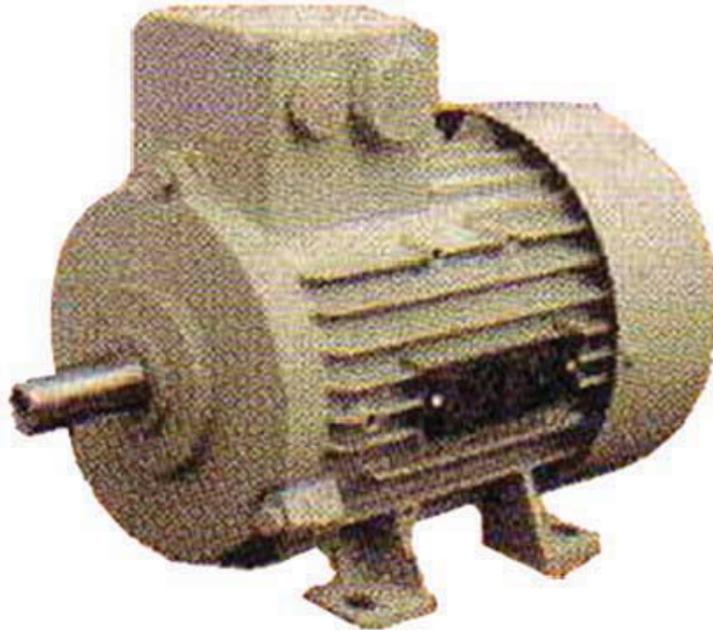
Konversi energi ialah perubahan bentuk energi dari sumber energi kedalam bentuk lain yang tidak mengakibatkan terjadinya perubahan nilai/kapasitas dari energy tersebut.

Sebagaimana diuraikan dalam beberapa Gambar sebelumnya dimana terdapat perubahan atau konversi pada energy listrik menjadi energi mekanik melalui motor listrik (electro motor) untuk digunakan sebagai system penggerak pada Mesin perkakas yang menggunakan elemen kerja mekanik, misalnya tool pada mesin bubut, gerakannya akan sebanding dengan kekuatan arus dan tegangannya. Tentu saja untuk usaha/gerakan kerja atau Energi kinetic dari elemen kerja  $A = \frac{1}{2} mv^2$ .

Keberagaman system kerja yang digunakan pada pesawat kerja dimungkinkan untuk melakukan proses konversi energy secara beragam pula, seperti telah disebutkan dimana energy listrik menjadi energy mekanik misalnya motor listrik yang menghasilkan gerak mekanik secara putar (rotary), untuk menghasilkan gerak linear maka diperlukan solenoid; untuk menghasilkan energy hydraulic/Pneumatic maka diperlukan konversi dari energy listrik menjadi energy mekanik untuk menggerakkan pompa dan menghasilkan fluida/Udara bertekanan sebagai sumber energy hydraulic/Pneumatic.



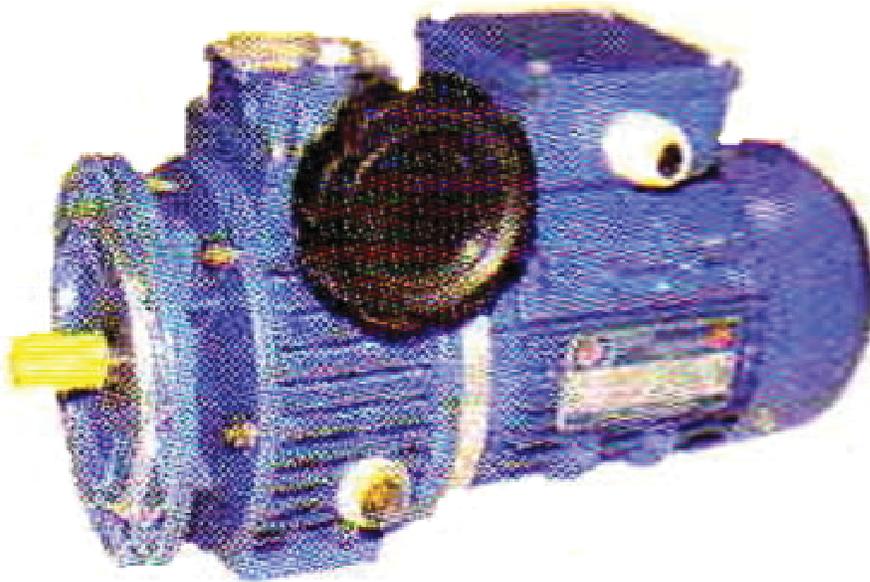
Gambar 12.12 : Elektro motor sebagai pengubah energy listrik menjadi energi Mekanik (mesin bubut)



Gambar 12.13 : Elektro motor sebagai pengubah energy listrik menjadi energi Mekanik (mesin bubut)

#### **D. System Transmisi**

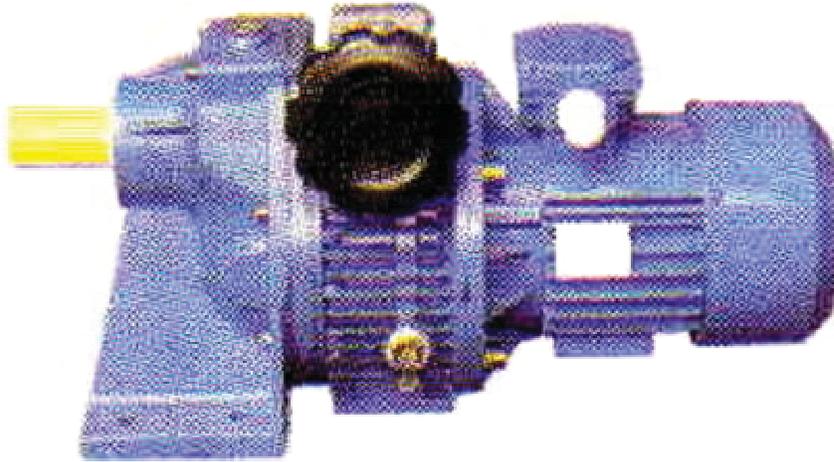
Kebutuhan daya dari elemen kerja pada sebuah pesawat kerja, kerap kali terjadi fluktuasi tidak selalu datar tetap pada besaran tertentu kecuali pada pemakaian energy listrik yang digunakan pada elemen kerja yang juga menggunakan system listrik fluktuasinya relative tidak terlalu besar, biasanya terjadi pada awal atau pada start, lebih spesifik pada mesin perkakas, pesawat-pesawat seperti otomotive atau kendaraan dan lain-lain elemen kerja selalu berubah-ubah dari putaran lambat ke putaran cepat dari beban yang besar ke beban yang ringan dan sebaliknya bahkan harus berhenti. Oleh karena itu diperlukan komponen perantara yang dapat memenuhi kebuatuhan tersebut secara terkendali. Menyadari keadaan yang demikian ini maka pesawat kerja akan dilengkapi dengan komponen mesin lainnya yakni clutch dan system transmisi yang sekaligus juga dengan mekanisme system pengendaliannya (Control system) yang disesuaikan dengan system kerja dari clutch dan system transmisi itu sendiri serta mempertimbangan system pelayanannya sehingga system pengendalian menjadi sangat mudah dan dinamis.



Gambar 12.14 : Elektro motor sebagai pengubah energy listrik menjadi energi Mekanik yang diperlengkapi dengan system transmisi

System Transmisi ini tidak hanya berfungsi sebagai penghantar daya apakah itu daya listrik atau daya mekanis akan tetapi juga akan berfungsi sebagai pengatur pembebanan terhadap sumber daya dari energi yang tersedia dan dengan demikian energi akan digunakan secara efisien, oleh karena itu dalam perkembangannya system konversi energi listrik kedalam energy mekanik melalui motor listrik ini mekanismenya ditempatkan menjadi satu sehingga outputnya sudah merupakan besaran daya dan kecepatan yang telah disesuaikan

Pada system kerja mekanik system transmisi ini terdapat dalam berbagai jenis seperti, sabuk (belt); roda gigi; rantai; ulir; dan poros dan masing-masing jenis ini memiliki sifat serta karakteristik yang berbeda satu sama lainnya, sehingga dalam pemakaiannya dipilih dan ditentukan berdasarkan kesesuaiannya dengan fungsi dan sifat pemakaiannya, seperti pada system transmisi dengan menggunakan sabuk dimana memiliki sifat yang lebih luwes relative dapat menyesuaikan dengan jarak sumbu pemutar (driver) terhadap yang diputar (driven), memiliki efek slip sehingga sedikit meredam terjadinya overload namun posisi putaran sumbu selalu dapat berubah sehingga tidak sesuai digunakan pada system kerja otomatis (timing belt) kecuali dengan sabuk bergigi (sabuk gilir) .Lihat lanjutan pembahasannya.



cc

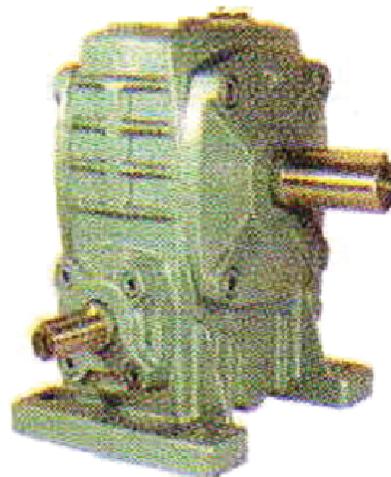
Untuk kebutuhan system transmisi daya mekanik yang dihasilkan melalui energy listrik yang berupa gerak putar dengan kecepatan tetap, system transmisi ini dibuat dalam bentuk universal dengan karakteristik yang bervariasi dengan konstruksi yang terdiri atas susunan roda gigi (spur gear) dan rangkaian dengan helix.

Elemen transmisi mekanik seperti pada Gambar merupakan reduser dengan perbandingan ratio 1 : 60 pada keadaan ini putaran dari output shaft (driven) adalah 1/60 dari putaran motor, misalnya motor dengan putaran 1500 rpm, dengan daya 725 watt (1 HP) Dihubungkan pada output shaft melalui clutch atau transmisi sabuk dengan pulley 1 : 1 maka akan diperoleh putaran :

$$1/60 \times 1500 = 25 \text{ rpm.}$$

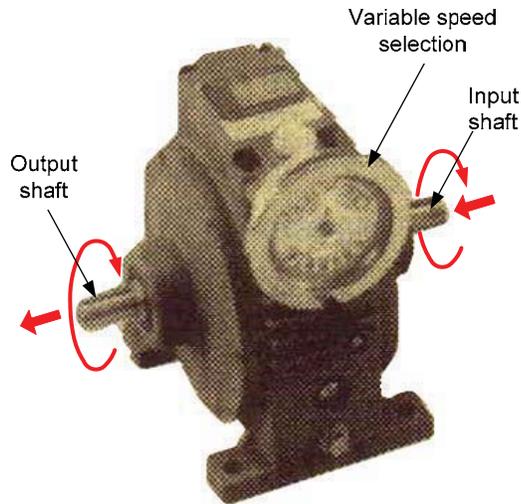
Sedangkan daya akan meningkat menjadi :

$$60 \times 725 = 43500 \text{ watt atau } 60 \text{ HP.}$$



Gambar 12.16 : Worm gear Transmission reducer

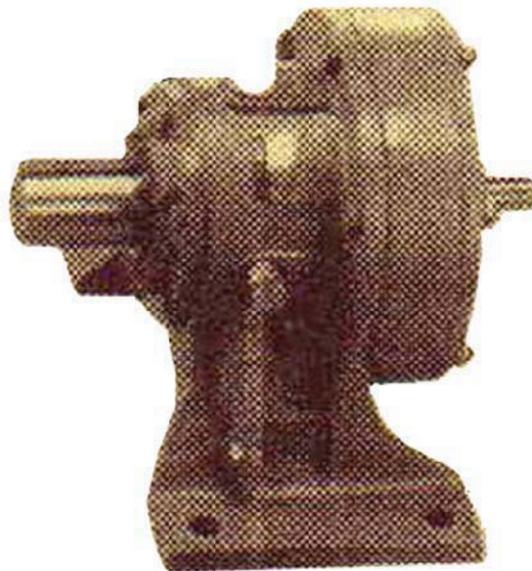
Pemakaian system transmisi dengan menggunakan ulir cacing (worm) ini hanya dapat digerakkan



melalui poros ulir cacing dan tidak dapat digerakkan melalui poros roda gigi cacing, dengan susunan yang hanya terdiri atas susunan ulir dan roda gigi cacing ini putarannya akan tetap, namun terdapat juga system transmisi dari jenis ini yang dapat menghasilkan putaran secara variable, walaupun terbatas namun putarannya dapat disesuaikan dengan putaran yang diinginkan. Lihat Gambar.12.17 .

Gambar 12.17 : Variable speed Worm gear Transmission reducer

Sistem transmisi dengan konstruksi seperti pada Gambar ini menggunakan system roda gigi dalam dengan posisi poros input dengan poros output berada pada satu sumbu yang saling mendukung. Transmisi ini sangat luwes dan dapat digunakan pada rangkaian pesawat kerja dengan posisi elemen kerja memerlukan kesejajaran dengan sumbu putar dari sumbu penggerak utama.



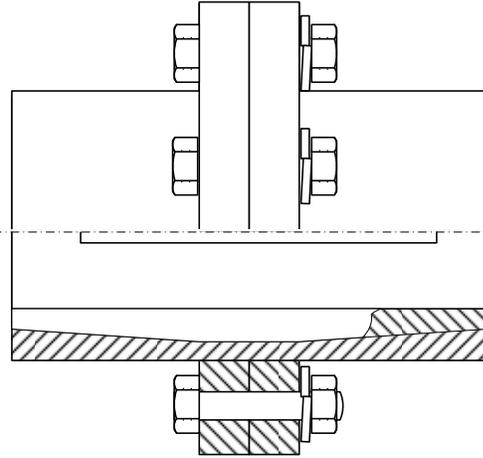
Gambar 12.18 : Transico cicloidal Speed reducer

## E. Kopeling (Couplings)

Terdapat beberapa jenis kopeling yang digunakan di berbagai industry, namun yang umum dan banyak digunakan antara lain :

### 1. Compression Coupling

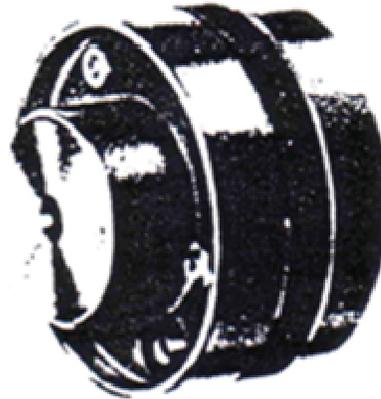
Compression Coupling yakni kopeling yang digunakan untuk menggabungkan sepasang poros dimana kedua poros tersebut berada pada posisi sejajar, kedua poros yang akan digabungkan tersebut dibentuk tirus pada kedua ujungnya dengan arah berlawanan, dengan demikian maka jika kedua flens digabungkan oleh beberapa baut maka kopeling akan saling mengikat dengan poros dan mensejajarkan diri, pemakaian pasak dapat juga digunakan jika diperlukan.



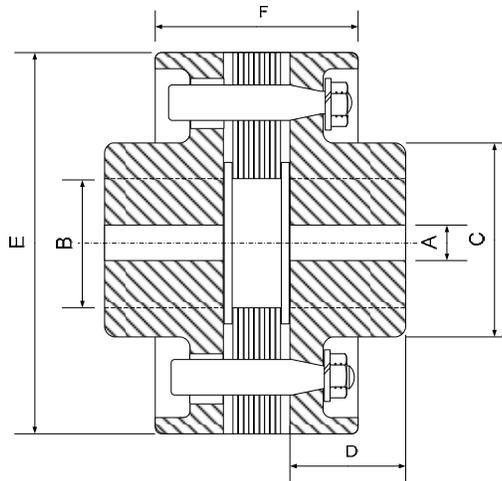
Gambar 12.19 : Compression Coupling

### 2. Flexible Coupling-Disk type

Flexible coupling terdiri atas dua buah bodi yang dibuat dengan pengecoran serta telah disesuaikan melalui proses pemesinan, dengan menggunakan tiga buah pena tegangan tinggi (60-70 ton) didudukan didalam konis dan ditarik oleh masing-masing baut. Pin terpasang menembus karet yang terpasang diantara sepasang flens dengan salah satu ujung pin mengikat presisi pada ujung konisnya. Lihat Gambar. 12.20 a dan b



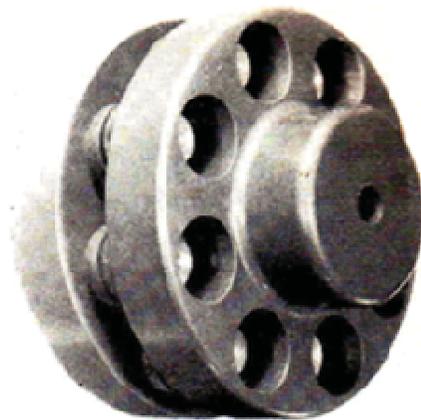
Gambar 12.20 a : Flexible Coupling-Disk/of driver- type



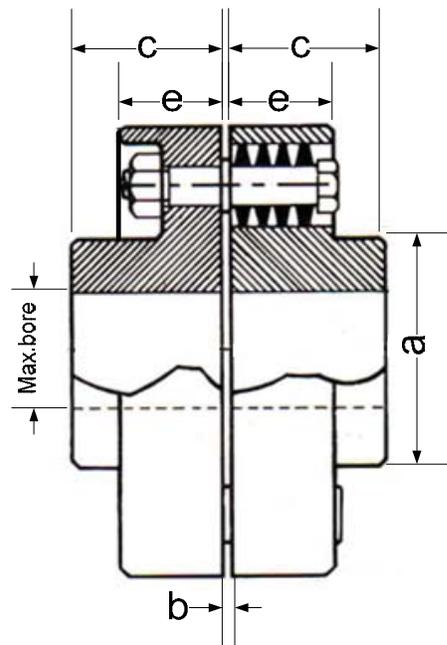
Gambar 12.20 b : Bagian-bagian Flexible Coupling-Disk/of driver- type

Ketiga pin yang terpasang pada salah satu piringan (disk) diposisikan secara bersilang dengan posisi pin yang berada pada disk yang menjadi pasangannya.

Jenis lain dari kopeling flexible ini ialah "precision pin and rubber ring-type", sebenarnya karakteristiknya tidak jauh berbeda, namun demikian kapasitas dan karakteristik mekaniknya yang berbeda. Lihat Gambar. 12.21 a dan Gambar 12.21 b.



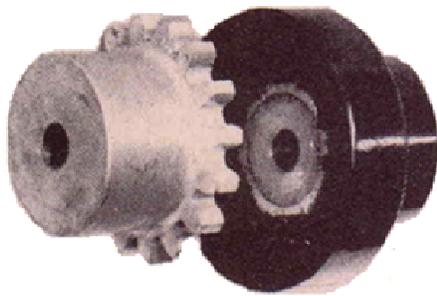
Gambar 12.21 a : Flexible Coupling precision pin and rubber ring-type



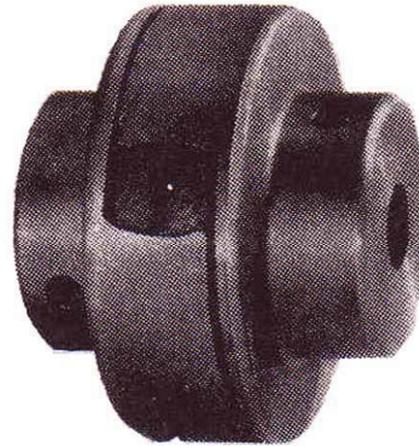
Gambar 12.21 b : Bagian-bagian FlexibleCoupling precision pin and rubber ring-type

Nominal rating dihitung dengan :

$$\text{Torque} = \frac{H.P \times 100 \times f}{R.P.M} \text{ Inch lbs.}$$



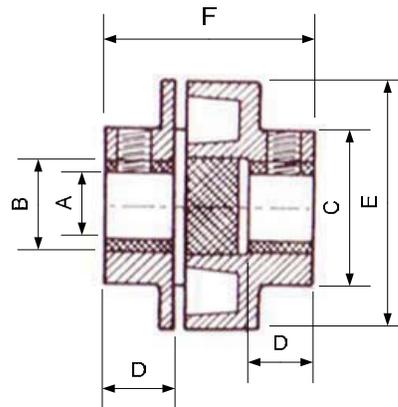
Gambar 12.22 : "Hercus-gear" Flexible Coupling



Gambar 12.23a : Flexible Coupling-Flexicross - type

"Hercus-gear" Flexible coupling ini dibuat dengan laminasi tekanan tinggi pada bush yang memiliki lobang dengan alur pasak standar dan telah digunakan secara luas diberbagai industri (Gambar 12.22)

Gambar 12.23a dan 12.23b merupakan salah satu jenis kopleng flexible dengan type-flexicross, komponennya terdiri atas setengah bagian dari badan yang masing-masing memiliki pembawa (*driving dog*) yang terpasang pada karet tahan oli (*Oil resisting rubber*) yang menyilang, dengan demikian beban akan ditransmisikan kesamping sehingga dapat meredam guncangan.



Gambar 12.23b : Bagian-bagian Flexible Coupling-Flexicross - type

Nilai Rating Nominal dari kopeling ini dapat dihitung :

$$Torque = \frac{H.P \times 100}{R.P.M} Inch lbs.$$

## F. Clutch (Clutch)

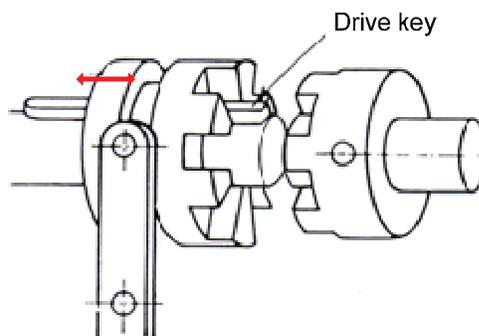
Clutch merupakan bagian dari komponen transmisi daya yang berfungsi sebagai pengatur hubungan antara sumber daya/penggerak (driver) ke pemakai atau bagian yang digerakkan (driven).

Dalam fungsinya sebagai pengatur gerakan kopling akan meneruskan, memutuskan atau menyesuaikan gerakan tersebut secara luwes dan flexible, oleh karena itu maka clutch dibuat dengan berbagai bentuk serta karakteristik dengan berbagai system kerja seperti electrical; mechanical; pneumatic atau hydraulic keadaan sumbu sejajar atau tidak sejajar yang dapat dipilih dan digunakan sesuai dengan kebutuhan dan kondisi pesawat kerja. Beberapa jenis clutch yang sering digunakan antara lain :

- a) Dog-tooth Clutch
- b) Universal joints
- c) Cone-type Clutch
- d) Expanding-type clutch
- e) Plate-type clutch
- f) Centrifugal clutch
- g) Magnetic Clutch dan
- h) Sprag Clutch

### 1. Dog-tooth Clutch

Dog-tooth Clutch memiliki gerakan positif hubungan antara poros ke poros dengan masing-masing poros ialah penggerak (driver) dan yang digerakkan (driven). Clutch ini memiliki konstruksi yang sederhana sehingga perawatannya relative sedikit, namun dalam operasinya motor harus dalam keadaan berhenti (tidak berputar). Lihat



Gambar 12.24 : Dog-tooth Clutch

gambar 12.24.

