



JILID 1

Widarto

Teknik Pemesinan

untuk
Sekolah
Menengah
Kejuruan



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

Widarto

TEKNIK PEMESINAN

JILID 1

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 PEMESINAN

JILID 1

Untuk SMK

Penulis : Widarto

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

WID WIDARTO

t

Teknik Pemesinan Jilid 1 untuk SMK /oleh Widarto ----
Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan,
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah,
Departemen Pendidikan Nasional, 2008.

xii, 256 hlm

Daftar Pustaka : Lampiran. A

Lampiran : Lampiran. B

Index : Lampiran. C

ISBN : 978-979-060-115-4

ISBN : 