## 2. Universal Joints

Universal joint memiliki desain yang berbeda dengan jenis "dog-tooth" akan tetapi memiliki dasar dan prinsip kerja yang sama. Gb.12.25



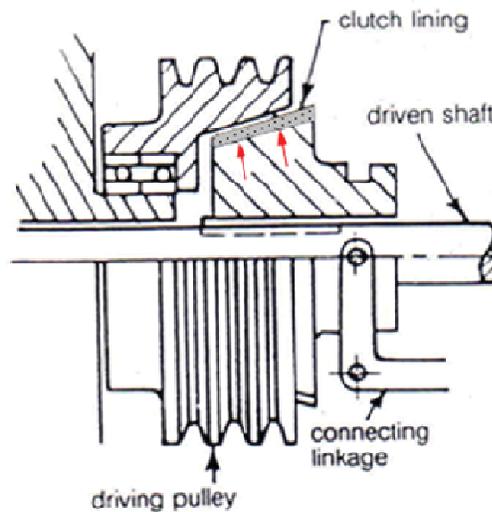
Gambar 12.25 : Universal Joints

Jika pemakaian hanya satu buah "joint" dibagian penggerak maka akan menghasilkan variasi sudut kecepatan akan dihasilkan pada satu putaran, dimana kecepatan dari driven shaft akan meningkat atau turun, oleh karena itu terpaksa harus menggunakan dua buah joint dimana salah satunya berfungsi sebagai pengarah apabila terjadi perubahan kecepatan dan lain-lain.

Dalam memposisikan kedudukan poros perlu diperhatikan bahwa poros pembawa (driver) dengan poros yang dibawa (driven) masing-masing harus memiliki sudut kemiringan yang sama. Untuk sudut kemiringan yang baik biasanya  $\pm 25^{\circ}$  karena jika sudut kemiringan mencapai  $45^{\circ}$  maka pemakaian Universal joints menjadi tidak efisien.

## 3. Cone-type Clutch

Clutch dengan type cone (konis) ini terdiri atas dua bagian yakni sepasang konis luar dan konis dalam dengan dimensi yang sesuai (fit). Pada konis bagian luar dilengkapi dengan lapisan asbes yang direkatkan, beberapa type menggunakan logam kontak. Pengoperasiannya menggunakan tuas yang menggeserkan konis luar ini sepanjang "Trust bearing" sebagai penggerak (driven).



Gambar 12.26 : one-type Clutch

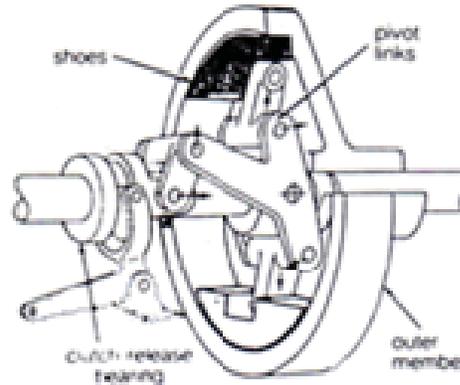
*Cone-type Clutch* biasanya hanya digunakan pada mesin tenaga yang hanya dioperasikan sewaktu-waktu. Clutch dari jenis ini

kurang luwes sehingga pemakaiannya tidak sesuai untuk pemakaian dengan frekuensi tinggi. Perawatannya dilakukan dalam serangkaian pemeriksaan kesesuaian antara konis luar dan konis dalam terutama jika diperlukan penggantian lapisan. Gambar 12.26

#### 4. Expanding-type clutch

Jenis clutch yang lainnya antara lain expanding-type clutch dimana salah satu poros dilengkapi dengan tromol (bore) dan poros yang lain dilengkapi dengan "Drive shoes" (lihat Gambar.12.27)

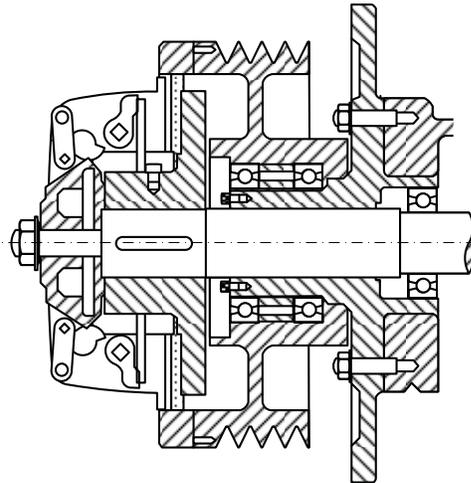
Pengoperasiannya menggunakan tuas untuk menggeser penarik mekanis dari "Drive shoes" melalui clutch release bearing



Gambar 12.27: Expanding-type clutch

#### 5. Plate-type Clutch

Clutch dari type plat ini paling banyak digunakan terutama pada clutch-kendaraan, mesin perkakas dan lain-lain. Jenis clutch yang digunakan pada mesin perkakas seperti diperlihatkan pada Gambar 12.28 adalah salah satu bentuk clutch plat yang digunakan pada sumbu utama dari salah satu jenis mesin bubut, namun dapat pula diterapkan pada clutch mesin-mesin yang lain.



Gambar 12.28 : Plate-type Clutch

Pada clutch plat ini terdapat dua jenis yakni kopling plat dengan hanya terdiri atas satu lembar plat (single plate), namun ada juga yang menggunakan beberapa buah plat (Multi-disk clutch).

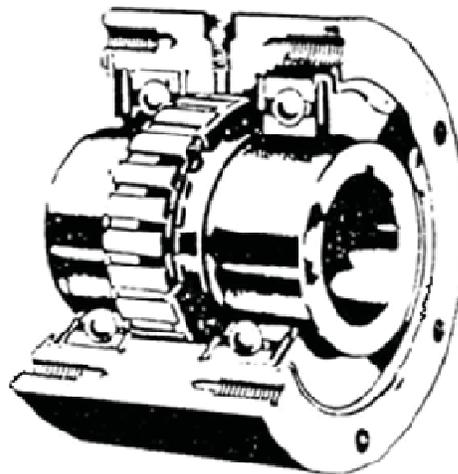
## 6. Magnetic Clutches

Clutch magnetic ini pemakaiannya semakin luas terutama pada clutch mesin perkakas, hal ini disebabkan karena bentuknya yang sederhana serta pengoperasiannya sangat mudah dan bahkan dengan rangkaian system control yang digabung dengan tombol “percepatan” maka clutch akan berfungsi secara otomatis.

Pengembangan pemakaian clutch ini terjadi dimana diperkenalkannya “*Bride diode*” yang merupakan aspek penting dalam pengoperasian clutch ini. Clutch magnetic ditempatkan pada posisi sliding gear dengan demikian maka pergantian kecepatan tidak diperlukan pemberhentian mesin. Clutch ini juga menggunakan elemen utamanya yakni plat friksi (Friction plate) dengan system plat ganda atau tunggal.

## 7. Sprag Clutches

Sprag Clutches digunakan hanya untuk menghantarkan daya putar dalam satu arah dan berhenti (Over-runs). Apabila putaran input berbalik arah atau jika output melebihi kecepatannya (over speed). Sprag Clutches terdapat dalam beberapa type antara lain *Cylindrical iner race*; *Cylindrical outer race* dan *energizing spring* namun pada prinsipnya Sprags atau penggalang memiliki bentuk dan ukurannya lebih besar dari lingkaran jarak antara *race* dan didudukan terkunci dengan pasak diantara *race* tersebut untuk menghantarkan putaran ketika berputar pada satu arah. Lihat gambar 12.29.



Gambar 12.29 : Sprag-type Clutch.

**G. System satuan yang digunakan dalam konversi energy menurut Standar Internasional (SI Units)**

1 meter	= 3,28	ft.
1 kg	= 2,205	Lb.
1 ton	= 1	Mg
	= 2205	Lb
	= 0,984	Long ton
	= 1,103	Short
1 <sup>0</sup> Celcius	= 273 <sup>0</sup>	<sup>0</sup> K (Kelvin)
n <sup>0</sup> Celcius	= 32 + 1,8. n <sup>0</sup>	<sup>0</sup> F (Fahrenheit)
1 radial	= 57,3	derajat suhu ( <sup>0</sup> )
1 Mole	= 6,02 x 10 <sup>26</sup>	molekul
1 m <sup>2</sup>	= 10,76 ft <sup>2</sup>	Luas
1 m <sup>3</sup>	= 10 <sup>3</sup> liter	Volume
	= 35,3 ft <sup>3</sup>	
	= 220 UK gl	
	= 264 US gl	
1 kg/m <sup>3</sup>	= 10 <sup>-3</sup> Mg/m <sup>3</sup>	Density
	= 0,0624 lb/ft <sup>3</sup>	
1 Kg/det m <sup>2</sup>	= 3600 kg/jam m <sup>2</sup>	Flux massa.
	= 738 Jam	
1 N (Newton)	= 1 kgm/det <sup>2</sup>	Gaya
	= 10 <sup>5</sup> dyne	
	= 0,2248 lbf.	
1 (P) Pascal	= 1 N/m <sup>2</sup>	Tekanan
	= 10 <sup>-5</sup> bar	
	= 1,45 x 10 <sup>-4</sup> pasi	
	= 0,785 ft lbf	
	= 9,84 x 10 <sup>-4</sup> BTU	
	= 2,78. 10 <sup>-7</sup> KW jam	
1 Watt	= kg/m <sup>2</sup> /det <sup>2</sup>	Energy
	= 10 <sup>7</sup> erg	
	= 0,239 kal	
	= 0,738 ft lbf.	
1 eV	= 0,1602 x 10 <sup>-18</sup>	Joule Electron Volt
1 Watt	= 1 J/det	Flux panas
	= 0,86 kkal/jam	
	= 1,341 x 10 <sup>-3</sup> dk	
	= 3,41 BTU/jam	
	= 1 kg m <sup>2</sup> /det	
1 W <sup>0</sup> K m <sup>2</sup>	= 0,176 BTU/ft <sup>2</sup> jam <sup>0</sup> F	Koefisien perpindahan panas
1 MJ/kg	= 26,8 BTU/ft <sup>3</sup>	Nilai kalor/kalor laten
	= 239 kkal/kg	
	= 430 BTU/lb	

1	J/kg <sup>0</sup> K	= 2,39 x 10 <sup>-4</sup> BTU/lb <sup>0</sup> K	Panas Jenis
1	N det/m <sup>2</sup>	= 1 Pa. det	Viscositas dinamik
		= 2420 lb/ft jam	
1	m <sup>2</sup> /det	= 3,88 x 10 <sup>4</sup> ft <sup>2</sup> /jam	Viscositas kinematis
1	N/m	= 10 <sup>3</sup> dyne/Cm	Tegangan permukaan

**Faktor kelipatan :**

Kilo	10 <sup>3</sup>	= K
Mega	10 <sup>6</sup>	= M
Giga	10 <sup>9</sup>	= G
Tera	10 <sup>12</sup>	= T
Peta	10 <sup>15</sup>	= P
Exsa	10 <sup>8</sup>	= E

**H. Power transmisi**

Power transmisi ialah aspek dari system transmisi yang digunakan sebagai penghantar energy dalam bentuk gerak putar terhadap elemen lain dalam kecepatan gerakan yang sama atau berbeda.

Untuk memperoleh gerak putar yang berbeda dari putaran poros yang diberikan oleh pemutar/penggerak (driver) dapat dihitung dengan formulasi sebagai berikut :

$$D \times R = d \times r$$

Dimana :

D, atau d = diameter flat pulley, atau diameter pitch dari V pulley, atau jumlah gigi pada roda gigi atau sprocket.

*Catatan :*

*Diameter luar Pulley dengan alur V dapat juga digunakan sebagai variabel*

R, atau r = Putaran per menit (rpm) dari poros.

Contoh :

Electric motor digunakan sebagai penggerak pompa piston, Electric motor sebagai sumber daya putar memiliki kecepatan putaran 1440 rpm. Sedangkan kecepatan putaran pompa diperlukan 400 rpm. dan untuk efisiensi Pulley berdiameter 100 mm dengan alur V digunakan sebagai elemen transmisi. Hitung ukuran diameter Pulley yang diperlukan untuk poros pompa.

Penyelesaian :

Jika perbandingan putaran dihitung berdasarkan ukuran pulley dengan formula :

$$\begin{aligned} D \times R &= d \times R \\ 100 \times 1440 &= d \times 400 \\ \frac{100 \times 1440}{400} &= d \\ \frac{1440}{4} &= 360 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi diameter pulley pada pompa (driven) = 360 mm.

### 1. Sabuk datar (Flat Belt)

Pemakaian plat belt tidak sebanyak pemakaian belt-belt yang lain, namun demikian pemakaiannya masih diperlukan, oleh karena itu berbagai hal tentang pemakaian plat belt ini perlu diperhatikan, antara lain :

- Plat belt (Sabuk datar) dengan bahan kulit, ukuran bahan kulit yang terbatas maka untuk pemakaiannya terpaksa harus dilakukan penyambungan, dan dalam pemakaiannya dimungkinkan akan terlepas yakni dibagian ujung sambungan sedangkan bagian yang berhubungan dengan permukaan pulley biasanya akan lebih tahan.
- Variasi alat penyambung yang kita gunakan harus diyakinkan bahwa penyambung itu tidak melebar keluar dari batas lebar sabuk (belt).
- Canvas yang dicetak pada karet merupakan salah satu jenis sabuk datar yang juga dapat digunakan sebagaimana pada sabuk dari bahan kulit.
- Plat belt (Sabuk datar) yang dibuat dari bahan cotton baik alam atau sintetis juga banyak digunakan terutama pada beban yang ringan dengan putaran yang smooth.

## 2. Pulley untuk sabuk datar

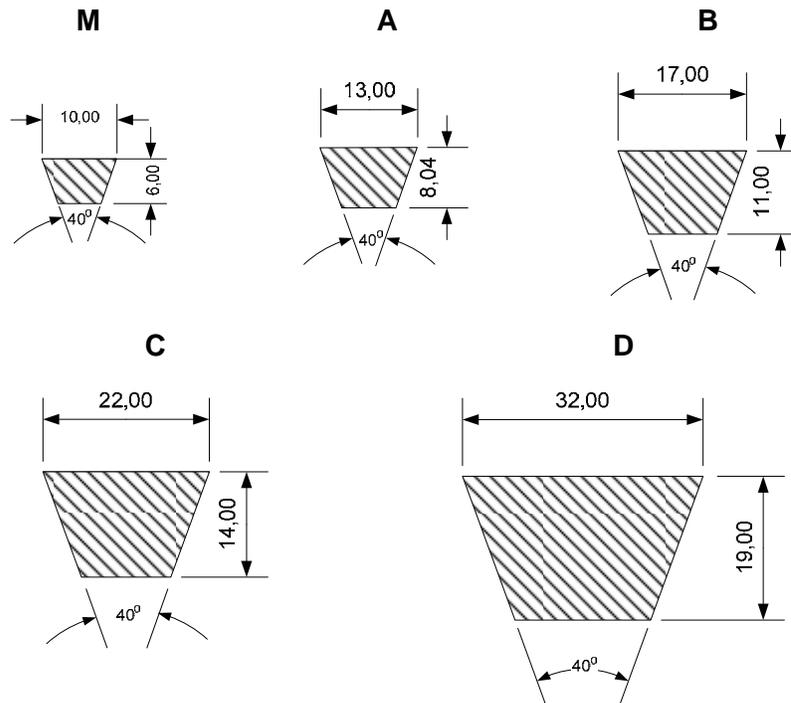
Pulley untuk sabuk datar dipasang pada kedua poros driver dan driver dengan posisi sumbu dari kedua poros. Pulley pemutar dan yang diputar harus memiliki permukaan yang sejajar.

Untuk pulley yang berdiameter besar harus dibentuk sedemikian rupa dengan mencekungkannya ke arah sumbu (Crowned) sebesar  $1,5^{\circ}$  –  $2^{\circ}$  sehingga belt akan tetap pada posisinya.

## 3. Sabuk “V” (“V” - Belt) - *adjustable Vee belting*.

Sabuk - “V” (“V” - Belt) dibuat dari bahan katun (cotton) yang dicetak dengan karet segingga cotton tersebut akan menjadi inti dari sabuk tersebut. Sabuk - “V” memiliki ukuran panjang tertentu, bentuk dan spesifikasi dimensinya telah distandarkan. Sabuk ini yang sekarang digunakan pada berbagai industry. Sistem penggerak dengan menggunakan sabuk yang lebih dari satu buah sabuk sebaiknya selalu di stel kesesuaiannya.

Ukuran sabuk yang dibuat dan diperdagangkan memiliki ukuran sabuk sebagaimana yang tercantum pada sabuk tersebut dalam bentuk code atau symbol-symbol, namun untuk profil dari sabuk yang berhubungan dengan lebar sabuk dapat dilihat pada gambar 12.30 berikut.



Gambar 12.30 : Standar dimensional untuk sabuk “V”.

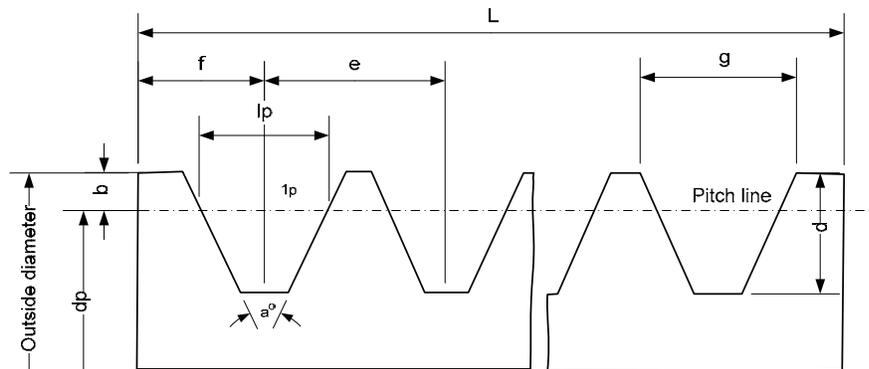
Contoh :

Sabuk dengan type-B tertulis B75 code 4, semua sabuk dengan code 4 ini akan sesuai dan dapat mentransmisikan daya yang diberikan, type B75 ini hanya menunjukkan panjang sabuk itu sendiri.

Sabuk V dibuat dalam 5 bagian seperti diperlihatkan pada Gambar dan tersedia dengan ukuran panjang dari 200 mm hingga 15200 mm direkomendasikan pula untuk pemakaian pulley yang berdiameter kecil sampai 20 mm harus menggunakan sabuk yang kecil yakni dari type M dan dapat mentransmisikan daya sebesar 0,02 kW pada putaran 1440 rpm. sedangkan untuk ukuran pulley yang kecil sebesar diameter 335 mm dapat menggunakan sabuk dari type D dan dapat mentransmisikan daya sebesar 21,22 kW dengan kecepatan yang sama.

#### 4. Alur V pada pulley

Alur V pada pulley dimana akan didudukan sabuk V harus dikerjakan dengan hati-hati pada mesin perkakas, kebenaran bentuk serta ukuran dari alur V serta ukuran diameter lubang harus tepat. untuk pulle yang menggunakan alur V lebih dari satu maka alur-alur tersebut harus seragam sehingga masing-masing sabuk akan bekerja secara merata. Kesalahan bentuk dari alur V pada pulley akan mengakibatkan penurunan umur pakai dari sabuk itu sendiri serta akan mereduksi daya yang akan ditransmisikan. Gambar 12.31



Gambar 12.31 : Dimensional alur V pada pulley

Catatan :

Jarak L maximum antara sisi luar pulley

Contoh : lebar permukaan =  $(x-1)e + 2f$  Dimana x = jumlah alur V

**Tabel 12.1** : Dimensi Standar Alur V pada pulley.

Groove Cross-section symbol	Diameter pitch pulley (dp)	Sudut alur (a)	Lebar puncak alur minimum (g)	Kedalaman alur minimum dibawah OD(d)	Jarak antara sumbu alur (e)*	Jarak sisi pulley pada alur** pertama(f)	Jarak minimum dari OD ked p (b)	Lebar alur pitch (lp)
	(mm)	( <sup>o</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
A	75 (Minimum), < 125	34±0,5	12,0	12	15±0,3	10,+2 -1	3,3	11
	≥ 125	38±0,5	12,3					
B	125 minimum, < 200	34±0,5	16,6	15	19±0,4	12,5,+2 -1	4,2	14
	≥ 200	38±0,5	16,9					
C	200 minimum, < 300	36±0,5	22,7	20	25,5±0,5	17,+2 -1	5,7	19
	≥ 300	38±0,5	22,9					
D	355 minimum, < 500	36±0,5	32,3	28	37±0,6	24,+2 -1	8,1	27
	≥ 500	38±0,5	32,6					

Keterangan :

\*Apakah jarak antara sumbu dari kedua alur yang digunakan berurutan atau tidak.

\*\*Toleransi pada dimensi yang harus diperhitungkan pada kelurusan pulley

## 5. Merakit penggerak

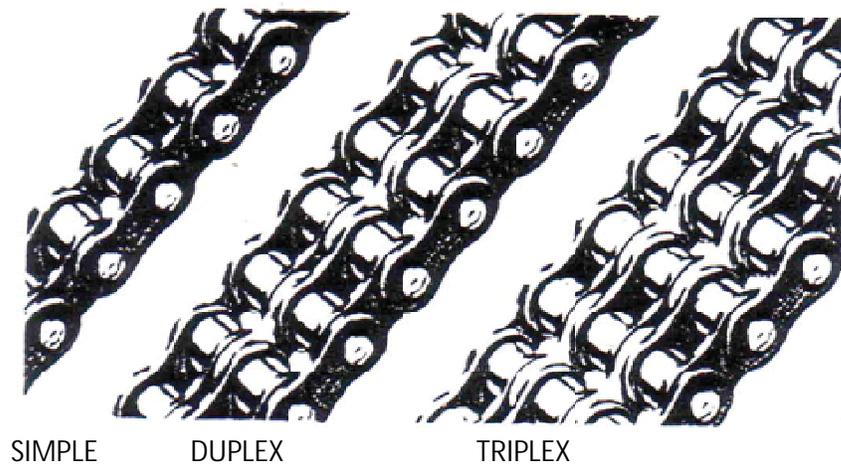
Proses perakitan pulley penggerak harus dilakukan secara cermat dan dipastikan bahwa pulley dalam keadaan sejajar, tempatkan sabuk V yang akan digunakan pada alur dalam keadaan longgar, tekan sabuk kedalam alur sekeliling pulley sebelum distel ketegangannya (*tensioning*).

## 6. Sistem transmisi mekanik dengan menggunakan rantai

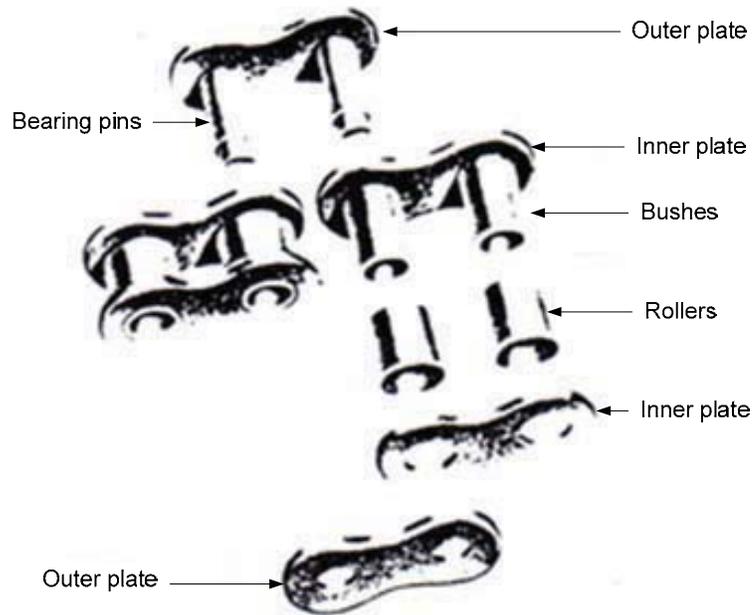
### a) Roller chains

Precision steel roller chain merupakan salah satu system transmisi daya mekanik yang efisien dan serbaguna, oleh karena itu pemakaiannya sangat luas dan diterapkan diberbagai industry serta tersedia dalam berberapa type serta ukuran yang dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan. Lihat Gambar 12.31

Precision steel roller chain terdiri atas susunan "*jurnal bearing*" yang berkaitan satu sama lainnya plat penjepit (penghubung) atau "*constraining plates*". Masing-masing bearing terdiri atas bearing pin dan bush dimana chain roller berputar. (Lihat Gambar 12.33).



Gambar 12.32 : 3 Jenis Precision steel roller chains  
Simple; Duplex dan Triplex

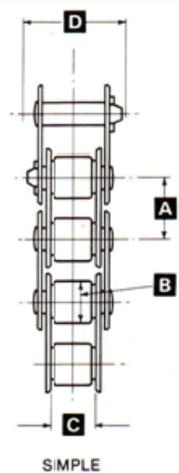


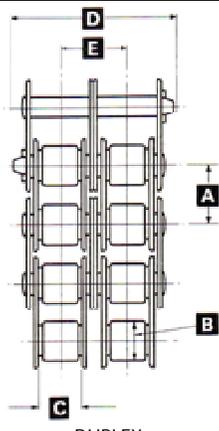
Gambar 12.33 : Komponen-komponen dari roller chain

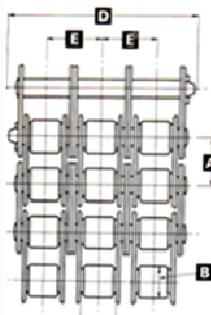
### 7. Standarisasi dimensional roller chains

Ukuran rantai (roller chains) ditentukan oleh jarak ukur “pitch”-nya yakni jarak ukur antara sumbu bearing pin yang berdekatan, diameter roller serta ukuran jarak lebar antara inner plates. Bagian dari dimensi ini dapat dilihat pada table berikut.

**Tabel 12.2 : Standarisasi roller chain**

Chain No.	Pitch	Roller Dia.	Jarak antara Inner plate	Chain track	Breaking load	Weight	Technical literature
	A(Inc.)	B(Inc.)	C(Inc.)	D(Inc.)	lb	Lb/ft	
110500	0,315	0,197	0,118	0,45	1,000	0,11	 <p style="text-align: center;">SIMPLE</p>
110038	0,375	0,250	0,225	0,65	2,000	0,26	
111044	0,5	0,305	0,120	0,52	2,000	0,204	
111046	0,5	0,305	0,192	0,60	2,000	0,234	
110046	0,5	0,335	0,305	0,85	4,000	0,46	
110056	0,625	0,400	0,380	0,95	5,000	0,57	
110066	0,75	0,475	0,460	1,05	6,000	0,78	
110088	1,0	0,625	0,670	1,62	10,000	1,82	
110106	1,25	0,75	0,770	1,86	14,000	2,49	
110127	1,5	1,00	1,00	2,76	24,000	5,50	
110147	1,75	1,10	1,22	3,22	29,000	4,55	
110166	2,0	1,15	1,22	3,28	38,000	6,20	
110206	2,5	1,55	1,50	4,00	60,000	10,40	
110245	3,0	1,90	1,80	4,90	90,000	16,60	
110281	3,5	2,125	2,10	5,60	120,000	22,30	
110325	4,0	2,50	2,40	6,10	160,000	32,00	
110366	4,5	2,85	2,70	7,10	225,000	40,00	

Chain No.	Pitch	Roller Dia.	Jarak antara Inner plate	Chain track	Transverse pitch	Breaking load	Weight	Technical literature	
	A(Inc.)	B(Inc.)	C(Inc.)	D(Inc.)	E(Inc.)	lb	Lb/ft		
114,500	0,315	0,197	0,118	0,70	0,222	1,750	0,21	 <p style="text-align: center;">DUPLEX</p>	
114,038	0,375	0,250	0,225	1,10	0,403	3,900	0,50		
114,046	0,5	0,335	0,305	1,40	0,548	7,000	0,90		
114,056	0,625	0,400	0,380	1,60	0,653	10,000	1,14		
114,066	0,75	0,475	0,460	1,80	0,766	12,000	1,55		
114,088	1,0	0,625	0,670	3,00	1,225	20,000	3,64		
114,106	1,25	0,75	0,770	3,48	1,435	29,000	4,98		
114,127	1,5	1,00	1,00	4,66	1,904	46,000	9,23		
114,147	1,75	1,10	1,22	5,56	2,345	58,000	11,30		
114,166	2,0	1,15	1,22	5,58	2,305	76,000	12,40		
114,206	2,5	1,55	1,50	6,86	2,846	120,000	21,20		
114,245	3,0	1,90	1,80	8,50	3,591	180,000	33,60		
114,281	3,5	2,125	2,10	9,80	4,197	250,000	45,40		
114,325	4,0	2,50	2,40	10,85	4,720	320,000	64,00		

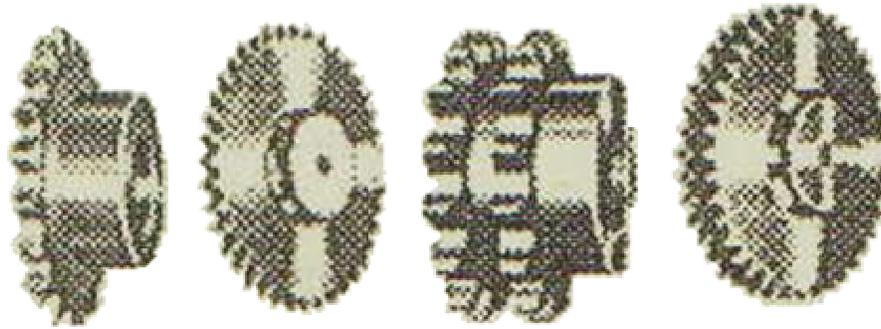
Chain No.	Pitch	Roller Dia.	Jarak antara Inner plate	Chain track	Transverse pitch	Breaking load	Weight	Technical literature
	A(Inc.)	B(Inc.)	C(Inc.)	D(Inc.)	E(Inc.)	lb	Lb/ft	
1160388	0,375	0,250	0,225	1,50	0,403	5,600	0,74	 <p>TRIPLEX</p>
1160466	0,5	0,335	0,305	1,95	0,548	10,000	1,34	
1160666	0,75	0,475	0,460	2,60	0,766	19,500	2,32	
1160888	1,0	0,625	0,670	4,12	1,255	30,000	5,46	
1161066	1,25	0,75	0,770	4,74	1,435	43,500	7,47	
1161277	1,5	1,00	1,00	6,56	1,904	69,000	12,95	
1161477	1,75	1,10	1,22	7,92	2,345	87,000	17,05	
1161666	2,0	1,15	1,22	7,90	2,305	114,000	18,60	
1162066	2,5	1,55	1,50	9,70	2,846	180,000	32,00	
1162455	3,0	1,90	1,80	12,10	3,591	270,000	50,70	

b) Sprocket

Sprocket ialah elemen transmisi dengan system rantai (chain) dalam bentuk roda gigi yang berpasangan sesuai dengan dimensional rantai (chain) yang digunakan, profilnya memiliki bentuk yang berbeda dari roda gigi biasanya seperti roda gigi lurus, helix dan lain-lain. Gambar 12.34 berikut memperlihatkan salah satu bentuk sprocket, serta pada Gambar merupakan berbagai bentuk dan dimensi sprocket.



Gambar 12.34 : Sprocket komponen dari roller chain



Gambar 12.35 : Sprocket komponen dari roller chain

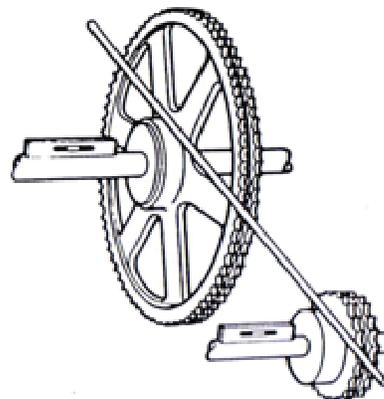
Sprocket biasanya dibuat dengan bentuk profil dan kesesuaiannya dengan bentuk dan ukuran rantai itu sendiri, namun sprocket memiliki jumlah gigi yang selalu ganjil, misalnya 19; 21; 23; 25 dan seterusnya. Untuk menghasilkan apa yang disebut "*Hunting tooth*" rantai harus berpindah secara cepat sebelum suatu gigi sprocket berhubungan dengan suatu roll sehingga dengan demikian beban akan terdistribusi secara merata pada rantai tersebut. Gambar 12.35

#### c) Pemasangan dan perawatan

Bergantung kepada jenis dan kecepatan gerak dalam pemakaian rantai dapat dilakukan secara terbuka atau tertutup sama sekali, pelumasan dapat diberikan dengan cara tetesan atau kubangan. Pemeliharaan system transmisi rantai dengan kondisi pemakaian secara terbuka, rantai biasanya dibenamkan/direndam didalam kubangan oli selama satu malam, dengan demikian maka lapisan pelumas yang mengendap didalam pin atau *bushes* akan terlepas.

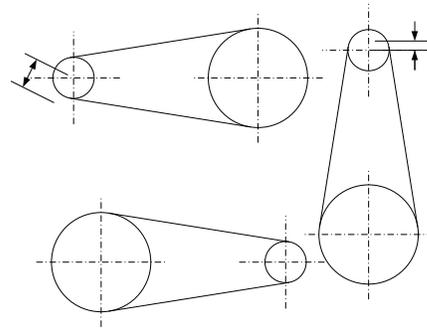
Untuk pemasangan harus diyakinkan terlebih dahulu bagian lain yang mendukung system transmisi ini, misalnya kedudukan poros berada pada posisi sejajar antara driver shaft dengan driven shaft-nya serta duduk dengan stabil.

Akurasi kesejajaran poros dan permukaan roda gigi (sprocket) akan menentukan pendistribusian beban secara penuh dan akan berpengaruh terhadap pemakaian maximum dari transmisi ini. Gambar 12.36.



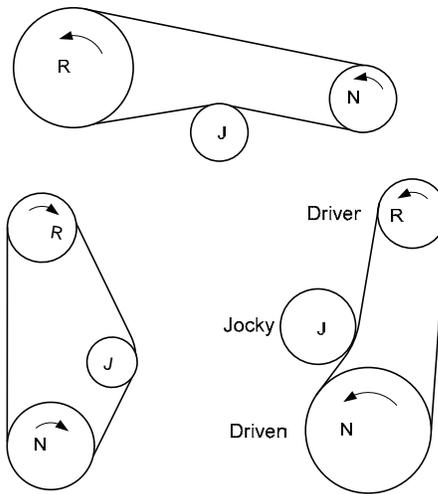
Gambar 12.36 : Kesejajaran Permukaan sprocket terhadap porosnya.

Penyetelan ketegangan pada rantai akan mempengaruhi kepada umur pakai dari transmisi ini, oleh karena itu pemeriksaan dan penyetelan ketegangan rantai ini perlu untuk diperhatikan. Beberapa instalasi system transmisi rantai ini distel ketegangannya dengan cara menggeser salah satu poros Lihat gambar 12.37.



Gambar 12.37 : Penyetelan dengan pergeseran poros

Namun apabila penyetelan dengan cara menggeser salah satu poros tidak memungkinkan maka dapat juga dilakukan dengan menambah sebuah sprocket diantara kedua sprocket (Driver dan Driven) yakni sprocket yang disebut sebagai *adjustable idler wheel*. Lihat gambar 12.38..



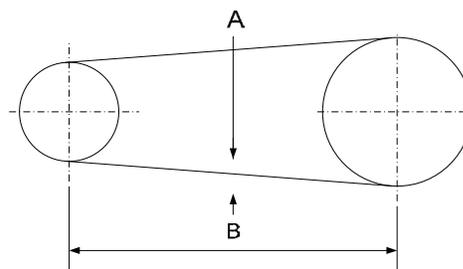
Gambar 12.38: Penyetelan dengan Idler

Ukuran idler secara umum memiliki jumlah gigi yang sama dengan jumlah gigi pinion agar tidak terjadi kecepatan putaran yang berlebihan, biasanya ditentukan paling sedikit 3 gigi dari idler sprocket yang kontak dengan rantai. Penyetelan ketegangan dilakukan sebagaimana biasa, dengan diberikan jarak kelonggaran yang memadai yakni sejarak pertengahan A, Gambar 12.39.

dimana :

A = Total gerakan

B = Jarak antara sumbu horizontal



Gambar 12.39 : Perhitungan jarak kelonggaran

Maka jarak A dapat dihitung dengan :

$$\text{Jarak total gerakan} = \frac{\text{Jarak sumbu horizontal (mm)}}{K}$$

Atau :

$$A = \frac{B}{K} \quad (\text{mm})$$

Dimana :

K = adalah nilai tetapan dengan ketentuan :

K = 25 untuk putaran halus (*smooth*)

K = 50 untuk putaran kasar (*shock drives*)

Contoh :

Lakukan penyetelan ketegangan rantai pada transmisi sepeda motor jika jarak antara sumbu roda belakang terhadap gear pemutar diketahui adalah 500 mm. dan berapakah total kelonggaran yang dibolehkan.

Perhitungan :

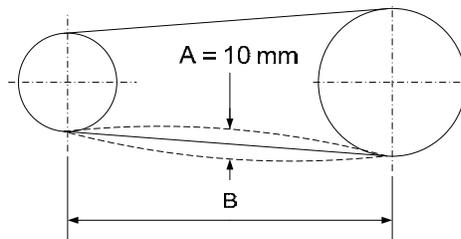
Gerakan putaran pada sepeda motor dapat dikategorikan sebagai putaran kasar sehingga nilai konstanta (K) ditentukan sebesar 50,

maka jika :

$$A = \frac{B}{K} \quad (\text{mm})$$

$$A = \frac{500}{50} \quad (\text{mm})$$

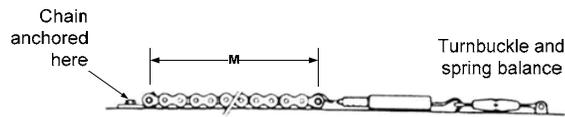
$$A = 10 \quad (\text{mm})$$



Gambar 12.40: Jarak kelonggaran (A) mm.

d) Ukuran rantai transmisi

Pengukuran rantai dapat dilakukan secara langsung dan merupakan hubungan dalam penentuan kelebihan panjang, untuk menentukan hal ini maka diperlukan pengukuran dengan langkah sebagai berikut :



Gambar 12.41 : Pengukuran rantai (Chain)

- Bentangkan rantai yang telah terlepas sambungannya diatas plat datar yang dilengkapi dengan pengait serta penarik pegas penyeimbang (lihat gambar12.41).
- Dengan menggunakan turnbuckle berikan penegangan dengan :

$$P^2 \times 0,079 \text{ kg untuk simple Chain}$$

$$P^2 \times 0,158 \text{ kg untuk duplex Chain}$$

$$P^2 \times 0,237 \text{ kg untuk Triplex Chain}$$

$$P = \text{Pitch. (lihat table)}$$

Dengan demikian maka jarak ukur (Pitch) dari rantai akan diketahui yaitu batas beban (*breaking load*) dikali dengan Pitch, penerapan ukuran beban itu sama dengan "Short-Pitch" dari rantai tersebut.

Sebagai alternative dari penggunaan *Turnbuckle* dan *spring balance* dapat juga digunakan pemberat tentunya dengan salah satu ujung rantai diposisikan lebih rendah dari ujung yang lainnya.

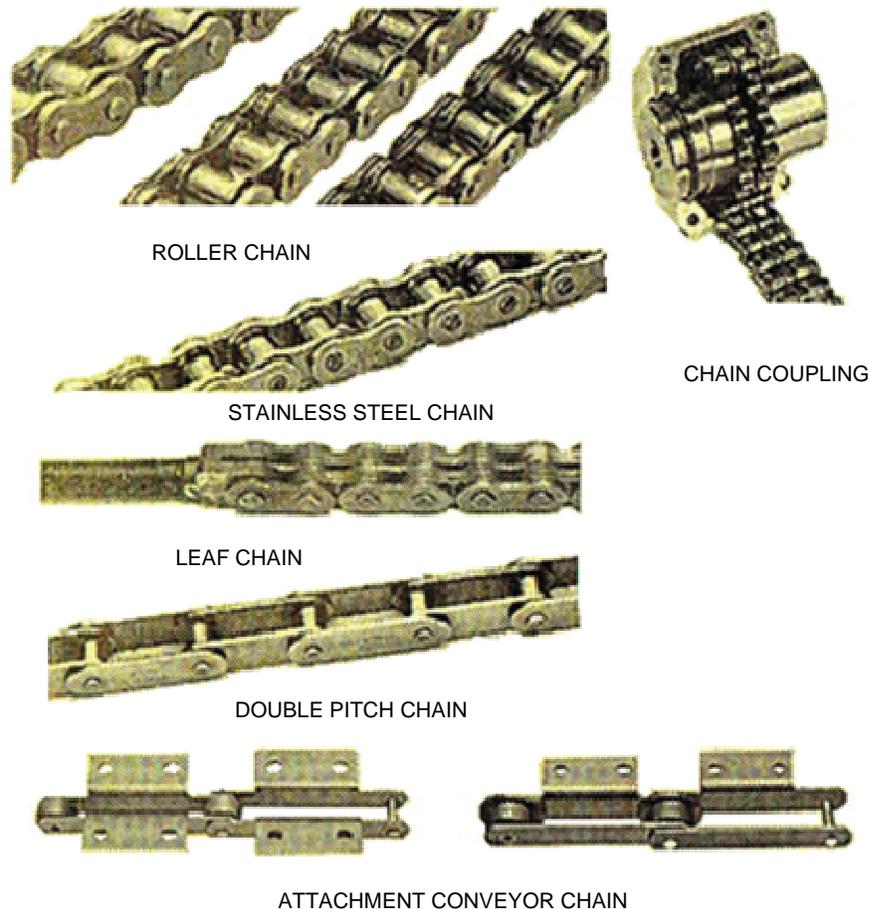
- Pengukuran panjang M (lihat gambar 12.41) dalam millimeter dari dimana prosentase perpanjangan yang diinginkan dalam pemakaian, dan dapat dihitung dengan formula sebagai berikut :

$$\text{Percentage extension} = \frac{M - (X \times P)}{X \times P} \times 100$$

$$X = \text{Harga ukur Pitch}$$

Ketentuan umum kedaan ujung rantai dan rantai dapat dipasang kembali ialah apabila perpanjangan mencapai 2 %(dalam kasus ini rantai terlalu panjang sebesar 1%). Untuk gerak dengan tanpa syarat penyetulan batas kesalahannya lebih rendah tergantung pada kecepatan dan konstruksinya.

Rantai ini juga dibuat dengan bentuk dan konfigurasi yang berbeda sesuai dengan kebutuhannya. Lihat gambar 12.42.



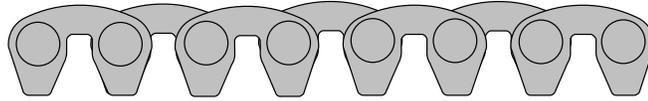
Gambar 12.42 : Berbagai jenis dan karakteristik rantai (chains)

## 8. Silent Chains and Toothed belt

### a. Silent Chains

Disamping rantai-rantai yang telah dibahas pada uraian tadi terdapat juga jenis rantai yang berbentuk rack yang dapat melilit pada roda gigi, setiap mata rantai berhubungan dengan satu sisi dan bila disusun bersama akan menyerupai sabuk bergigi. Didalam pusat rantai terdapat mata rantai dengan bentuk datar dan akan menempati alur dari roda gigi.

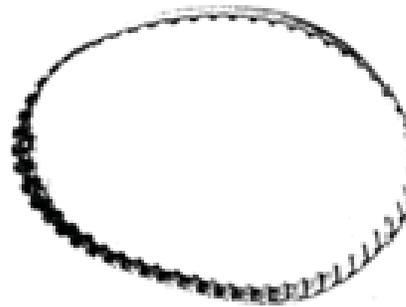
Bentuk gigi dari roda gigi dan rantai adalah evolvente sehingga jika rantai ini dan roda gigi ini berpasangan, rantai akan melingkar dan memberikan gerakan "silent". Lihat gambar 12.43.



Gambar 12.43 : Silent chains

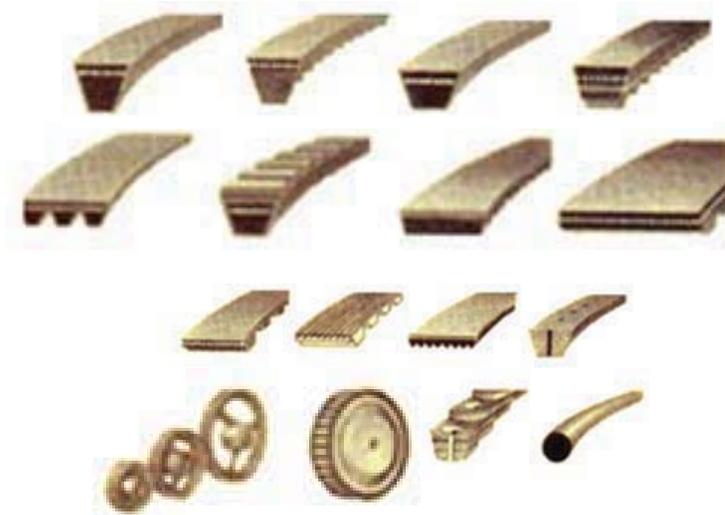
b. *Toothed belt*

Belt (sabuk) ini merupakan pengembangan dari "Silent Chain" dan pada beberapa instalasi telah berganti dari Silent Chain kesabuk jenis ini, sabuk dengan gigi dibagian dalamnya dan dibuat dari karet sintetis dengan lapisan baja dibagian intinya. Bentuk serta ukurannya dibuat berdasarkan standar, sifatnya yang lembut menjadikan sabuk ini lebih banyak digunakan pada system transmisi. Gambar 12.44



Gambar 12.44 : *Toothed belt*

Gambar 14.45 berikut memperlihatkan berbagai profil dari sabuk yang diperdagangkan .



Gambar 12.45 : Berbagai jenis dan bentuk profil yang diperdagangkan.

**Rangkuman :**

Pesawat kerja merupakan suatu sistem yang terdiri atas berbagai elemen yang berfungsi sebagai pengubah energy dari sumber daya menjadi sistem kerja mekanik menjadi energy yang berguna (energy mekanik)

System pesawat kerja merupakan rangkaian dari elemen-elemen yang terdiri atas : unit tenaga (power pack), sistem kendali (unit control), sistem transmisi (transmission system) dan elemen kerja (working elemen)

Konversi energi ialah perubahan bentuk energi dari sumber energi kedalam bentuk lain yang tidak mengakibatkan terjadinya perubahan nilai/kapasitas dari energy tersebut.

System Transmisi berfungsi sebagai penghantar daya dan pengatur pembebanan terhadap sumber daya dari energy yang tersedia dan dengan demikian energy akan digunakan secara efisien.

Clutch merupakan bagian dari komponen transmisi daya yang berfungsi sebagai pengatur hubungan antara sumber daya/penggerak (driver) kepemakaian.

**Soal-soal :**

1. Sebutkan 4 komponen utama dari pesawat kerja !
2. Berikan beberapa contoh pesawat kerja dan jelaskan masing-masing komponennya ?
3. Apakah yang dikategorikan sebagai unit tenaga pada PLTU ?
4. Apakah yang dikategorikan sebagai system transmisi dari pesawat pembangkit listrik ?
5. Apakah perbedaan antara kopeling dan clutch ?



## BAB XIII

### KESELAMATAN KERJA

#### A. Kebijakan pemerintah dalam penerapan Keselamatan dan Kesehatan kerja (K3)- tahun 2008.

Ditengah kompetisi usaha yang berat alasan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) telah menjadi bagian dari pencapaian kinerja perusahaan, oleh sebab itu upaya pemerintah melalui Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi untuk menekan angka kecelakaan kerja hingga 50 % bukan hanya basa-basi dan dilakukan dengan mensinergikannya pada semua institusi terkait.

Tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) ini diakui pula oleh semua kalangan pengusaha, bahwa apapun masalah keselamatan dan kesehatan kerja telah menjadi masalah tersendiri bagi produktifitas perusahaan, karena baik sosial maupun ekonomi akibat dari kecelakaan kerja perusahaan itu harus menanggung dampaknya. Untuk itu asosiasi Pengusaha Indonesia yang tergabung didalam APINDO secara terus-menerus mengkapanyekan “*Zerro Accident*” kepada semua perusahaan, karena bagaimanapun K3 itu sangat penting serta harus selalu disosialisasikan terutama kepada perusahaan-perusahaan kecil dan menengah karena mereka ini relative tidak memiliki kemampuan untuk menerapkan K3 secara baik, karena jika telah terjadi kecelakaan maka akibatnya perusahaan itu harus membayar mahal. Oleh karena itu penerapan K3 secara benar adalah merupakan tindakan preventif yang paling tepat.

Dengan demikian maka penting sekali artinya membangun kepedulian bersama untuk membudayakan K3 antara Serikat Pekerja, Perusahaan serta Pemerintah. Dalam hal ini Pemerintah akan merepitalisasi berbagai hal yang berkaitan dengan K3 ini, dengan demikian target menekan angka kecelakaan kerja sebesar 50 % itu dapat tercapai. Karena kecelakaan kerja menjadi beban tersendiri terutama bagi keluarga korban tersebut.

Peningkatan kualitas tenaga kerja itu sendiri menjadi perhatian pemerintah, karena lemahnya mutu tenaga kerja itu sendiri merupakan salah satu factor penyebab terjadinya kecelakaan, dengan demikian produktifitas kerja juga akan meningkat termasuk juga kesejahteraan para pekerja itu sendiri.

Undang-undang nomor 1 tahun 1970 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja yang hingga saat ini amanat dari Undang-

undang tersebut masih belum optimal dengan berbagai kendala, oleh sebab itu wajar jika kecelakaan kerja itu masih terus rentan terjadi.

Dikemukakan oleh menteri Tenaga Kerja dan transmigrasi bahwa :

*“Minimnya tingkat pemahaman dan kesadaran soal K3 di tingkat pelaku usaha serta tuntutan dasar pekerja, sering mengalahkan kebutuhan tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja, akibatnya tingkat kecelakaan dilingkungan kerja masih menjadi trauma Nasional, oleh karena itu diperlukan adanya repitalisasi secara menyeluruh dan pembudayaan K3 secara masal”.*

Upaya selanjutnya pemerintah akan bekerja sama dengan asosiasi-asosiasi sector, baik sector pelaksana misalnya Asosiasi Jasa Konstruksi, maupun sector perencana agar perencanaan ini juga memenuhi standar minimum Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), membentuk satuan tugas (SATGAS K3), seperti juga untuk pengawasan gedung-gedung diperlukan SATGAS khusus baik pengetahuan maupun keterampilannya juga personilnya agar dipenuhi syarat minimum K3 tersebut dan akan dikeluarkan dukungan hukum, serta akan melakukan “sidak-sidak” khususnya daerah-daerah padat karya untuk memperoleh informasi tentang *low-enforcement* dalam pelaksanaan peraturan-peraturan yang ada, karena sedemikian pentingnya Keselamatan dan Kesehatan kerja, demikian Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Erman Suparno. Lebih lanjut Menteri juga mengatakan bahwa kecelakaan kerja itu sebesar lebih dari 60 % kecelakaan itu terjadi di jalan raya, oleh karena itu perlu juga dilakukan kerja sama dengan pihak-pihak terkait seperti dinas perhubungan dan kepolisian.

Pada tahun 2008 ini pemerintah akan berupaya memperhatikan keselamatan dan kesehatan kerja, berbagai aksi pemerintah telah disiapkan dengan partisipasi pelaku usaha dan serikat pekerja, kepedulian pihak terkait itu begitu penting karena dapat menemukan suasana yang nyaman dan aman bagi sebuah kelanjutan usaha dan investasi.

Untuk itu diperlukan kerja sama antara Asosiasi pengusaha, Serikat Pekerja serta Pemerintah Daerah.

Rentetan kecelakaan dilingkungan kerja sudah sepatutnya menjadi perhatian bersama, karena apapun juga akan membawa beban sosial dan ekonomi.

Pembentukan SATGAS K3 ini akan dibentuk dimasing-masing unit organisasi perusahaan. Hal ini juga akan memberikan keuntungan

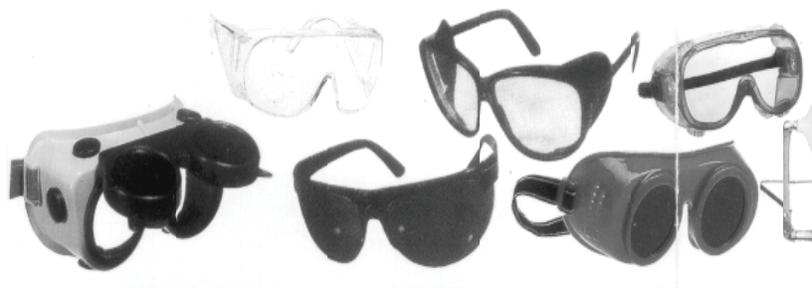
bagi pekerja dimana akan terlindungi Kesehatan dan Keselamatan serta kesejahteraan, dan bagi perusahaan juga akan memberikan keuntungan dengan memiliki tenaga kerja yang selalu eksis dan produktif serta tidak terjadi “stag” produksi yang dapat mengakibatkan kerugian bagi perusahaan tersebut.

*“Undang-undang yang berlaku sekarang ini ialah undang-undang tahun '50 dan dipandang relative tidak sesuai lagi, termasuk sangsi hukumnya, Lingkungan kerja menjadi factor utama dalam meningkatkan kualitas dan produktifitas perusahaan”,*demikian Menteri Tenaga Kerja menegaskan.

Menteri juga menambahkan bahwa : *“Dengan perbaikan kondisi hubungan industry maka hubungan antara pekerja dan pengusaha akan semakin kondusif dan tidak saling membebankan karena apapun Kecelakaan kerja akan membawa beban bagi semua pihak, bahkan kerugian yang diderita akan melebihi ongkos pelaksanaan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)”*

## **B. Keselamatan ditempat kerja**

Pengalaman menunjukkan bahwa keselamatan kerja diukur oleh tingkat kehati-hatian pekerja. Oleh karena itu hal ini merupakan tugas pekerja untuk menampilkan sikap dan ferforma kerja yang aman serta selalu menyadari keamanan bagi sesama pekerja. Selain dari hal-hal yang disebutkan perlengkapan keselamatan kerja hendaknya dipersiapkan sedemikian rupa, khususnya keselamatan manusia sebagai pekerja itu sendiri. Kita lihat pada gambar 13.1 sampai dengan gambar 13.7 *Berbagai macam alat perlindungan* sebagai bagian dari system keselamatan kerja.



**Gambar 13.1** Macam-macam jenis kaca mata pengaman



**Gambar 13.2** Masker



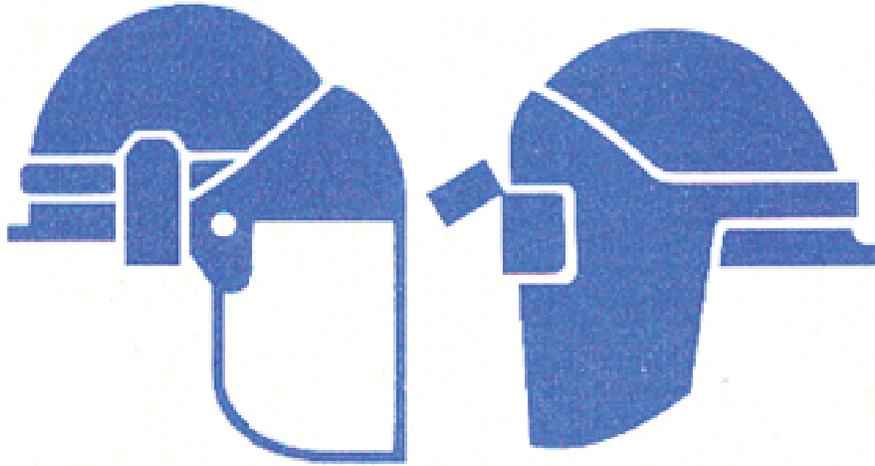
**Gambar 13.3** Sarung tangan kulit



**Gambar 13.4** Penutup telinga

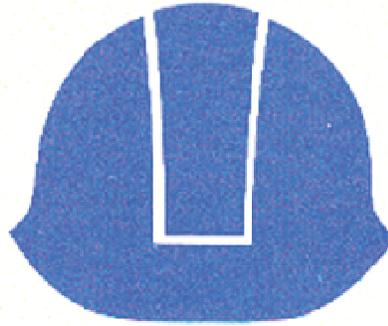


**Gambar 13.5** Safety Shoes



**Gambar 13.6** Helmet dengan kaca bening





**Gambar 13.7** Safety helmet



**Gambar 13.8**



**Gambar 13.9**

*Aman (Safety)* untuk keamanan dan keselamatan kerja “**safety**” yang hanya terdiri atas enam huruf yang memiliki arti luas dari setiap hurufnya, yakni **S**ound *tinking conserning safety on the job*; selalu perhatian terhadap keselamatan dalam bekerja, **a**lert *to danger*, terdapat tanda bahaya, **A**cquiring *fact or instructional concerning the entire sequence of operations*; Memperoleh fakta atau instruksi dan perhatian untuk semua pelaksanaan pekerjaan **e**fficiency *in carefully performing the work*; efisiensi dalam penampilan kerja , **t**houghtfulness *for the safety of your group* ; Memperhatikan keselamatan dalam kelompok kerja, **and** *you and your own protection at your Job*; Anda milik anda dan lindungi dalam pekerjaan anda. Logam cair dalam jarak tertentu dapat membakar kulit karena sinarnya, apalagi berhubungan langsung. Seperti diperlihatkan pada gambar pakaian tahan api harus digunakan pada saat melebur atau menuang, agar kulit kita tidak terbakar oleh penyinaran logam cair ataupun oleh percikannya, gunakan pelindung panas yang terdiri dari pelindung muka, pelindung badan, pelindung kaki dan sarung tangan khusus.

### **C. Kecelakaan (Accident)**

Melihat lebih jauh tentang kecelakaan pada berbagai Industri dan dalam penanganan metrial, jumlah kecelakaan yang menyebabkan luka-luka dan mati selalu ditemukan pada setiap tahunnya, demikian pula kerusakan serius pada mesin juga meningkat. Hal ini mungkin sebagian disebabkan oleh peningkatan

mekanisasi dan kompleksitas permesinan moderen, tetapi ini hanya sebagai alasan, tidak dapat menghindari jumlah dan kehebatan dari kecelakaan industri yang terus meningkat. Kecelakaan dibidang industri yang tidak dipublikasikan seperti kecelakaan lalu-lintas atau mungkin kecelakaan kecil namun berakibat fatal, yang menyebabkan kerugian bagi masyarakat seperti akomodasi rumah sakit, tanggung jawab dan penderitaan pribadi serta gagalnya kelengkapan dan kerugian produksi (loss of production).

#### **D. Penyebab kecelakaan**

Hingga 80% semua kecelakaan secara langsung disebabkan oleh kesalahan manusia (Human error), hanya sedikit saja disebabkan oleh salahnya kelengkapan. Kesalahan alat dan kelengkapan sering dijadikan dasar dalam menemukan penyebab kecelakaan dan kemudian pada kesalahan manusia. Sebagai contoh; kurangnya perawatan atau lambatnya pemeriksaan pada kelengkapan peralatan, ketidak benaran dalam penempatan bagian yang membahayakan, ternyata praktis merupakan kelalaian dan kesalahan kerja manusia itu sendiri.

#### **E. Pencegahan terhadap kecelakaan**

Sejak beberapa tahun terdapat peraturan, standar serta kode secara praktis dan spesifik minimum merancang persyaratan manufactur serta pemakaian mesin dan roda gigi pengangkat. Aturan ini nampak dapat mengurangi angka kecelakaan terutama yang disebabkan oleh kesalahan peralatan.

##### **Keselamatan diri (*Personal safety*)**

- ***Mata***

Mata merupakan organ manusia yang sangat penting untuk dilindungi, oleh keran itu gunakan kacamata dengan kaca yang sesuai, "Goggles" atau shield untuk menghindari terjadinya luka pada mata. Jika kotoran tersangkut pada mata mintalah bantuan pertolongan pertama. Jangan mengizinkan teman untuk melepaskannya.

Dalam operasi pengelasan diperlukan pemakaian kasa, gas dari las listrik dapat menyebabkan kerusakan mata dengan kondisi tidak menentu.

Jika mata kemasukan atau terjadi kontak dengan bahan-bahan kimia terlebih dahulu harus dicuci dengan air bersih dengan segera.

- **Telinga**

Pada lingkungan kerja yang bising melebihi batas gunakan peredam suara.

- **Mengangkat secara manual**

Dalam berbagai pekerjaan mengangkat, kembali kita memerlukan perlindungan. Melakukan teknik yang benar selama mengangkat secara manual sama dengan ketika melawan berat benda, anda harus terlatih sehingga dapat melakukannya dengan posisi yang benar.

Bengkokan lutut anda sehingga sedapat mungkin beban mendekati badan. Ini jaminan bahwa sumbu gravitasi dari beban tertutup pada tulang belakang, kemudian angkat dengan tegangan lutut dan kekuatan belakang dan agak diangkat hanya oleh tegangan belakang. Jika memungkinkan hindari belokan atau gerakan memutar. Selama membawa beban berat juga lakukan peregangan. Ini merupakan fakta petunjuk jika memungkinkan.



**Gambar 13.10** : Mengangkat secara manual

## **F. Pertolongan pertama (First-aid)**

Setelah mengetahui beberapa type luka, tidak ada masalah sekecil apapun yang dipikirkan kecuali segera melakukan tindakan pertolongan pertama.

Luka kecil akan mengakibatkan infeksi dan sakit yang serius serta kehilangan waktu. Lakukan pembersihan sebagai jaminan keamanan melawan infeksi.

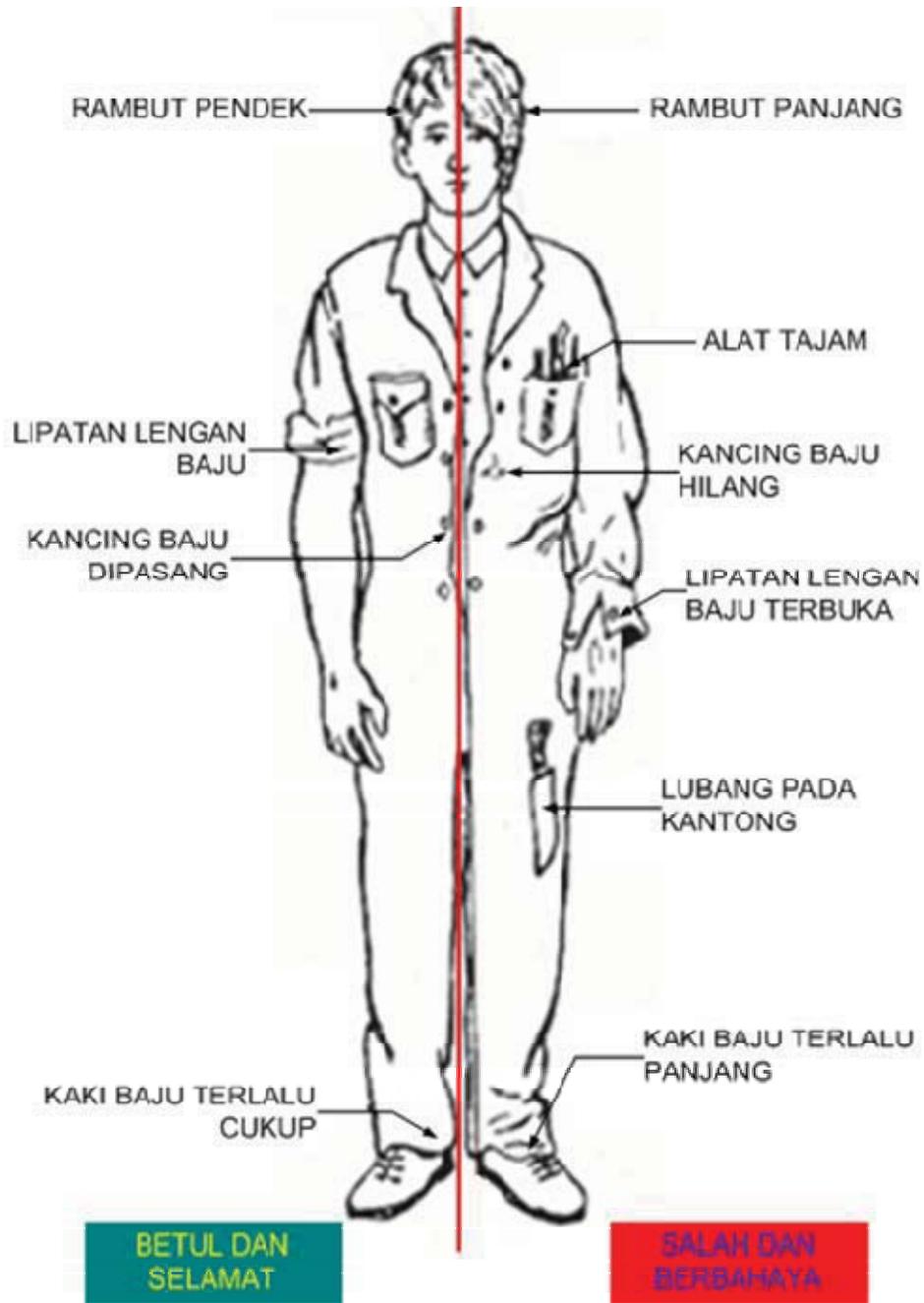
## **G. Kebiasaan menjaga kebersihan**

Kebersihan pribadi sangat penting dan menjadi indicator sikap seseorang dalam melakukan pekerjaan. Ketika operator memiliki kebiasaan kotor dan tidak teratur, maka tidak akan berbeda dengan kedaannya dalam bekerja. Hal ini merupakan ciri mutu tenaga kerja yang rendah yang akan memberikan kontribusi dalam kecelakaan serius. Perhatikan titik-titik dalam cara berpakaian, kebersihan dan kerapihan pada gambar berikut.

- Pakailah pakaian kerja sepanjang waktu bekerja. Pakaian harus selalu bersih serta ukuran yangsesuai, pakaian yang terlalu besar dapat berbahaya pada saat bekerja dimesin. Lindungi kaki dengan menggunakana sepatu (safety Boot) yakni sepatu yang dilengkapi dengan baja dibagian ujungnya.
- Rambut yang panjang dapat mengakibatkan bahaya
- Untuk menghindari terbenturnya kepala terhadap benda-benda tajam dan besudut , gunakan *safety helmet*.
- Selalu mencoba berperilaku bersih dan teratur pada diri dan lingkungan kerja anda.

Permainan dan pertunjukkan tidak memiliki tempat di dalam industri dimana akan menyebabkan kecelakaan serius bahkan fatal.

Work shop yang kotor dan tidak teratur merupakan factor penyebab inefisiensi, miskin dan meningkatnya frekwensi kecelakaan



**Gambar 13.11** Baik dan salah cara berpakaian dalam bekerja.

## H. Faktor keselamatan di bengkel kerja

Operasi kerja di setiap bengkel tergantung pada sebagian besar perencanaan perencanaan serta disain konstruksi bagian-bagian yang akan diterapkan, yang meliputi :

- Layout bengkel yang memenuhi syarat proses produksi secara efisien
- Derajat keamanan kedua unsur bengkel yakni Mesin dan operator.
- Ketentuan yang memadai untuk perawatan alat dan kelengkapan.

## I. Kelengkapan keselamatan kerja peralatan tangan

Untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja di bengkel dimana menggunakan peralatan tangan perlu memperhatikan hal-hal berikut :

Tidak menggunakan peralatan yang rusak (defective tools), contohnya tangkai yang patah, Pahat tangan dengan kepala mengembang (mushroom), kunci dengan rahang yang melebar, kikir tanpa tangkai serta peralatan yang bukan ukurannya.



Gambar 13.12



**Gambar 13.13**

#### **J. Pemesinan**

Beberapa kecelakaan terjadi antara lain disebabkan oleh kurang memadainya pengaman atau juga sikap tidak bertanggung jawab pribadi anda dalam menggunakan peralatan keselamatan dan keamanan kerja yang disediakan.

### **K. Penyelamatan diri akibat kebakaran (*Fire fighting*)**

Untuk menghindari bahaya akibat kebakaran yang terjadi, maka kita harus mempersiapkan diri anda dengan memahami dan menerapkan berbagai hal berikut :

- Pastikan bahwa anda mengetahui lokasi pintu darurat serta menanyakan berbagai hal tentang penggunaan alat keselamatan dalam kebakaran serta pemakaian alat pemadam kebakaran (fire extinguishers).
- Jangan menumpuk pintu darurat dengan menggunakannya sebagai tempat menyimpan barang.
- Jangan merokok diarea terbatas.
- Jangan menggunakan serbuk gergaji untuk mengatasi tetesan oli karena dapat menimbulkan bahaya api.
- Endapan sampah atau kubangan oli ditempatkan pada bak yang terbuat dari logam.



**Gambar 13.14**



**Gambar 13.15.** Keamanan dalam menggerinda serta perlindungan dengan kaca mata



**Gambar 13.16**



**Gambar 13.17**

#### **L. Jenis api dan alat pemadamnya**

Nyala api dibedakan menurut sumber bahan yang terbakar antara lain :

- terbakaranya cairan, bensin, minyak tanah (kerosesne), oli, cat, atau larutan yang mudah terbakar.
- terbakaranya cairan, bensin, minyak tanah (kerosesne), oli, cat, atau larutan yang mudah terbakar

- Untuk memadamkannya dapat dilakukan dengan pertama menghindari hubungan api dengan oxygen antara lain menutupnya dengan selimut asbes. Dry powder dan foam
- extinguisher merupakan bahan yang cocok untuk pemadamkan api dari jenis ini.



**Gambar 13.18** Tabung pemadam kebakaran

- Api dengan *type Class C*, yaitu nyala api yang terjadi pada terbakarnya kelengkapan listrik, dimana listrik dalam keadaan hidup penggunaan air akan sangat berbahaya karena air dapat memotong aliran listrik (electrocut) dan akan mengalir mengikuti aliran air. Oleh karena itu bahan yang paling tepat ialah menggunakan BCF atau CO<sub>2</sub> extinguishers. Bahan ini bersifat non-conductor.

**Rangkuman :**

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) telah menjadi bagian dari pencapaian kinerja perusahaan.

Penerapan K3 secara benar adalah merupakan tindakan preventif yang paling tepat

Lemahnya mutu tenaga kerja merupakan salah satu factor penyebab terjadinya kecelakaan.

Keselamatan kerja diukur oleh tingkat kehati-hatian pekerja

Tugas pekerja untuk menampilkan sikap dan performa kerja yang aman serta selalu menyadari keamanan bagi sesama pekerja.

Perlengkapan keselamatan kerja hendaknya dipersiapkan sedemikian rupa, khususnya keselamatan manusia sebagai pekerja itu sendiri.

**Soal-soal :**

1. Sebutkan beberapa tindakan preventif untuk menghindari kecelakaan dalam bekerja ?
2. Sebutkan berbagai dampak kerugian akibat kecelakaan ?
3. Sebutkan salah satu penyebab kecelakaan dalam pekerjaan
4. Bagaimanakah upaya pemerintah dalam melindungi tenaga kerja dari kecelakaan ?
5. Apakah peralatan kerja menjamin keselamatan dalam bekerja ?  
Jelaskan factor lain yang lebih penting !

## DAFTAR PUSTAKA

- As`ad Sungguh, (1983), **Kamus Istilah Teknik**, Kurnia Esa, Jakarta.
- B.J.M Beumer, (1987).**Pengetahuan Bahan Jilid III**, Bhratara Karya Aksara, Jakarta.
- B. Zakharov, (1962), **Heat treatment of metals**, Peace Publishers, Moscow,.
- B.s. Anwir, S. Basir Latif, W. Kaligis, Sidi Bakaroedin, (1953), **Tafsiran Kamus Teknik**, H. Stam-Kebayoran Baru, Jakarta.
- Carroll Edgar, (1965), **Fundamentals of Manufacturing processes and materials**, Addison-weslet publishing company, inc.London.
- Daryanto, (2007), **Energi**, Pustaka Widyatama, Jogjakarta.
- depdiknas RI dirjen pendidikan dasar menengah direktorat pendidikan menengah kejuruan, (2002), **Standar Kompetensi Nasional Bidang Industri Logam dan Mesin**, Jakarta.
- Djiteng Marsudi, (2005), **Pembangkitan Energi Listrik**, Erlangga, Jakarta.
- J.G.C. Hofsteede ir., P.j. Kramer ir. dan S. Zeiruddin,(1977). **Ilmu Mekanika Teknik D**, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Ron Culley (1988), **FITTING AND MACHINING**,TAFE PUBICATION UNIT RMIT Ltd. 37 Langridge Street, Colingwood, Victoria 3066
- Tata Surdia ir.,(1980), **Teknik Pengecoran Logam**, Pradnya paramita, Jakarta.
- Jhon M. Echols dan Hassan Shadily, (1986), **Kamus Indonesia-Inggris**, PT Gramedia, Jakarta.
- **Spesifikasi Geometris Metrologi Industri & Kontrol Kualitas**, Lab. Metrologi Industri-Jurusan Mesin-FTI-ITB.
- MHA Kempster, (1975), **Materials for engineers**, ,hodder and Stoughton, London,.
- W.A.J. Chapman, (1972), **Workshop Technology part 2**, Edward Arnold (publisher) Limited, London.
- , **Bohler Steel Manual**, PT Bohlindo Baja, Jakarta,

## **DAFTAR ISTILAH (GLOSARI)**

### **Adhesive**

Adhesive ialah sifat melekat /menempel/ menyatu dari suatu bahan terhadap bahan lain.

### **Amunisi**

Aminisi ialah perbekalan militer untuk tujuan perang biasanya amunisi ini berupa peluru dan senjata

### **Allowance**

Allowance ialah kelonggaran, Allowance yang digunakan dalam Machine- Allowance dari benda tuangan ini maksudnya adalah kelebihan ukuran dari ukuran nominal yang diberikan bila benda tersebut diselesaikan dengan pekerjaan mesin.

### **Arc**

Arc ialah busur, arc yang dimaksud dalam istilah "arc-welding" adalah las busur atau las listrik dengan menggunakan electrode las , "arc electric furnace" artinya dapur busur nyala api.

### **Atmospheric**

Atmospheric artinya angkasa yang dimaksud dengan Atmospheric pada beberapa paragraph seperti "Atmospheric-corrossion" atau korosi Atmospheric ialah proses persenyawaan beberapa unsur logam dengan berbagai unsur yang terdapat pada udara sehingga membentuk senyawa baru dengan sifat yang lebih buruk dari sifat logam itu sendiri seperti karat.

### **Brazing spelter**

Brazing spelter ialah bahan yang digunakan sebagai bahan pengisi dalam penyambungan dengan sistem patreri keras dengan menggunakan bahan seng.

### **Bijih**

Bijih ialah bahan tambang yang terdiri atas berbagai unsur yang dapat diproses lanjut untuk memperoleh suatu unsur yang diinginkan, misalnya bijih besi ialah bahan mineral yang mengandung unsur besi lebih besar dari unsur-unsur lainnya.

### **Commutator**

Commutator ialah pengatur/pengubah arah pada arus listrik

### **Chips**

Chips atau beram atau tatal yang dihasilkan dari proses penyayatan dari bahan logam dalam pekerjaan mesin

### **Catridge**

Catridge ialah patron yang digunakan sebagai alat pengaman misalnya Sand Catridge ialah alat pemadam kebakaran dengan pasir.

#### Casting

Casting ialah proses pembuatan benda-benda kerja yang dibentuk dengan cara menuangkan bahan (logam) yang telah dicairkan kedalam cetakan, tetapi Casting ini juga sering digunakan sebagai sebutan terhadap benda yang dihasilkan dari proses penuangan.

#### Casting-Bronzes

Casting-Bronzes ialah benda tuangan dimana bahan yang digunakannya adalah perunggu (Bronzes) dengan sifat dan komposisi tertentu sehingga Bronzes ini memiliki sifat mampu tuang.

#### Chemical finishing

Chemical finishing yang dimaksud ialah proses pembentukan benda kerja dengan hasil akhir dari permukaan benda kerja tersebut diberi perlakuan secara kimiawi seperti pelapisan dengan media larutan bahan kimia.

#### Condenser

Condenser ialah alat penerima dan menyimpan biasanya pada peralatan listrik tetapi dapat juga untuk bahan-bahan lain.

#### Container

Container ialah wadah atau tempat yang digunakan untuk bahan biasanya berupa kotak atau kaleng kemasan, toples dan lain-lain seperti buah, susu ikan dan lain-lain.

#### Convertor

Convertor ialah alat pengubah misalnya sistem kerja yang dilakukan dalam proses pembuatan baja melalui dapur convertor atau "Convertor Furnace"

#### Crude-oil

Crude-oil ialah minyak yang dihasilkan dari proses pengolahan awal yang dapat dioleh dengan menambah atau mengurangi berbagai unsur sehingga dihasilkan minyak yang memenuhi syarat kebutuhan Crude-oil disebut sebagai minyak mentah.

#### Destilasi

Destilasi ialah proses penguapan yaitu proses perubahan/pe-misahan/pemurnian dari suatu benda kedalam bentuk lain melalui pemanasan sehingga mengalami penguapan, uap ini akan dikembalikan kedalam bentuk padat dengan jenis tertentu secara murni.

#### Distorsi

Distorsi ialah perubahan bentuk yang disebabkan oleh adanya tegangan dalam yang kuat pada kondisi yang tidak seragam sehingga biasanya distorsi ditandai dengan

adanya keretakan (crack) dibagian tertentu. Distorsi biasanya terjadi dalam perlakuan panas atau terjadi pemanasan yang tidak merata seperti pekerjaan las.

#### Dominant

Dominant ialah yang paling utama, paling menonjol atau paling banyak, misalnya bijih besi artinya pada unsur mineral ini unsur yang dominan ialah unsur besi.

#### Elektrolisa

Elektrolisa ialah proses penguraian dengan cara arus listrik.

#### Electroplating

Electroplating ialah pelapisan dengan menggunakan sistem penguraian dengan tenaga listrik melalui larutan bahan kimia yang dapat berreaksi dengan bahan yang diuraikan dan sebagai media untuk mengalirkannya pada benda yang dilapisi menurut arah gerakan arus listrik.

#### Electrical contact

Electrical Contact ialah sambungan listrik

#### Eksplorasi

Eksplorasi ialah proses penelitian, pemeriksaan, penggalian, yang dimaksud disini ialah yang dilakukan pada bahan-bahan tambang atau bahan mineral.

#### Extraction

Extraction mencabut, atau mengambil dengan suatu gaya atau metoda misalnya proses destilasi.

#### Filament

Filament ialah kawat yang digunakan sebagai alat pijar yang dibuat dari jenis bahan tertentu yang dapat menahan aliran arus listrik dengan membentuk pijar dalam waktu yang lama serta akan kembali kepada sifat asalnya jika arus listrik diputus.

#### Grafity

Grafity ialah grafitasi artinya gaya tarik bumi, Grafity die Casting ialah proses pembentukan benda kerja dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan, logam cair tadi akan turun dan mengalir kedalam rongga cetakan dengan gaya grafitasi.

#### Gasket.

Gasket ialah paking atau bahan yang digunakan sebagai perantara dari gabungan suatu benda dengan benda lain dalam perakitan, gasket digunakan sebagai perapat untuk menghindari kebocoran atau getaran.

Garis solidus ialah garis yang terdapat dalam diagram keseimbangan campuran logam atau proses perlakuan panas yang menunjukkan batas padat dan cair dari logam yang disebabkan oleh pemanasan.

Hacksaw Blades

Hacksaw Blades ialah daun gergaji

Hydrothermal

Hydrothermal ialah panas yang terjadi pada air atau zat cair.

Instrument

Instrument ialah pesawat kerja atau peralatan perlengkapan kerja atau perkakas.

Isolator

Material yang digunakan sebagai pemisah atau penyekat

Kawat Thermocouple.

Logam dengan bentuk kawat yang bereaksi karena pengaruh panas

Komersial

Bersifat dagang atau ekonomi “secara komersial” artinya diperdagangkan.

Konsentrat

Konsentrat yang dimaksudkan adalah kepekatan larutan dari beberapa jenis bahan atau unsur bahan.

Konduktifitas

Konduktif ialah memiliki sifat menghantar, merambatkan. Konduktifitas ialah kemampuan atau daya hantar biasanya panas (thermal) atau arus listrik (electrical).

Korosi

Korosi ialah pengikisan/degradasi pada permukaan logam yang disebabkan oleh reaksi kimia dari unsur yang dibawa oleh udara, air, air laut dan lain-lain atau pengaruh lingkungan pada umumnya.

Liquidus

Liquidus ialah keadaan cair dari logam yang disebabkan oleh pemanasan.

Marine Condenser tubes

Marine Condenser tubes ialah tabung yang biasa digunakan dalam penyelaman dasar laut

Magnetic separation

Magnetic Separation ialah pemisahan bahan logam magnetic dari beberapa beberapa jenis bahan non-magnetik. Dengan energi magnetic ini logam magnetic akan diikat dan dipisahkan dari unsur logam lainnya yang non-magnetic. Logam Magnetic ini pada umumnya adalah logam besi.

**Mereduksi**

Mereduksi ialah meredam, mengurangi atau menurunkan kadar atau derajatnya.

**Natural Ageing**

Natural Ageing dapat diartikan sebagai mendinginkan, membiarkan pada kondisi tertentu atau mengeringkan atau menyimpan.

**Oxidasi**

Oxidasi ialah proses persenyawaan antara suatu zat dengan oxygen atau zat asam yang berlangsung sangat lama.

**Phase**

Phase ialah tingkatan atau tahap atau fasa

**Pipa Bourdon**

Pipa Bourdon ialah pipa dengan bentuk penampang elips dari bahan tembaga yang tipis yang digunakan sebagai pengukur tekanan dimana perubahan tekanan dapat mengakibatkan pemuaian, gerakan pemuaian ini akan diteruskan melalui sebuah mekanisme untuk menggerakkan jarum penunjuk skala ukur.

**Petroleum**

Petroleum minyak yang dihasilkan dari bahan mineral atau bahan tambang seperti minyak tanah (kerosene).

**Permanent**

Permanent ialah keadaan tetap yang tidak dapat diubah

**Perakitan**

Perakitan ialah penggabungan beberapa komponen menjadi sebuah atau satu unit mesin atau pesawat kerja.

**Priming Cap**

Priming Cap ialah lapisan pada bagian atas atau penutup atau topi.

**Quenching**

Quenching ialah proses pendinginan dengan sangat cepat dan tiba-tiba, biasanya dilakukan dalam proses pengerasan baja untuk merubah struktur baja dari Austenite menjadi Martensite. Untuk media pendingin ini biasanya digunakan air.

**Radiator**

Radiator ialah alat pengatur pancaran yang digunakan dalam pesawat pendingin atau pemanas.

**Rare earth-metal**

Rare earth-metal ialah unsur logam yang sangat langka diperoleh didalam bumi

#### Refrigerator

Refrigerator ialah pesawat pendingin

#### Rekristalisasi

Rekristalisasi ialah perubahan bentuk dari larutan kedalam bentuk butiran (kristal atau hablur) untuk pemadatan dan masih dibatasi oleh susunan atom tertentu.

#### Rolling

Rolling ialah pembentukan produk bahan logam ke dalam bentuk tertentu oleh gerakan roll untuk menekan atau mengepres dengan pola tertentu. Bahan yang dibentuk ini dapat dilakukan pada bahan dalam keadaan panas atau dingin.

#### Forging

Forging ialah pembentukan produk bahan logam kadalam bentuk tertentu oleh gerakan Tempa untuk menekan atau mengepres pada kecepatan tinggi (memukul) dengan pola tertentu. Bahan yang dibentuk ini dapat dilakukan pada bahan dalam keadaan panas atau dingin.

#### Solid solution

Solid solution ialah "larutan padat" yakni unsur-unsur yang terdapat didalam logam berada dalam kedaan bebas dengan hanya sedikit ikatan atom, namun bahan tersebut masih dalam bentuk semula, pada baja keadaan ini berada diatas temperatur  $723^{\circ}\text{C}$  tergantung dari jenis bajanya.

#### Season crack

Season Crack ialah suatu keadaan yang kritis dimana memungkinkan bahan (Cast) akan mengalami atau biasanya terjadi keretakan.

#### shell case

Shell case ialah tempat yang berbentuk tabung atau bejana.

#### Signifikan

Signifikan ialah sangat berarti atau berpengaruh besar.

#### Switches.

Switches ialah tombol-tombol atau stop kontak atau saklar.

#### Silver solders

Silver solders ialah metode dalam penyambungan pateri dengan menggunakan silver (perak)

#### Sintering

Sintering ialah pembentukan benda kerja dengan cara mencetak bubuk berbagai material dengan komposisi tertentu (Powder-Metallurgy)

**Slag**

Slag atau terak ialah bagian material yang dihasilkan dari proses peleburan, karena berbeda sifat maka Slag akan mengendap atau terpisah dari unsur lainnya.

**Tar**

Tar ialah jelaga yang dihasilkan dari proses pengasapan dimana terdapat berbagai unsur yang tidak terbakar dan terbawa oleh asap.

**Turning**

Turning ialah proses pekerjaan dengan menggunakan mesin bubut.



## DAFTAR GAMBAR

1.1	Polythene yakni polymer yang terdiri atas 1200 atom karbon pada setiap 2 atom hidrogen .....	2
1.2	Panjang rantai ikatan polimerisasi bahan plastik .....	3
1.3	Bentuk Ikatan kuat rantai Atom-atom .....	3
1.4	Poly (Vinyl chloride acetate) .....	4
1.5	Ikhtisar bahan-bahan teknik .....	10
1.6	Diagram titik cair dari beberapa jenis logam .....	25
1.7	Bagian dari diagram keseimbangan paduan tembaga chrom (Chromium-copper) .....	30
1.8	Diagram keseimbangan dari paduan tembaga-beryllium (Copper-beryllium) .....	31
1.9	Bagian dari diagram keseimbangan dan microstruktur dari paduan tembaga seng .....	33
1.10	Bagian dari diagram keseimbangan paduan tembaga timah putih (Copper-tin) dan microstrukturnya .....	38
1.11	Bagian dari diagram keseimbangan paduan tembaga-aluminium (Copper-aluminium) .....	41
1.12	Diagram keseimbangan dari paduan tembaga nikel (Cooper-nickel) .....	43
1.13	Proses pembuatan aluminium .....	46
1.14	Diagram keseimbangan dari paduan aluminium-magnesium .....	48
1.15	Bagian dari diagram keseimbangan paduan aluminium-silikon .....	50
1.16	Bagian dari diagram keseimbangan paduan aluminium – copper .....	52
1.17	Diagram paduan nikel .....	62
1.18	Bagian dari diagram keseimbangan paduan seng-aluminium .....	63
1.19	Bagian dari diagram keseimbangan paduan magnesium-aluminium .....	67
2.1	Proses pengolahan bijih besi ( <i>Iron Ores</i> ) pada dapur tinggi ( <i>Blast Furnace</i> ) .....	72
2.2	Diagram kandungan unsur logam di dalam perut bumi(%)	74
2.3	Diagram pengaruh kandungan karbon terhadap pembentukan besi .....	78
2.4	Diagram aliran pembentukan logam sebagai bahan baku produk .....	82
2.5	Persyaratan sifat mekanik dari baja karbon sesuai dengan fungsinya .....	83
2.6	Converter bessemer .....	87

2.7	Proses oksigen pada dapur basa untuk pemurnian besi kasar (pig Iron) .....	88
2.8	LD top blown converter .....	89
2.9	Rotor mixed blown converter .....	90
2.10	Kaldo top blown converter .....	91
3.1	Diagram alur pembuatan besi tuang (cast Iron).....	95
3.2	Dapur cupola type pembakar kokas .....	97
3.3	Dapur udara atau dapur api (reverberatory furnace) .....	97
3.4	Dapur putar (rotary furnace) .....	98
3.5	Electric furnace indirect sistem .....	98
3.6	Electric furnace direct system.....	98
3.7	Diagram Keseimbangan besi – karbon (FeC).....	100
3.8	Menempatkan “Chill-Iron” untuk pengendalian keseragaman struktur besi tuang .....	101
3.9	Potongan atas dari “closed-die forging press” suatu produk tuangan (cross head) yang besar .....	102
3.10	Steel Casting bahan roda gigi .....	102
3.11	Contoh bentuk benda tuangan yang kompleks .....	103
3.12	Penyetelan cor (inti) di dalam pit moulding .....	103
3.13	Penuangan pada pengecoran ukuran besar.....	103
3.14	Ikhtisar besi tuang .....	104
3.15	Penuangan bahan cor seberat 100 ton dari dapur listrik ..	105
3.16	Penuangan bahan cor seberat 190 ton .....	105
3.17	Grey cast iron : flakes graphite pada struktur pearlite .....	108
3.18	White cast iron cementite dan pearlite .....	108
3.19	White Malleable Cast Iron Ferrite (putih) dan Pearlite ....	109
3.20	Black heart malleable cast iron : ferrite (putih) .....	109
3.21	Black heart malleable cast iron ferrite (hitam) .....	110
4.1	Diagram perbandingan antara temperatur dengan waktu pendinginan dalam proses pemadatan .....	121
4.2	Diagram perbandingan antara Temperatur dengan waktu pendinginan dalam proses pemadatan .....	121
4.3	Diagram perbandingan antara Temperatur dengan waktu pendinginan dalam proses pemadatan .....	122
4.4	Diagram keseimbangan thermal untuk logam “A” dan Logam “B” .....	124
4.5	Diagram keseimbangan thermal untuk Logam “A” dan Logam “B” .....	125
4.6	Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam larut secara penuh disetiap proporsi dalam keadaan padat .....	126
4.7	Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam tidak larut secara penuh di dalam larutan padat .....	128
4.8	Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan batas larutan di dalam larutan padat .....	129
4.9	Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan	

	bentuk campuran antar logam (Intermetallic compound) ..	132
4.10	Diagram keseimbangan logam A .....	132
4.11	Diagram keseimbangan logam A .....	132
4.12	Diagram keseimbangan dimana reaksi peritectic mengambil tempat .....	134
5.1	Bagan/lkhtisar bahan teknik dari unsur logam .....	141
5.2	Pembentukan logam menjadi bahan baku produk .....	142
6.1	Cetakan penuangan.....	147
6.2	Penguat cetakan.....	150
6.3	Rangka cetakan kayu .....	151
6.4	Rangka cetakan baja .....	151
6.5	Panci tuang .....	153
6.6	Bentuk benda kerja dan bentuk cetakan .....	155
6.7	Piringan rem (disk brake) .....	156
6.8	Cetakan dengan penguatan untuk model seluruhnya pada drag (cetakan bawah) .....	157
6.9	Cetakan fibre untuk model inti .....	159
6.10	Susunan Model dan inti (teras) untuk pengecoran piringan rem (disk brake) .....	160
6.11	Kedudukan pola Model dan inti didalam cetakan .....	160
6.12	Drag pada kedudukan yang sebenarnya .....	161
6.13	Blank roda gigi lurus .....	163
6.14	Posisi cetakan dari bentuk cetakan blank roda gigi lurus .	164
6.15	Pembentukan pola (pattern) pada Mesin bubut .....	165
6.16	Pembuatan pola Inti (pasir).....	166
6.17	Model (pola) Inti (teras) dari pasir cetak hasil pencetakan	167
6.18	Pembuatan cetakan dan inti (core) .....	167
6.19	Plat (papan) landasan .....	168
6.20	Kedudukan pola dan inti pada cetakan bawah (drag) di dalam rangka cetak.....	168
6.21	Pengisian pasir cetak pada cetakan bawah (drag) .....	169
6.22	Pengisian pasir cetak tahap ke 2 pada cetakan bawah (drag) .....	170
6.23	Pengisian pasir cetak tahap ke 2 pada cetakan bawah (drag) .....	170
6.24	Pengisian pasir cetak tahap ke 2 rata pada rangka cetakan bawah (drag) .....	171
6.25	kedudukan pola dan inti pada cetakan bawah (drag) di dalam rangka cetak.....	172
6.26	Penempatan pola dan pola inti pada cetakan atas (cope).	172
6.27	Posisi saluran-saluran pada cetakan atas dengan sistem saluran tidak langsung .....	173
6.28	Posisi cetakan atas dan cetakan bawah serta salurannya.....	174

6.29	Proses penuangan .....	175
6.30	Membuat cetakan dengan menggunakan mesin cetak ...	176
6.31	Diagram hubungan antara kadar karbon dengan temperatur awal pencairan dan ahir pencairan .....	178
6.32	Konstruksi Dapur Kupola .....	180
6.33	Dapur Induksi Krus .....	183
6.34	Dapur Induksi dengan sistem saluran .....	184
6.35	Proses penuangan (pengecoran) .....	187
6.36	Prinsip pengecoran dengan centrifugal secara vertikal dan semi centrifugal .....	188
6.37	Metode pengecoran sentrifugal .....	188
6.38	Prinsip dasar penuangan berlanjut (continouos casting) ..	189
6.39	Prinsip dasar penuangan berlanjut (continouos casting) langkah pembuatan cetakan (mould) pada sistem shell moulding .....	190
6.40	Langkah pembuatan cetakan (mould) pada sistem shell moulding .....	191
6.41	Pressure die casting .....	193
6.42	Skematik diagram dari proses <i>injection molding</i> .....	193
6.43	Electric witch component .....	194
6.44	Tuner housing untuk suku cadang .....	194
6.45	Valve assy .....	195
6.46	Vacum – Furnace .....	196
6.47	“Land-base turbine airfoils” salah satu produk pengecoran dengan metoda investment casting .....	197
6.48	Struktural hardware air-cast alloy salah satu produk pengecoran precision casting dengan metoda lvestment casting .....	197
6.49	Large airfoil component dibuat dari bahan cobalt salah satu produk pengecoran precision casting.....	198
6.50	“Turbine-Nozle” salah satu produk pengecoran .....	198
6.51	Turbine-wheel” salah satu produk pengecoran .....	201
6.52	Tambahan bentuk penguatan untuk pelengkungan .....	202
6.53	Pengurangan ukuran .....	202
6.54	Tambahan keluar .....	202
6.55	Saluran langsung .....	203
6.56	Saluran bawah .....	203
6.57	Saluran cincin .....	204
6.58	Saluran pisah .....	204
6.59	Saluran terompet .....	205
6.60	Saluran pensil .....	206
6.61	Saluran baji .....	207
6.62	Saluran bertingkat .....	208

6.63	Bagian-bagian saluran-saluran tambahan .....	209
6.64	Bagian-bagian saluran bawah .....	211
6.65	Chill batang (chill Jarum) .....	212
6.66	Menentukan ukuran diameter chill batang .....	212
6.67	Menentukan ukuran diameter .....	213
6.68	Chill batang dengan lilitan .....	213
6.69	Benda seperti gambar di atas .....	214
6.70	Chill luar samping .....	214
6.71	Chill luar dasar .....	215
6.72	Pemakaian chill luar dan chill Luar dasar .....	216
6.73	Perbandingan antara ukuran diameter chill dengan ketebalan bahan pada bentuk "T" .....	216
6.74	Pemakaian chil pada bentuk benda bersilang "X" .....	217
6.75	Cetakan logam sebagai chill .....	218
6.76	Alat bantu mekanik (mesin gerinda tangan) .....	218
6.77	Semprotan pasir pasir .....	219
6.78	Water injection method .....	220
6.79	Water shroud method .....	220
6.80	Water curtain .....	221
6.81	Ventury method .....	221
7.1	Pengukuran dengan mikrometer .....	227
7.2	Pengukuran tak langsung .....	227
7.3	Pengukuran tak langsung .....	228
7.4	Pengukuran tak langsung .....	228
7.5	Pengukuran tak langsung .....	228
7.6	Penggores .....	229
7.7	Pemakaian penggores .....	229
7.8	Jangka tusuk .....	230
7.9	Jangka bengkok .....	231
7.10	Penyetelan posisi jangka tusuk pada mistar baja .....	231
7.11	Pemakaian jangka tusuk .....	231
7.12	Jangka banci atau jangka ganjil .....	232
7.13	Jangka banci atau jangka ganjil .....	232
7.14	Jangka banci digunakan untuk menentukan titik pusat ....	233
7.15	Penyetelan dengan jangka ganjil dengan kaki terbalik ....	233
7.16	Menggores sejajar bagian dalam .....	233
7.17	Menggores sejajar bagian luar .....	233
7.18	Trammel (jangka batang .....	233
7.19	Mata penggores (rod) .....	234
7.20	Penyetelan Trammels pada mistar baja .....	234
7.21	Universal surface gauges .....	234
7.22	Surface gauges sederhana .....	235

7.23	Universal surface gauges dalam menyetel ketinggian pada "combination set" .....	235
7.24	Surface gauges dalam pekerjaan melukis garis pada benda kerja .....	236
7.25	Surface gauges dalam pekerjaan mencari titik pusat .....	236
7.26	Surface gauges dalam pekerjaan melukis garis pada benda kerja .....	236
7.27	Surface gauges dalam pekerjaan menentukan posisi alur pasak .....	236
7.28	Prick punch (sudut penitik 90 <sup>0</sup> ) .....	237
7.29	Center punch (sudut penitik 90 <sup>0</sup> ) .....	237
7.30	Automatic Punch .....	238
7.31	Bell punch .....	238
7.32	Mistar sorong (vernier caliper) .....	239
7.33	Mengukur panjang skala Nonius, Contoh panjang skala Nonius 39 mm .....	240
7.34	Harga ukur setiap divisi pada mistar sorong dengan satuan Inchi dan ketelitian 1/1000 .....	242
7.35	Mikrometer luar (Outside mikrometer) .....	245
7.36	Harga ukur dalam setiap divisi mikrometer dengan satuan millimeter .....	246
7.37	Skala ukur mikrometer dengan satuan inchi .....	247
7.38	Skala ukur Mikrometer dengan satuan Inchi .....	247
7.39	Mikrometer luar (outside mikrometer) pada satuan milimeter dengan satuan Inchi .....	247
7.40	Membaca mikrometer dengan satuan milimeter .....	248
7.41	Membaca mikrometer dengan satuan milimeter .....	248
7.42	Membaca mikrometer dengan satuan milimeter .....	248
7.43	Membaca mikrometer dengan satuan inch .....	249
7.44	Membaca mikrometer dengan satuan inch .....	249
7.45	Proses pengukuran dengan Mikrometer .....	249
7.46	Pengukur tinggi (vernier height gauge) dan nama bagiannya .....	250
7.47	Pengukur Tinggi dapat digunakan dalam memeriksa ketinggian lubang senter .....	251
7.48	Pengukur Tinggi dapat digunakan dalam mengukur tinggi permukaan benda kerja .....	251
7.49	Memeriksa kelurusan test bar dengan bantuan dial test Indikator .....	251
7.50	Memeriksa kelurusan test bar dengan bantuan dial test Indicator .....	252
7.51	Penandaan benda kerja (marking out of work) .....	253
7.52	Penandaan benda kerja (marking out of work) .....	253
7.53	Penandaan benda kerja (marking out of work) .....	253

7.54	Penandaan benda kerja (marking out of work) .....	253
7.55	Garis sumbu (centre lines) .....	254
7.56	Sketsa (outlines) .....	254
7.57	Precision cast iron marking-out tabel .....	255
7.58	Precision granite marking-out tabel .....	255
8.1	Penerapan berbagai tipe dari garis .....	260
8.2	Penunjukkan pandangan pada proyeksi sudut ketiga .....	261
8.3	Penunjukkan pandangan pada proyeksi sudut pertama ...	262
8.4	Satu buah pandangan cukup menggambarkan dimensi benda kerja .....	262
8.5	Penunjukkan pandangan pembantu (auxiliary view) .....	263
8.6	Penunjukkan pandangan sebagian .....	263
8.7	Proyeksi Isometrik (Isometric Projection) .....	264
8.8	Jaringan terpotong pada dua posisi .....	266
8.9	Pemotongan setempat .....	266
8.10	Jaringan tidak terpotong sebagian dan lubang diperlihatkan pada bagian bidang .....	266
8.11	Tanda pemotongan bidang dihilangkan .....	267
8.12	Pemotongan setengah bagian .....	267
8.13	Bagian revolved .....	267
8.14	Interposed section .....	268
8.15	Bagian dipindahkan .....	268
8.16	Kelebihan ukuran panjang diberikan (87) tanda bantu (Auxiliary dimension) .....	272
8.17	Ukuran dan chamfer .....	273
8.18	Gambar dengan dimensi pada tabel .....	274
8.19	Tampilan ukuran gambar pada tabel .....	274
8.20	Tanda sama dengan (=) .....	275
8.21	Tanda dua mata panah (double arrowhead) .....	276
8.22	Garis sumbu (Centrelines).....	276
8.23	Titik khayal hubungan antar bagian ditegaskan dengan titik bagian ujung .....	277
8.24	Pemakaian tanda titik (Dot) referensi ukuran permukaan Curve .....	277
8.25	Ukuran dari garis referensi umum .....	278
8.26	Contoh gambar untuk produk tuangan (Blank roda gigi)...	281
8.27	Bentuk-bentuk sudut dari produk tuangan .....	281
8.28	Disain bentuk produk tuangan .....	282
8.29	Modellriss Skala 1:1 .....	282
8.30	Penentuan posisi gambar menurut proses pemesinannya.....	283
8.31	Penentuan posisi gambar menurut proses perakitannya...	283
8.32	Penentuan posisi gambar menurut Posisi perletakannya	284

	pada cetaka .....	
8.33	Benda tuangan yang tidak akan mengalami proses pemésinan .....	284
8.34	Benda Tuangan dalam bentuk produk sebenarnya .....	285
8.35	Benda Tuangan dengan penambahan ukuran .....	285
8.36	Tanda gambar kekasaran permukaan .....	286
8.37	Pembentukan casting untuk pengerjaan permukaan pada bentuk radius .....	287
8.38	Grafik penambahan ukuran untuk bidang atau lobang untuk bahan cor baja tuang, besi tuang dan logam .....	288
8.39	Contoh penyusutan 1,2 % pada bahan FCD .....	290
8.40	Sudut tuangan .....	290
8.41	Kemiringan pada sirip .....	291
8.42	Bentuk kemiringan pada sirip .....	292
8.43	Jenis sudut tuangan .....	293
8.44	Radius tuangan .....	294
8.45	Radius tuangan R8/R4 .....	295
8.46	Perubahan ketebalan pada benda kerja .....	296
8.47	Ukuran kesatuan bentuk .....	297
8.48	Ukuran bentuk dasar .....	298
8.49	Ukuran posisi komponen .....	297
8.50	Ukuran fungsi, non fungsi dan pembentukan .....	300
9.1	Contoh gambar kerja dari bahan besi tuang (casting) ....	308
9.2	Mesin bubut dengan bagian-bagian utamanya .....	310
9.3	Chuck rahang 3 .....	311
9.4	Penjepitan benda kerja dengan chuck rahang 3 Universal dengan rahang terbalik .....	311
9.5	Penjepitan benda kerja dengan chuck rahang 3 universal dengan posisi normal .....	311
9.6	Produk pengecoran untuk dikerjakan lanjut pada mesin bubut .....	312
9.7	Penyetelan benda kerja dalam pemasangannya pada chuck rahang 4 independent .....	312
9.8	Chuck rahang 4 (chuck (independent) .....	312
9.9	Melepas chuck dari screw spindle nose .....	312
9.10	Benda kerja dicekam dengan jaw pada posisi normal .....	313
9.11	Benda kerja dicekam dengan jaw pada posisi terbalik .....	313
9.12	Chuck rahang 4 independent .....	314
9.13	Pemeriksaan kebenaran putaran dengan surface gauge. ....	314
9.14	Pengukuran sebelum pembubutan muka .....	314
9.15	Penyetelan benda kerja dengan menggunakan dial indikator .....	316
9.16	Penyetelan akhir dengan pemukulan palu lunak .....	316

9.17	Penyetelan dengan pergeseran rahang .....	317
9.18	Pengetelan benda kerja dengan bantuan palu lunak .....	318
9.19	Posisi ujung benda tuangan pada alur rahang chuck .....	319
9.20	Penandaan .....	319
9.21	Dudukan bearing bahan .....	319
9.22	Jarak kebebasan terhadap permukaan chuck .....	320
9.23	Benda tuangan .....	321
9.24	Boring cover plat .....	321
9.25	Permukaan dalam untuk penyetelan .....	322
9.26	Counter balancing benda kerja pada chuck .....	323
9.27	Pemasangan benda kerja dengan face plate .....	324
9.28	Pemasangan benda kerja dengan menggunakan klem ....	325
9.29	Pemakaian <i>face plate</i> pada yang telah dikerjakan (dimachining) .....	325
9.30	Pemasangan benda kerja pada <i>face plate</i> .....	326
9.31	Pemasangan benda kerja dengan kedudukan blok siku ..	328
9.32	Pemasangan <i>bearing set</i> pada face plate .....	328
9.33	Pahat bubut .....	329
9.34	Pahat bubut menggunakan pegangan .....	330
9.35	Sisi potong tunggal pada kikir .....	330
9.36	Sudut sayat pada pahat bubut .....	331
9.37	Sisi sayat normal .....	332
9.38	Kemiringan pahat bubut .....	333
9.39	Kemiringan sisi sayat terhadap dimensi pahat bubut.....	334
9.40	Bentuk hasil pengasahan pahat bubut .....	335
9.41	Kebebasan sisi pemotong dan kebebasan muka pada pemotongan dengan pahat bubut .....	336
9.42	Pendekatan sudut dan sisi sudut potong .....	337
9.43	Proses pemotongan pahat bubut .....	338
9.44	Sudut sayat dan sudut bebas .....	339
9.45	Sisi potong pahat bentuk radius .....	339
9.46	Kebebasan muka dan tepi pada pahat bubut .....	340
9.47	Proses penyayatan pahat bubut .....	341
9.48	Proses penyayatan pahat sekrap .....	342
9.49	Ilustrasi klasifikasi insert .....	350
9.50	Grafik umur pakai pahat bubut .....	351
9.51	Rentang kecepatan putaran pada spindle .....	353
9.52	Cutting speeds nomogrametric .....	354
9.53	Mesin frais universal .....	356
9.54	Mesin frais vertical .....	357
9.55	Mesin frais vertical .....	358
9.56	Mesin frais horizontal CNC .....	359

9.57	Mesin frais vertikal CNC .....	359
9.58	Mesin frais vertikal CNC .....	358
9.59	Mesin frais vertikal CNC .....	361
9.60	Mesin <i>frais turet</i> .....	362
9.61	Berbagai pengikat (fixture) benda kerja dalam proses pembentukan dengan mesin frais.....	363
9.62	Casting dari <i>bracket</i> dan <i>cup</i> sebagai contoh pekerjaan pengefraisan .....	364
9.63	T- Slots pada meja mesin frais .....	364
9.64	Pemakaian T-Sloot dalam memegang benda kerja .....	366
9.65	Pemasangan benda kerja bulat .....	367
9.66	Pemasangan benda kerja langsung di atas meja mesin .....	368
9.67	Swivel angle plat .....	368
9.68	Cross sliding table .....	369
9.69	Adjustable universal angle plate.....	369
9.70	Ragum mesin frais .....	369
9.71	Ragum mesin frais datar .....	370
9.72	Ragum mesin frais datar .....	370
9.73	Ragum mesin frais dengan posisi yang dapat diputar .....	370
9.74	Ragum mesin frais dengan posisi yang dapat diputar pada posisi datar .....	371
9.75	Pisau frais datar (plain milling cutter) .....	371
9.76	Pisau frais datar .....	372
9.77	Pisau frais datar (plain cutter) sudut kisa 30 <sup>0</sup> .....	372
9.78	Pisau frais datar (plain cutter) sudut kisa 35 <sup>0</sup> .....	373
9.79	Shell end mill cutter .....	373
9.80	Shell end mill cutter .....	374
9.81	Face mill cutter .....	374
9.82	Side face end mill cutter .....	375
9.83	Pemakanan mengangkat (up cut) .....	376
9.84	Down-cut.....	376
9.85	Penggunaan cutter pada dimensi pekerjaan .....	380
9.86	Pengefraisan dua bidang dengan pisau (cutter) yang berbeda .....	380
9.87	Proses pengerjaan benda kerja .....	381
9.88	Pengefraisan bidang datar .....	382
9.89	Casting, bahan benda kerja "Sliding-vee" .....	383
9.90	Proses pengerjaan bidang 1 .....	383
9.91	Proses pengerjaan bidang 2 .....	384
9.92	Proses pengerjaan bidang 3 .....	384
9.93	Proses pengerjaan bidang 4 .....	385
9.94	Pemasangan <i>end mill</i> pada chuck .....	385

9.95	Pengerjaan finishing .....	386
9.96	Pembentukan profil "VEE" dengan menggunakan <i>end mill cutter</i> .....	387
9.97	Pembuatan alur dengan menggunakan <i>side and face cutter</i> .....	388
9.102	Diagram alur sistem pesawat kerja .....	390
9.103	Konstruksi umum mesin EDM serta bagian-bagiannya.....	391
9.104	Mesin EDM yang dikontrol dengan sistem computer .....	392
9.105	Mesin EDM yang dikontrol dengan sistem computer .....	393
9.106	Sistem sirkulasi <i>dielectric fluid</i> .....	394
9.107	<i>Electrode holder of machine tool</i> .....	395
9.108	Macam-macam alat ukur kedalaman .....	396
9.109	Metode pembilasan ( <i>flushing-method</i> ) .....	398
9.110	<i>Continouos injection</i> .....	399
9.111	Pengisapan .....	400
9.112	Pengikisan secara elektrik .....	403
9.113	Proses pembilasan .....	404
10.1	Mesin uji kekerasan shore scleroscope.a. tipe SH-D .....	412
10.2	Mesin uji kekerasan shore scleroscope. b. tipe SH-C ...	412
10.3	Mesin uji kekerasan shore scleroscope. c. tipe PHS-3 ...	414
10.4	Mesin uji kekerasan brinell .....	415
10.5	Posisi penekanan dengan indentor dalam pengujian kekerasan brinell .....	417
10.6	Mesin uji kekerasan vickers .....	420
10.7	Mesin uji kekerasan vickers .....	421
10.8	Posisi indentor dalam pengujian kekerasan vickers .....	421
10.9	Posisi indentor dalam pengamatan dibawah mikroscope .	422
10.10	Illustrasi bentuk indentasi pada permukaan spesimen setelah pangujian .....	423
10.11	Bidang-bidang geometris pada diamond indentation .....	426
10.12	Konstruksi pesawat uji kekerasa rockwel .....	426
10.13	Konstruksi pesawat uji kekerasa rockwel .....	427
10.14	Konstruksi pesawat uji kekerasa rockwel .....	427
10.15	Konstruksi pesawat uji kekerasa rockwel .....	429
10.16	Ball Indentor pada posisi siap menekan .....	429
10.17	Diamond Indentor pada posisi siap menekan .....	429
10.18	Diamond (a) Ball (b) Indentor pada posisi menekan	430
10.19	Diamond (a) Ball (b) Indentor pada posisi menekan dengan beban Mayor .....	430
10.20	Diamond (a) Ball (b) Indentor pada posisi menekan hanya dengan beban minor .....	431
10.21	Standar bahan uji plat menurut British Standard .....	434
10.22	Standar bahan uji bulat (round) menurut British Standard	434
10.23	Konstruksi umum dari mesin uji tarik .....	438
10.24	Konstruksi umum dari mesin uji tarik .....	438
10.25	Diagram tegangan regangan .....	439

10.26	Prilaku baja lunak dalam proses pengujian tarik .....	441
10.27	Dimensi standar bahan uji proporsional menurut Dp-10 ...	443
10.28	Dimensi standar bahan uji proporsional menurut Dp-10 dibentuk pada mesin perkakas .....	443
10.29	Tanda pembagian sepanjang Lo contoh : pembagian pada 20 bagian .....	443
10.30	Pengukuran panjang setelah patah .....	444
10.31	Pembebanan lengkung dalam pengujian lengkung (bend test) .....	444
10.32	Pengaruh pembebanan lengkung terhadap bahan uji (spesiment) .....	445
10.33	Momen lengkung (Mb) .....	446
10.34	Defleksi .....	446
10.35	Kedudukan bahan uji dalam pengujian lengkung beban ..	448
10.36	Dimensi spesimen pengujian lengkung perubahan bentuk .....	449
10.37	Kedudukan spesimen pada landasan .....	450
10.38	Pembebanan dalam pengujian lengkung .....	451
10.39	Penekanan pada landasan hingga membentuk 180 <sup>0</sup> dengan bantuan balok pengisi.....	451
10.40	Pengujian lengkung tunggal .....	451
10.41	Pengujian bengkokan tunggal .....	452
10.42	Gerak bengkokan 180 <sup>0</sup> .....	452
10.43	Gerak bengkokan 90 <sup>0</sup> .....	452
10.44	Bahan uji "Izod" .....	453
10.45	Kedudukan Bahan .....	454
10.46	Spesifikasi bahan uji charphy .....	454
10.47	Kedudukan bahan .....	455
10.48	Mesin uji puku takik (Impact testing machine) .....	455
10.49	Dasar penentuan daya dalam pengujian pukul takik (Impact test) .....	456
10.50	Sambungan tunggal .....	457
10.51	Sambungan ganda .....	457
10.52	Gaya geser pada sambungan dikeling ganda .....	458
10.53	Pemeriksaan cacat dengan spectromagnetic .....	460
10.54	Keadaan cacat dari pipa : keretakan pada bagian dalam pipa baja –AISI 52100 .....	461
10.55	Keadaan cacat dari pipa : keretakan pada bagian .....	461
10.56	Pemeriksaan cacat dengan sinar- X pada hydraulic turbin. ....	463
10.57	Pemeriksaan cacat pada pipa dengan spectromagnetic ..	464
10.58	Prinsip dasar pemeriksaan cacat dalam dengan ultra sonic .....	465
10.59	Microstruktur dari besi tuang (cast iron) setelah pemanasan dan didinginkan dengan udara pembesaran 500X ...	467
10.60	Microstruktur ari besi tuang (cast iron)setelah	468

	pemanasan dan di quenching dengan H <sub>2</sub> O pembesaran 500X .....	
10.61	Struktur nodular graphite-iron di etsa dengan nital dengan pemeriksaan mikroskopis pada pembesaran 100X .....	468
10.62	Standar sample untuk besi tuang putih (White cast-iron) dengan pembesaran 200 X .....	469
10.63	Struktur dari baja AISI 4340 dalam struktur bainite tinggi diperbesar 1000 X .....	469
10.64	Struktur dari baja AISI 4340 dalam struktur bainite rendah diperbesar 1000 X .....	470
10.65	Struktur dari baja AISI 4340 dalam struktur bainite rendah diperbesar 2000 X .....	470
10.66	Struktur martensite dari baja AISI 4340 ditemper dengan temperatur 400 <sup>0</sup> F diperbesar 1000 X .....	471
10.67	Struktur martensite dari baja AISI 4340 ditemper dengan temperatur 400 <sup>0</sup> F diperbesar 32000 X .....	471
10.68	Struktur baja SAE 52100 setelah proses hardening diperbesar 10000 X .....	472
11.1	Circular saw .....	476
11.2	Radial arm saw .....	476
11.3	Bench Table Saw.....	476
11.4	Tilting arbor Saw.....	477
11.5	Radian Arm Saw .....	477
11.6	Wood lathe (Mesin bubut kayu).....	478
11.7	Jig Saw .....	478
11.8	Membelah/memotong kayu dengan Jig Saw .....	479
11.9	Hand Grinder .....	479
11.10	Membentuk benda kayudengan hand grinder .....	480
11.11	Casting .....	481
11.12	Wood workers plain screw vice .....	482
11.13	Quick action vice .....	482
11.14	Saw vice.....	483
11.15	"T"-bar clamp .....	483
11.16	Quick action clamp .....	484
11.17	Forged Steel "G"-Clamp .....	484
11.18	Gergaji tangan (handsaws) .....	485
11.19	Memotong menggunakan gergaji tangan (handsaws)	485
11.20	Gergaji tangan (handsaws) type busur (bowsaw).....	486
11.21	Pahat tetap (chisel firmer) .....	486
11.22	Palu (mason's club hammer) .....	487
11.23	Pahat bubut kayu (wood turning tool) .....	487
11.24	Pahat ukir (wood carving tool) .....	488
11.25	Bor dengan operasi manual bits brace long twist ring auger .....	489

11.26	Mistar gulung (roll meter) .....	490
11.27	Penyiku (caliber square) dan combination set .....	490
11.28	Marking gauge dan Cutting gauge .....	491
11.29	Screwdrivers .....	491
11.30	Casting .....	492
11.31	Model (pattern) .....	492
11.32	Model bagian 1 .....	493
11.33	Model bagian 2 .....	493
11.34	Gabungan model bagian 1 dan model bagian 2 .....	493
11.35	<i>Casting</i> .....	493
11.36	<i>Model bagian</i> .....	494
11.37	Model bagian 3 .....	494
11.38	Model bagian 1, 2, dan 3 .....	494
12.1	Skematik komponen pada system pesawat.....	496
12.2	Instalasi Pusat Listrik Tenaga Air.....	497
12.3	Proses Konversi energy dari Diesel engine ke energy listrik pada generator listrik.....	497
12.4	Proses Konversi energy dari Diesel engine ke energy listrik pada generator listrik.....	498
11.39	Bagian-bagian utama generator listrik.....	498
11.40	Skema pesawat kerja untuk system penerangan mesin Electrical Power pack dengan konversi pada Hyd.sys.....	499
11.41	Skema pesawat kerja untuk system penerangan mesin Electrical Power pack , Electrical working element .....	500
11.42	Skema pesawat kerja untuk system penggerak utama mesin bubut Electrical Power dengan konversi pada Mechanical Power pack dan Mechanical working element .....	500
12.5	Elemen transmisi dan elemen control system kerja Mekanik.....	501
12.6	Elemen control system kerja mekanik.....	501
12.7	Working elemen pada system kerja Mekanik (mesin bubut) .....	502
12.8	Elektro motor sebagai pengubah energy listrik menjadi energi Mekanik (mesin bubut) .....	504
12.9	Elektro motor sebagai pengubah energy listrik menjadi energi Mekanik (mesin bubut).....	505
12.10	Elektro motor sebagai pengubah energy listrik menjadi energi Mekanik yang diperlengkapi dengan system transmisi.....	506
12.11	Elektro motor sebagai pengubah energy listrik menjadi energi Mekanik yang diperlengkapi dengan system transmisi (gear speed reducer).....	506

12.12	Worm gear Transmission reducer.....	507
12.13	Variable speed Worm gear Transmission reducer.....	507
12.14	Transico cicloidal Speed reducer.....	508
12.15	Compression Coupling.....	508
12.16 a	Flexible Coupling-Disk/of driver- type.....	508
12.20b	Bagian-bagian Flexible Coupling-Disk/of driver- type.....	509
12.17 a	Flexible Coupling precision pin and rubber ring-type.....	509
12.21b	Bagian-bagian Flexible Coupling precision pin and rubber ring-type.....	509
12.18	Hercus-gear” Flexible Coupling.....	510
12.19 a	Flexible Coupling-Flexicross – type.....	510
12.23b	Bagian-bagian Flexible Coupling-Flexicross – type.....	510
12.20	Dog-tooth Clutch.....	511
12.21	Universal Joints.....	512
12.22	one-type Clutch.....	512
12.23	Expanding-type clutch.....	513
12.24	Plate-type Clutch.....	513
12.25	Sprag-type Clutch.....	514
12.26	Standar dimensional untuk sabuk “V”.....	518
12.27	Dimensional alur V pada pulley.....	519
12.28	3 Jenis Precision steel roller chains Simple; Duplex dan Triplex.....	521
12.29	Komponen-komponen dari roller chain.....	521
12.30	Sprocket komponen dari roller chain.....	523
12.31	Kesejajaran Permukaan sprocket terhadap porosnya.....	524
12.32	Penyetelan dengan pergeseran poros .....	524
12.33	Penyetelan dengan pergeseran poros.....	525
12.34	Penyetelan dengan Idler.....	525
12.39	Perhitungan jarak kelonggaran.....	525
12.40	Jarak kelonggaran (A) mm.....	526
12.41	Pengukuran rantai (Chain).....	527
12.42	Berbagai jenis dan karakteristik rantai (chains).....	528
12.43	Silent chains.....	529
12.44	<i>Toothed belt</i> .....	529
12.45	Berbagai jenis dan bentuk profil yang diperdagangkan. Macam-macam jenis kaca mata pengaman .....	529 533
13.1	Masker .....	534
13.2	Sarung tangan kulit .....	534
13.3	Penutup telinga .....	535
13.4	Safety Shoes .....	535
13.5	Helmet dengan kaca bening .....	536
13.6	Safety helmet .....	537

13.7	Pakaian tahan api .....	537
13.8	.....	538
13.9	Mengangkat secara manual.....	540
13.10	Baik dan salah cara berpakaian dalam bekerja.....	542
13.11	.....	543
13.12	.....	544
13.13	.....	545
13.14	Keamanan dalam menggerinda serta perlindungan dengan kaca mata .....	546
13.15	.....	547
13.16	.....	548
13.17	Tabung pemadam kebakaran .....	549

## DAFTAR TABEL

Tabel		Simbol dan definisi .....	59
Tabel	1.1	Paduan "A" .....	64
Tabel	1.2	Paduan "B" .....	64
Tabel	3.1	Low temperatur cast Iron .....	114
Tabel	5.1	Spesifikasi baja " BÖHLER" .....	139
Tabel	6.1	Berat Jenis, titik Cair dan koefisien kekentalan .....	179
Tabel	6.2	Batu tahan api dan cara pemasangannya .....	185
Tabel	6.3	Tambahan ukuran penyusutan .....	199
Tabel	6.4	Tambahan ukuran untuk benda tuangan besi untuk penyelesaian mesin (machining).....	200
Tabel	6.5	Tambahan ukuran untuk benda tuangan bukan besi (casting non-iron) untuk penyelesaian mesin (machining) .....	200
Tabel	6.6	Tambahan ukuran untuk benda tuangan baja (casting steel) untuk penyelesaian mesin (machining) .....	201
Tabel	6.7	Perbandingan antra berat tuangan dengan ukuran diameter dan jumlah saluran .....	206
Tabel	6.8	Perbandingan antara berat coran dengan ukuran diameter saluran .....	208
Tabel	6.9	Berat coran dan ukuran saluran .....	210
Tabel	8.1	Tipe garis dan penerapannya .....	259
Tabel	8.2	Simbol dan singkatan dalam penampilan gambar ....	269
Tabel	8.3	Data ukuran untuk gambar benda .....	274
Tabel	8.4	Ukuran kertas gambar .....	275
Tabel	8.5	Toleransi benda pengecoran .....	288
Tabel	8.6	Angka penyusutan dan batas penyimpangan bahan tuangan.....	289
Tabel	8.7	Angka kemiringan sudut tuangan menurut ketinggian bidang .....	292

Tabel	8.8	Toleransi untuk ukuran panjang, lebar tinggi/ tebal dan posisi (mm) .....	301
	8.9	Toleransi ukuran ketebalan sirip .....	302
	8.10	Toleransi kelurusan dan kerataan .....	303
	8.11	Nilai toleransi sudut, ketegak lurus dan kemiringan.....	303
Tabel	9.1	Simbol penunjukkan kualifikasi khusus .....	345
Tabel	9.2	Rekomendasi kecepatan potong untuk bahan-bahan teknik secara umum.....	352
Tabel	9.3	Kecepatan potong (Cutting Speed =Cs)	377
Tabel	9.4	Nilai pemakanan setiap gigi dari berbagai jenis cutter	379
Tabel	9.5	Tekanan Injeksi berdasarkan tipe pengerjaan 1 .....	398
Tabel	9.6	Tekanan Injeksi berdasarkan tipe pengerjaan 2 .....	399
Tabel	9.7	Tekanan Injeksi berdasarkan tipe pengerjaan 3.....	400
Tabel	10.1	Perbandingan ukuran indentor dan tebal bahan.....	416
Tabel	10.2	Perbandingan diameter Indentor (D) terhadap konstanta bahan .....	416
Tabel	10.3	Skala Kekerasan dalam Pengujian kekerasan Rockwell .....	431
Tabel	10.4	Skala Kekerasan dalam Pengujian kekerasan Rockwell .....	435
Tabel	10.5	Bahan uji tarik proporsional menurut standar DP untuk bahan uji persegi empat .....	436
Tabel	10.6	Bahan uji tarik non-proporsional untuk bahan uji bulat .....	436
Tabel	10.7	Ukuran bahan uji tarik non-proporsional untuk pelat	437
Tabel	10.8	Ukuran bahan uji dan perbandingannya terhadap duri pelengkung dan jarak tumpuan .....	448
Tabel	12.1	Dimensi Standar Alur V pada pulley.....	520
Tabel	12.2	Standarisasi roller chain.....	522



## LAMPIRAN-LAMPIRAN

## Tabel Trigonometry

## Natural sines

Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean differences				
											1'	2'	3'	4'	5'
0	0000	0017	0035	0052	0070	0087	0105	0122	0140	0157	3	6	9	12	15
1	0175	0192	0209	0227	0244	0262	0279	0297	0314	0332	3	6	9	12	15
2	0349	0366	0384	0401	0419	0436	0454	0471	0488	0506	3	6	9	12	15
3	0523	0541	0558	0576	0593	0610	0628	0645	0663	0680	3	6	9	12	15
4	0698	0715	0732	0750	0767	0785	0802	0819	0837	0854	3	6	9	12	14
5	0872	0889	0906	0924	0941	0958	0976	0993	1011	1028	3	6	9	12	14
6	1045	1063	1080	1097	1115	1132	1149	1167	1184	1201	3	6	9	12	14
7	1219	1236	1253	1271	1288	1305	1323	1340	1357	1374	3	6	9	12	14
8	1392	1409	1426	1444	1461	1478	1495	1513	1530	1547	3	6	9	12	14
9	1564	1582	1599	1616	1633	1650	1668	1685	1702	1719	3	6	9	12	14
10	1736	1754	1771	1788	1805	1822	1840	1857	1874	1891	3	6	9	11	14
11	1908	1925	1942	1959	1977	1994	2011	2028	2045	2062	3	6	9	11	14
12	2079	2096	2113	2130	2147	2164	2181	2198	2215	2233	3	6	9	11	14
13	2250	2267	2284	2300	2317	2334	2351	2368	2385	2402	3	6	8	11	14
14	2419	2436	2453	2470	2487	2504	2521	2538	2554	2571	3	6	8	11	14
15	2588	2605	2622	2639	2656	2672	2689	2706	2723	2740	3	6	8	11	14
16	2756	2773	2790	2807	2823	2840	2857	2874	2890	2907	3	6	8	11	14
17	2924	2940	2957	2974	2990	3007	3024	3040	3057	3074	3	6	8	11	14
18	3090	3107	3123	3140	3156	3173	3190	3206	3223	3239	3	6	8	11	14
19	3256	3272	3289	3305	3322	3338	3355	3371	3387	3404	3	5	8	11	14
20	3420	3437	3453	3469	3486	3502	3518	3535	3551	3567	3	5	8	11	14
21	3584	3600	3616	3633	3649	3665	3681	3697	3714	3730	3	5	8	11	14
22	3746	3762	3778	3795	3811	3827	3843	3859	3875	3891	3	5	8	11	14
23	3907	3923	3939	3955	3971	3987	4003	4019	4035	4051	3	5	8	11	14
24	4067	4083	4099	4115	4131	4147	4163	4179	4195	4210	3	5	8	11	13
25	4226	4242	4258	4274	4289	4305	4321	4337	4352	4368	3	5	8	11	13
26	4384	4399	4415	4431	4446	4462	4478	4493	4509	4524	3	5	8	10	13
27	4540	4555	4571	4586	4602	4617	4633	4648	4664	4679	3	5	8	10	13
28	4695	4710	4726	4741	4756	4772	4787	4802	4818	4833	3	5	8	10	13
29	4848	4863	4879	4894	4909	4924	4939	4955	4970	4985	3	5	8	10	13
30	5000	5015	5030	5045	5060	5075	5090	5105	5120	5135	3	5	8	10	13
31	5150	5165	5180	5195	5210	5225	5240	5255	5270	5284	2	5	7	10	12
32	5299	5314	5329	5344	5358	5373	5388	5402	5417	5432	2	5	7	10	12
33	5446	5461	5476	5490	5505	5519	5534	5548	5563	5577	2	5	7	10	12
34	5592	5606	5621	5635	5650	5664	5678	5693	5707	5721	2	5	7	10	12
35	5736	5750	5764	5779	5793	5807	5821	5835	5850	5864	2	5	7	9	12
36	5878	5892	5906	5920	5934	5948	5962	5976	5990	6004	2	5	7	9	12
37	6018	6032	6046	6060	6074	6088	6101	6115	6129	6143	2	5	7	9	12
38	6157	6170	6184	6198	6211	6225	6239	6252	6266	6280	2	5	7	9	11
39	6293	6307	6320	6334	6347	6361	6374	6388	6401	6414	2	4	7	9	11
40	6428	6441	6455	6468	6481	6494	6508	6521	6534	6547	2	4	7	9	11
41	6561	6574	6587	6600	6613	6626	6639	6652	6665	6678	2	4	7	9	11
42	6691	6704	6717	6730	6743	6756	6769	6782	6794	6807	2	4	6	9	11
43	6820	6833	6845	6858	6871	6884	6896	6909	6921	6934	2	4	6	8	11
44	6947	6959	6972	6984	6997	7009	7022	7034	7046	7059	2	4	6	8	10
45	7071	7083	7096	7108	7120	7133	7145	7157	7169	7181	2	4	6	8	10
46	7193	7206	7218	7230	7242	7254	7266	7278	7290	7302	2	4	6	8	10
47	7314	7325	7337	7349	7361	7373	7385	7396	7408	7420	2	4	6	8	10
48	7431	7443	7455	7466	7478	7490	7501	7513	7524	7536	2	4	6	8	10
49	7547	7559	7570	7581	7593	7604	7615	7627	7638	7649	2	4	6	8	9
50	7660	7672	7683	7694	7705	7716	7727	7738	7749	7760	2	4	6	7	9
51	7771	7782	7793	7804	7815	7826	7837	7848	7859	7869	2	4	5	7	9
52	7880	7891	7902	7912	7923	7934	7944	7955	7965	7976	2	4	5	7	9
53	7986	7997	8007	8018	8028	8039	8049	8059	8070	8080	2	3	5	7	9
54	8090	8100	8111	8121	8131	8141	8151	8161	8171	8181	2	3	5	7	8
55	8192	8202	8211	8221	8231	8241	8251	8261	8271	8281	2	3	5	7	8
56	8290	8300	8310	8320	8329	8339	8348	8358	8368	8377	2	3	5	6	8
57	8387	8396	8406	8415	8425	8434	8443	8453	8462	8471	2	3	5	6	8
58	8480	8490	8499	8508	8517	8526	8536	8545	8554	8563	2	3	5	6	8
59	8572	8581	8590	8599	8607	8616	8625	8634	8643	8652	1	3	4	6	7
60	8660	8669	8678	8686	8695	8704	8712	8721	8729	8738	1	3	4	6	7

Natural sines															
Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean differences				
											1'	2'	3'	4'	5'
61	.8746	8755	8763	8771	8780	8788	8796	8805	8813	8821	1	3	4	6	7
62	.8829	8838	8846	8854	8862	8870	8878	8886	8894	8902	1	3	4	5	7
63	.8910	8918	8926	8934	8942	8949	8957	8965	8973	8980	1	3	4	5	6
64	.8988	8996	9003	9011	9018	9026	9033	9041	9048	9056	1	3	4	5	6
65	.9063	9070	9078	9085	9092	9100	9107	9114	9121	9128	1	2	4	5	6
66	.9135	9143	9150	9157	9164	9171	9178	9184	9191	9198	1	2	3	5	6
67	.9205	9212	9219	9225	9232	9239	9245	9252	9259	9265	1	2	3	4	6
68	.9272	9278	9285	9291	9298	9304	9311	9317	9323	9330	1	2	3	4	5
69	.9336	9342	9348	9354	9361	9367	9373	9379	9385	9391	1	2	3	4	5
70	.9397	9403	9409	9415	9421	9426	9432	9438	9444	9449	1	2	3	4	5
71	.9455	9461	9466	9472	9478	9483	9489	9494	9500	9505	1	2	3	4	5
72	.9511	9516	9521	9527	9532	9537	9542	9548	9553	9558	1	2	3	3	4
73	.9563	9568	9573	9578	9583	9588	9593	9598	9603	9608	1	2	2	3	4
74	.9613	9617	9622	9627	9632	9636	9641	9646	9650	9655	1	2	2	3	4
75	.9659	9664	9668	9673	9677	9681	9686	9690	9694	9699	1	1	2	3	4
76	.9703	9707	9711	9715	9720	9724	9728	9732	9736	9740	1	1	2	3	3
77	.9744	9748	9751	9755	9759	9763	9767	9770	9774	9778	1	1	2	3	3
78	.9781	9785	9789	9792	9796	9799	9803	9806	9810	9813	1	1	2	2	3
79	.9816	9820	9823	9826	9829	9833	9836	9839	9842	9845	1	1	2	2	3
80	.9848	9851	9854	9857	9860	9863	9866	9869	9871	9874	0	1	1	2	2
81	.9877	9880	9882	9885	9888	9890	9893	9895	9898	9900	0	1	1	2	2
82	.9903	9905	9907	9910	9912	9914	9917	9919	9921	9923	0	1	1	2	2
83	.9925	9928	9930	9932	9934	9936	9938	9940	9942	9943	0	1	1	1	2
84	.9945	9947	9949	9951	9952	9954	9956	9957	9959	9960	0	1	1	1	2
85	.9962	9963	9965	9966	9968	9969	9971	9972	9973	9974	0	0	1	1	1
86	.9976	9977	9978	9979	9980	9981	9982	9983	9984	9985	0	0	1	1	1
87	.9986	9987	9988	9989	9990	9990	9991	9992	9993	9993	0	0	0	1	1
88	.9994	9995	9995	9996	9996	9997	9997	9997	9998	9998	0	0	0	0	0
89	.9998	9999	9999	9999	9999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0	0	0	0	0

Natural cosines															
Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean differences				
											1'	2'	3'	4'	5'
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	9999	9999	9999	9999	0	0	0	0	0
1	.9998	9998	9998	9997	9997	9997	9996	9996	9995	9995	0	0	0	0	0
2	.9994	9993	9993	9992	9991	9990	9990	9989	9988	9987	0	0	0	1	1
3	.9986	9985	9984	9983	9982	9981	9980	9979	9978	9977	0	0	1	1	1
4	.9976	9974	9973	9972	9971	9969	9968	9966	9965	9963	0	0	1	1	1
5	.9962	9960	9959	9957	9956	9954	9952	9951	9949	9947	0	1	1	1	2
6	.9945	9943	9942	9940	9938	9936	9934	9932	9930	9928	0	1	1	1	2
7	.9925	9923	9921	9919	9917	9914	9912	9910	9907	9905	0	1	1	2	2
8	.9903	9900	9898	9895	9893	9890	9888	9885	9882	9880	0	1	1	2	2
9	.9877	9874	9871	9869	9866	9863	9860	9857	9854	9851	0	1	1	2	2
10	.9848	9845	9842	9839	9836	9833	9829	9826	9823	9820	1	1	2	2	3
11	.9816	9813	9810	9806	9803	9799	9796	9792	9789	9785	1	1	2	2	3
12	.9781	9778	9774	9770	9767	9763	9759	9755	9751	9748	1	1	2	2	3
13	.9744	9740	9736	9732	9728	9724	9720	9715	9711	9707	1	1	2	2	3
14	.9703	9699	9694	9690	9686	9681	9677	9673	9668	9664	1	1	2	3	4
15	.9659	9655	9650	9646	9641	9636	9632	9627	9622	9617	1	2	2	3	4
16	.9613	9608	9603	9598	9593	9588	9583	9578	9573	9568	1	2	2	3	4
17	.9563	9558	9553	9548	9542	9537	9532	9527	9521	9516	1	2	3	3	4
18	.9511	9505	9500	9494	9489	9483	9478	9472	9466	9461	1	2	3	4	5
19	.9455	9449	9444	9438	9432	9426	9421	9415	9409	9403	1	2	3	4	5
20	.9397	9391	9385	9379	9373	9367	9361	9354	9348	9342	1	2	3	4	5
21	.9336	9330	9323	9317	9311	9304	9298	9291	9285	9278	1	2	3	4	5
22	.9272	9265	9259	9252	9245	9239	9232	9225	9219	9212	1	2	3	4	6
23	.9205	9198	9191	9184	9178	9171	9164	9157	9150	9143	1	2	3	5	6
24	.9135	9128	9121	9114	9107	9100	9092	9085	9078	9070	1	2	4	5	6
25	.9063	9056	9048	9041	9033	9026	9018	9011	9003	8996	1	3	4	5	6

Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean differences				
											1'	2'	3'	4'	5'
26	.8988	8980	8973	8965	8957	8949	8942	8934	8926	8918	1	3	4	5	6
27	.8910	8902	8894	8886	8878	8870	8862	8854	8846	8838	1	3	4	5	7
28	.8829	8821	8813	8805	8796	8788	8780	8771	8763	8755	1	3	4	6	7
29	.8746	8738	8729	8721	8712	8704	8695	8686	8678	8669	1	3	4	6	7
30	.8660	8652	8643	8634	8625	8616	8607	8599	8590	8581	1	3	4	6	7
31	.8572	8563	8554	8545	8536	8526	8517	8508	8499	8490	2	3	5	6	8
32	.8480	8471	8462	8453	8443	8434	8425	8415	8406	8396	2	3	5	6	8
33	.8387	8377	8368	8358	8348	8339	8329	8320	8310	8300	2	3	5	6	8
34	.8290	8281	8271	8261	8251	8241	8231	8221	8211	8202	2	3	5	7	8
35	.8192	8181	8171	8161	8151	8141	8131	8121	8111	8100	2	3	5	7	8
36	.8090	8080	8070	8059	8049	8039	8028	8018	8007	7997	2	3	5	7	9
37	.7986	7976	7965	7955	7944	7934	7923	7912	7902	7891	2	4	5	7	9
38	.7880	7869	7859	7848	7837	7826	7815	7804	7793	7782	2	4	5	7	9
39	.7771	7760	7749	7738	7728	7716	7705	7694	7683	7672	2	4	6	7	9
40	.7660	7649	7638	7627	7615	7604	7593	7581	7570	7559	2	4	6	8	9
41	.7547	7536	7524	7513	7501	7490	7478	7466	7455	7443	2	4	6	8	10
42	.7431	7420	7408	7396	7385	7373	7361	7349	7337	7325	2	4	6	8	10
43	.7314	7302	7290	7278	7266	7254	7242	7230	7218	7206	2	4	6	8	10
44	.7193	7181	7169	7157	7145	7133	7120	7108	7096	7083	2	4	6	8	10
45	.7071	7059	7046	7034	7022	7009	6997	6984	6972	6959	2	4	6	8	10
46	.6947	6934	6921	6909	6896	6884	6871	6858	6845	6833	2	4	6	8	11
47	.6820	6807	6794	6782	6769	6756	6743	6730	6717	6704	2	4	6	9	11
48	.6691	6678	6665	6652	6639	6626	6613	6600	6587	6574	2	4	7	9	11
49	.6561	6547	6534	6521	6508	6494	6481	6468	6455	6441	2	4	7	9	11
50	.6428	6414	6401	6388	6374	6361	6347	6334	6320	6307	2	4	7	9	11
51	.6293	6280	6266	6252	6239	6225	6211	6198	6184	6170	2	5	7	9	11
52	.6157	6143	6129	6115	6101	6088	6074	6060	6046	6032	2	5	7	9	12
53	.6018	6004	5990	5976	5962	5948	5934	5920	5906	5892	2	5	7	9	12
54	.5878	5864	5850	5835	5821	5807	5793	5779	5764	5750	2	5	7	9	12
55	.5736	5721	5707	5693	5678	5664	5650	5635	5621	5606	2	5	7	10	12
56	.5592	5577	5563	5548	5534	5519	5505	5490	5476	5461	2	5	7	10	12
57	.5446	5432	5417	5402	5388	5373	5358	5344	5329	5314	2	5	7	10	12
58	.5299	5284	5270	5255	5240	5225	5210	5195	5180	5165	2	5	7	10	12
59	.5150	5135	5120	5105	5090	5075	5060	5045	5030	5015	3	5	8	10	13
60	.5000	4985	4970	4955	4939	4924	4909	4894	4879	4863	3	5	8	10	13
61	.4848	4833	4818	4802	4787	4772	4756	4741	4726	4710	3	5	8	10	13
62	.4695	4679	4664	4648	4633	4617	4602	4586	4571	4555	3	5	8	10	13
63	.4540	4524	4509	4493	4478	4462	4446	4431	4415	4399	3	5	8	10	13
64	.4384	4368	4352	4337	4321	4305	4289	4274	4258	4242	3	5	8	11	13
65	.4226	4210	4195	4179	4163	4147	4131	4115	4099	4083	3	5	8	11	13
66	.4067	4051	4035	4019	4003	3987	3971	3955	3939	3923	3	5	8	11	14
67	.3907	3891	3875	3859	3843	3827	3811	3795	3778	3762	3	5	8	11	14
68	.3746	3730	3714	3697	3681	3665	3649	3633	3616	3600	3	5	8	11	14
69	.3584	3567	3551	3535	3518	3502	3486	3469	3453	3437	3	5	8	11	14
70	.3420	3404	3387	3371	3355	3338	3322	3305	3289	3272	3	5	8	11	14
71	.3256	3239	3223	3206	3190	3173	3156	3140	3123	3107	3	6	8	11	14
72	.3090	3074	3057	3040	3024	3007	2990	2974	2957	2940	3	6	8	11	14
73	.2924	2907	2890	2874	2857	2840	2823	2807	2790	2773	3	6	8	11	14
74	.2756	2740	2723	2706	2689	2672	2656	2639	2622	2605	3	6	8	11	14
75	.2588	2571	2554	2538	2521	2504	2487	2470	2453	2436	3	6	8	11	14
76	.2419	2402	2385	2368	2351	2334	2317	2300	2284	2267	3	6	8	11	14
77	.2250	2233	2215	2198	2181	2164	2147	2130	2113	2096	3	6	9	11	14
78	.2079	2062	2045	2028	2011	1994	1977	1959	1942	1925	3	6	9	11	14
79	.1908	1891	1874	1857	1840	1822	1805	1788	1771	1854	3	6	9	11	14
80	.1736	1719	1702	1685	1668	1650	1633	1616	1599	1582	3	6	9	12	14
81	.1564	1547	1530	1513	1495	1478	1461	1444	1426	1409	3	6	9	12	14
82	.1392	1374	1357	1340	1323	1305	1288	1271	1253	1236	3	6	9	12	14
83	.1219	1201	1184	1167	1149	1132	1115	1097	1080	1063	3	6	9	12	14
84	.1045	1028	1011	993	976	958	941	924	906	889	3	6	9	12	14
85	.0872	0854	0837	0819	0802	0785	0767	0750	0732	0715	3	6	9	12	14
86	.0698	0680	0663	0645	0628	0610	0593	0576	0558	0541	3	6	9	12	15
87	.0523	0506	0488	0471	0454	0436	0419	0401	0384	0366	3	6	9	12	15
88	.0349	0332	0314	0297	0279	0262	0244	0227	0209	0192	3	6	9	12	15
89	.0175	0157	0140	0122	0105	0087	0070	0052	0035	0017	3	6	9	12	15

Natural tangents

Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean differences				
											1'	2'	3'	4'	5'
0	.0000	.0017	.0035	.0052	.0070	.0087	.0105	.0122	.0140	.0157	3	6	9	12	15
1	.0175	.0192	.0209	.0227	.0244	.0262	.0279	.0297	.0314	.0332	3	6	9	12	15
2	.0349	.0367	.0384	.0402	.0419	.0437	.0454	.0472	.0489	.0507	3	6	9	12	15
3	.0524	.0542	.0559	.0577	.0594	.0612	.0629	.0647	.0664	.0682	3	6	9	12	15
4	.0699	.0717	.0734	.0752	.0769	.0787	.0805	.0822	.0840	.0857	3	6	9	12	15
5	.0875	.0892	.0910	.0928	.0945	.0963	.0981	.0998	.1016	.1033	3	6	9	12	15
6	.1051	.1069	.1086	.1104	.1122	.1139	.1157	.1175	.1192	.1210	3	6	9	12	15
7	.1228	.1246	.1263	.1281	.1299	.1317	.1334	.1352	.1370	.1388	3	6	9	12	15
8	.1405	.1423	.1441	.1459	.1477	.1495	.1512	.1530	.1548	.1566	3	6	9	12	15
9	.1584	.1602	.1620	.1638	.1655	.1673	.1691	.1709	.1727	.1745	3	6	9	12	15
10	.1763	.1781	.1799	.1817	.1835	.1853	.1871	.1890	.1908	.1926	3	6	9	12	15
11	.1944	.1962	.1980	.1998	.2016	.2035	.2053	.2071	.2089	.2107	3	6	9	12	15
12	.2126	.2144	.2162	.2180	.2199	.2217	.2235	.2254	.2272	.2290	3	6	9	12	15
13	.2309	.2327	.2345	.2364	.2382	.2401	.2419	.2438	.2456	.2475	3	6	9	12	15
14	.2493	.2512	.2530	.2549	.2568	.2586	.2605	.2623	.2642	.2661	3	6	9	12	16
15	.2679	.2698	.2717	.2736	.2754	.2773	.2792	.2811	.2830	.2849	3	6	9	13	16
16	.2867	.2886	.2905	.2924	.2943	.2962	.2981	.3000	.3019	.3038	3	6	9	13	16
17	.3057	.3076	.3096	.3115	.3134	.3153	.3172	.3191	.3211	.3230	3	6	10	13	16
18	.3249	.3269	.3288	.3307	.3327	.3346	.3365	.3385	.3404	.3424	3	6	10	13	16
19	.3443	.3463	.3482	.3502	.3522	.3541	.3561	.3581	.3600	.3620	3	7	10	13	16
20	.3640	.3659	.3679	.3699	.3719	.3739	.3759	.3779	.3799	.3819	3	7	10	13	17
21	.3839	.3859	.3879	.3899	.3919	.3939	.3959	.3979	.4000	.4020	3	7	10	13	17
22	.4040	.4061	.4081	.4101	.4122	.4142	.4163	.4183	.4204	.4224	3	7	10	14	17
23	.4245	.4265	.4286	.4307	.4327	.4348	.4369	.4390	.4411	.4431	3	7	10	14	17
24	.4452	.4473	.4494	.4515	.4536	.4557	.4578	.4599	.4621	.4642	4	7	11	14	18
25	.4663	.4684	.4706	.4727	.4748	.4770	.4791	.4813	.4834	.4856	4	7	11	14	18
26	.4877	.4899	.4921	.4942	.4964	.4986	.5008	.5029	.5051	.5073	4	7	11	15	18
27	.5095	.5117	.5139	.5161	.5184	.5206	.5228	.5250	.5272	.5295	4	7	11	15	18
28	.5317	.5340	.5362	.5384	.5407	.5430	.5452	.5475	.5498	.5520	4	8	11	15	19
29	.5543	.5566	.5589	.5612	.5635	.5658	.5681	.5704	.5727	.5750	4	8	12	15	19
30	.5774	.5797	.5820	.5844	.5867	.5890	.5914	.5938	.5961	.5985	4	8	12	16	20
31	.6009	.6032	.6056	.6080	.6104	.6128	.6152	.6176	.6200	.6224	4	8	12	16	20
32	.6249	.6273	.6297	.6322	.6346	.6371	.6395	.6420	.6445	.6469	4	8	12	16	20
33	.6494	.6519	.6544	.6569	.6594	.6619	.6644	.6669	.6694	.6720	4	8	13	17	21
34	.6745	.6771	.6796	.6822	.6847	.6873	.6899	.6924	.6950	.6976	4	9	13	17	21
35	.7002	.7028	.7054	.7080	.7107	.7133	.7159	.7186	.7212	.7239	4	9	13	18	22
36	.7265	.7292	.7319	.7346	.7373	.7400	.7427	.7454	.7481	.7508	5	9	14	18	23
37	.7536	.7563	.7590	.7618	.7646	.7673	.7701	.7729	.7757	.7785	5	9	14	18	23
38	.7813	.7841	.7869	.7898	.7926	.7954	.7983	.8012	.8040	.8069	5	9	14	19	24
39	.8098	.8127	.8156	.8185	.8214	.8243	.8273	.8302	.8332	.8361	5	10	15	20	24
40	.8391	.8421	.8451	.8481	.8511	.8541	.8571	.8601	.8632	.8662	5	10	15	20	25
41	.8693	.8724	.8754	.8785	.8816	.8847	.8878	.8910	.8941	.8972	5	10	16	21	26
42	.9004	.9036	.9067	.9099	.9131	.9163	.9195	.9228	.9260	.9293	5	11	16	21	27
43	.9325	.9358	.9391	.9424	.9457	.9490	.9523	.9556	.9590	.9623	6	11	17	22	28
44	.9657	.9691	.9725	.9759	.9793	.9827	.9861	.9896	.9930	.9965	6	11	17	23	29
45	1.000	.0035	.0070	.0105	.0141	.0176	.0212	.0247	.0283	.0319	6	12	18	24	30
46	1.0355	.0392	.0428	.0464	.0501	.0538	.0575	.0612	.0649	.0686	6	12	18	25	31
47	1.0724	.0761	.0799	.0837	.0875	.0913	.0951	.0990	.1028	.1067	6	13	19	25	32
48	1.1106	.1145	.1184	.1224	.1263	.1303	.1343	.1383	.1423	.1463	7	13	20	27	33
49	1.1504	.1544	.1585	.1626	.1667	.1708	.1750	.1792	.1833	.1875	7	14	21	28	34
50	1.1918	.1960	.2002	.2045	.2088	.2131	.2174	.2218	.2261	.2305	7	14	22	29	36
51	1.2349	.2393	.2437	.2482	.2527	.2572	.2617	.2662	.2708	.2753	8	15	23	30	38
52	1.2799	.2846	.2892	.2938	.2985	.3032	.3079	.3127	.3175	.3222	-8	16	24	31	39
53	1.3270	.3319	.3367	.3416	.3465	.3514	.3564	.3613	.3663	.3713	8	16	25	33	41
54	1.3764	.3814	.3865	.3916	.3968	.4019	.4071	.4124	.4176	.4229	9	17	26	34	43
55	1.4281	.4335	.4388	.4442	.4496	.4550	.4605	.4659	.4715	.4770	9	18	27	36	45
56	1.4826	.4882	.4938	.4994	.5051	.5108	.5166	.5224	.5282	.5340	10	19	29	38	48
57	1.5399	.5458	.5517	.5577	.5637	.5697	.5757	.5818	.5880	.5941	10	20	30	40	50
58	1.6003	.6066	.6128	.6191	.6255	.6319	.6383	.6447	.6512	.6577	11	21	32	43	53
59	1.6643	.6709	.6775	.6842	.6909	.6977	.7045	.7113	.7182	.7251	11	23	34	45	56
60	1.7321	.7391	.7461	.7532	.7603	.7675	.7747	.7820	.7893	.7966	12	24	36	48	60

Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean differences				
											1'	2'	3'	4'	5'
61	1 8040	8115	8190	8265	8341	8418	8495	8572	8650	8728	13	26	38	51	64
62	1 8807	8887	8967	9047	9128	9210	9292	9375	9458	9542	14	27	41	55	68
63	1 9626	9711	9797	9883	9970	0057	0145	0233	0323	0413	15	29	44	58	73
64	2 0503	0594	0686	0778	0872	0965	1060	1155	1251	1348	16	31	47	63	78
65	2 1445	1543	1642	1742	1842	1943	2045	2148	2251	2355	17	34	51	68	85
66	2 2460	2566	2673	2781	2889	2998	3109	3220	3332	3445	18	37	55	73	92
67	2 3559	3673	3789	3906	4023	4142	4262	4383	4504	4627	20	40	60	79	99
68	2 4751	4876	5002	5129	5257	5386	5517	5649	5782	5916	22	43	65	87	108
69	2 6051	6187	6325	6464	6605	6746	6889	7034	7179	7326	24	47	71	95	119
70	2 7475	7625	7776	7929	8083	8239	8397	8556	8716	8878	26	52	78	104	131
71	2 9042	9208	9375	9544	9714	9887	0061	0237	0415	0595	29	58	87	116	145
72	3 0777	0961	1146	1334	1524	1716	1910	2106	2305	2506	32	64	96	129	161
73	3 2709	2914	3122	3332	3544	3759	3977	4197	4420	4646	36	72	108	144	180
74	3 4874	5105	5339	5576	5816	6059	6305	6554	6806	7062	41	81	122	163	204
75	3 7321	7583	7848	8118	8391	8667	8947	9232	9520	9812	46	93	139	186	232
76	4 0108	0408	0713	1022	1335	1653	1976	2303	2635	2972					
77	4 3315	3662	4015	4374	4737	5107	5483	5864	6252	6646					
78	4 7046	7453	7867	8288	8716	9152	9504	0045	0504	0970					
79	5 1446	1929	2422	2924	3435	3955	4486	5026	5578	6140					
80	5 6713	7297	7894	8502	9124	9758	0405	1066	1742	2432					
81	6 3138	3859	4596	5350	6122	6912	7720	8548	9395	0264	Mean differences no longer sufficiently accurate.				
82	7 1154	2066	3002	3962	4947	5958	6996	8062	9158	0285					
83	8 1443	2636	3863	5126	6427	7769	9152	0579	2052	3572					
84	9 5144	9 677	9 845	10 02	10 20	10 39	10 58	10 78	10 99	11 20					
85	11 430														
		11.66	11.91	12.16	12.43	12.71	13.00	13.30	13.62	13.95					
86	14 301														
		14.67	15.06	15.46	15.89	16.35	16.83	17.34	17.89	18.46					
87	19 081														
		19.74	20.45	21.20	22.02	22.90	23.86	24.90	26.03	27.27					
88	28 636														
		30.14	31.82	33.69	35.80	38.19	40.92	44.07	47.74	52.08					
89	57 290														
		63.66	71.62	81.85	95.49	114.6	143.2	191.0	286.5	573.0					

# Conversion tables

**Fractional Sub-divisions of an inch to decimals and to millimetres.**

in	in	milli- metres	in	in	milli- metres
$\frac{1}{16}$	0.015625	0.3969	$\frac{3}{16}$	0.609375	15.4781
$\frac{1}{8}$	0.03125	0.7938	$\frac{5}{8}$	0.625	15.875
$\frac{3}{16}$	0.046875	1.1906	$\frac{1}{4}$	0.640625	16.2719
$\frac{1}{4}$	0.0625	1.5875	$\frac{3}{8}$	0.65625	16.6688
$\frac{5}{16}$	0.078125	1.9844	$\frac{1}{2}$	0.671875	17.0656
$\frac{3}{8}$	0.09375	2.3812	$\frac{5}{8}$	0.6875	17.4625
$\frac{7}{16}$	0.109375	2.7781	$\frac{3}{4}$	0.703125	17.8594
$\frac{1}{2}$	0.125	3.175	$\frac{7}{8}$	0.71875	18.2562
$\frac{9}{16}$	0.140625	3.5719	$\frac{15}{16}$	0.734375	18.6531
$\frac{5}{8}$	0.15625	3.9688	$\frac{3}{4}$	0.75	19.05
$\frac{11}{16}$	0.171875	4.3656	$\frac{15}{16}$	0.765625	19.4469
$\frac{3}{4}$	0.1875	4.7625	$\frac{7}{8}$	0.78125	19.8438
$\frac{13}{16}$	0.203125	5.1594	$\frac{15}{16}$	0.796875	20.2406
$\frac{7}{8}$	0.21875	5.5562	$\frac{1}{2}$	0.8125	20.6375
$\frac{15}{16}$	0.234375	5.9531	$\frac{3}{4}$	0.828125	21.0344

**Millimetres to inches  
Based on 1 inch=25.4 millimetres**

mm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	in									
—	—	0.03937	0.07874	0.11811	0.15748	0.19685	0.23622	0.27559	0.31496	0.35433
10	0.39370	0.43307	0.47244	0.51181	0.55118	0.59055	0.62992	0.66929	0.70866	0.74803
20	0.78740	0.82677	0.86614	0.90551	0.94488	0.98425	1.02362	1.06299	1.10236	1.14173
30	1.18110	1.22047	1.25984	1.29921	1.33858	1.37795	1.41732	1.45669	1.49606	1.53543
40	1.57480	1.61417	1.65354	1.69291	1.73228	1.77165	1.81102	1.85039	1.88976	1.92913
50	1.96850	2.00787	2.04724	2.08661	2.12598	2.16535	2.20472	2.24409	2.28346	2.32283
60	2.36220	2.40157	2.44094	2.48031	2.51969	2.55906	2.59843	2.63780	2.67717	2.71654
70	2.75591	2.79528	2.83465	2.87402	2.91339	2.95276	2.99213	3.03150	3.07087	3.11024
80	3.14961	3.18898	3.22835	3.26772	3.30709	3.34646	3.38583	3.42520	3.46457	3.50394
90	3.54331	3.58268	3.62205	3.66142	3.70079	3.74016	3.77953	3.81890	3.85827	3.89764
<b>100</b>	3.93701	3.97638	4.01575	4.05512	4.09449	4.13386	4.17323	4.21260	4.25197	4.29134
10	4.33071	4.37008	4.40945	4.44882	4.48819	4.52756	4.56693	4.60630	4.64567	4.68504
20	4.72441	4.76378	4.80315	4.84252	4.88189	4.92126	4.96063	5.00000	5.03937	5.07874
30	5.11811	5.15748	5.19685	5.23622	5.27559	5.31496	5.35433	5.39370	5.43307	5.47244
40	5.51181	5.55118	5.59055	5.62992	5.66929	5.70866	5.74803	5.78740	5.82677	5.86614
50	5.90551	5.94488	5.98425	6.02362	6.06300	6.10237	6.14174	6.18111	6.22048	6.25985
60	6.29921	6.33858	6.37795	6.41732	6.45669	6.49606	6.53543	6.57480	6.61417	6.65354
70	6.69291	6.73228	6.77165	6.81102	6.85039	6.88976	6.92913	6.96850	7.00787	7.04724
80	7.08661	7.12600	7.16537	7.20474	7.24411	7.28348	7.32285	7.36222	7.40159	7.44096
90	7.48031	7.51968	7.55905	7.59842	7.63779	7.67716	7.71653	7.75590	7.79527	7.83464



Teknik pengecoran logam

$\frac{1}{4}$	0-25	6-35	$\frac{37}{32}$	0-84375	21-4312	<b>200</b>	7-8740	7-9134	7-9528	7-9921	8-0315	8-0709	8-1102	8-1496	8-1890	8-2283
$\frac{17}{64}$	0-265625	6-7469	$\frac{33}{32}$	0-859375	21-8281	10	8-2677	8-3071	8-3465	8-3858	8-4252	8-4646	8-5039	8-5433	8-5827	8-6220
$\frac{9}{32}$	0-28125	7-1438	$\frac{7}{8}$	0-875	22-225	20	8-6614	8-7008	8-7402	8-7795	8-8189	8-8583	8-8976	8-9370	8-9764	9-0157
$\frac{19}{64}$	0-296875	7-5406	$\frac{35}{32}$	0-890625	22-6219	30	9-0551	9-0945	9-1339	9-1732	9-2126	9-2520	9-2913	9-3307	9-3701	9-4094
$\frac{5}{16}$	0-3125	7-9375	$\frac{41}{32}$	0-90625	23-0188	40	9-4488	9-4882	9-5276	9-5669	9-6063	9-6457	9-6850	9-7244	9-7638	9-8031
$\frac{31}{64}$	0-328125	8-3344	$\frac{59}{64}$	0-921875	23-4156	50	9-8425	9-8819	9-9213	9-9606	10-0000	10-0394	10-0787	10-1181	10-1575	10-1969
$\frac{11}{32}$	0-34375	8-7312	$\frac{15}{16}$	0-9375	23-8125	60	10-2362	10-2756	10-3150	10-3543	10-3937	10-4331	10-4724	10-5118	10-5512	10-5906
$\frac{23}{64}$	0-359375	9-1281	$\frac{63}{64}$	0-953125	24-2094	70	10-6299	10-6693	10-7087	10-7480	10-7874	10-8268	10-8661	10-9055	10-9449	10-9843
$\frac{3}{8}$	0-375	9-525	$\frac{31}{32}$	0-96875	24-6062	80	11-0236	11-0630	11-1024	11-1417	11-1811	11-2205	11-2598	11-2992	11-3386	11-3780
$\frac{25}{64}$	0-390625	9-9219	$\frac{67}{64}$	0-984375	25-0031	90	11-4173	11-4567	11-4961	11-5354	11-5748	11-6142	11-6535	11-6929	11-7323	11-7717
$\frac{13}{32}$	0-40625	10-3188	1	1	25-4	<b>300</b>	11-8110	11-8504	11-8898	11-9291	11-9685	12-0079	12-0472	12-0866	12-1260	12-1654
$\frac{27}{64}$	0-421875	10-7156	2	2	50-800	10	12-2047	12-2441	12-2835	12-3228	12-3622	12-4016	12-4409	12-4803	12-5197	12-5591
$\frac{7}{16}$	0-4375	11-1125	3	3	76-200	20	12-5984	12-6378	12-6772	12-7165	12-7559	12-7953	12-8346	12-8740	12-9134	12-9528
$\frac{29}{64}$	0-453125	11-5094	4	4	101-600	30	12-9921	13-0315	13-0709	13-1102	13-1496	13-1890	13-2283	13-2677	13-3071	13-3465
$\frac{15}{32}$	0-46875	11-9062	5	5	127-000	40	13-3858	13-4252	13-4646	13-5039	13-5433	13-5827	13-6220	13-6614	13-7008	13-7402
$\frac{31}{64}$	0-484375	12-3031	6	6	152-400	50	13-7795	13-8189	13-8583	13-8976	13-9370	13-9764	14-0157	14-0551	14-0945	14-1339
$\frac{1}{2}$	0-5	12-7	7	7	177-800	60	14-1732	14-2126	14-2520	14-2913	14-3307	14-3701	14-4094	14-4488	14-4882	14-5276
$\frac{17}{64}$	0-515625	13-0969	8	8	203-200	70	14-5669	14-6063	14-6457	14-6850	14-7244	14-7638	14-8031	14-8425	14-8819	14-9213
$\frac{17}{32}$	0-53125	13-4938	9	9	228-600	80	14-9606	15-0000	15-0394	15-0787	15-1181	15-1575	15-1969	15-2362	15-2756	15-3150
$\frac{33}{64}$	0-546875	13-8906	10	10	254-000	90	15-3543	15-3937	15-4331	15-4724	15-5118	15-5512	15-5906	15-6299	15-6693	15-7087
$\frac{9}{16}$	0-5625	14-2875	11	11	279-400	<b>400</b>	15-7480	15-7874	15-8268	15-8661	15-9055	15-9449	15-9843	16-0236	16-0630	16-1024
$\frac{17}{32}$	0-578125	14-6844	12	12	304-800	10	16-1417	16-1811	16-2205	16-2598	16-2992	16-3386	16-3780	16-4173	16-4567	16-4961
$\frac{19}{64}$	0-59375	15-0812				20	16-5354	16-5748	16-6142	16-6535	16-6929	16-7323	16-7717	16-8110	16-8504	16-8898
						30	16-9291	16-9685	17-0079	17-0472	17-0866	17-1260	17-1654	17-2047	17-2441	17-2835
						40	17-3228	17-3622	17-4016	17-4409	17-4803	17-5197	17-5591	17-5984	17-6378	17-6772
						50	17-7165	17-7559	17-7953	17-8346	17-8740	17-9134	17-9528	17-9921	18-0315	18-0709
						60	18-1102	18-1496	18-1890	18-2283	18-2677	18-3071	18-3465	18-3858	18-4252	18-4646
						70	18-5039	18-5433	18-5827	18-6220	18-6614	18-7008	18-7402	18-7795	18-8189	18-8583
						80	18-8976	18-9370	18-9764	19-0157	19-0551	19-0945	19-1339	19-1732	19-2126	19-2520
						90	19-2913	19-3307	19-3701	19-4094	19-4488	19-4882	19-5276	19-5669	19-6063	19-6457
						<b>500</b>	19-6850	19-7244	19-7638	19-8031	19-8425	19-8819	19-9213	19-9606	20-0000	20-0394



ISBN 978-979-060-122-2  
ISBN 978-979-060-125-3

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 17.666,00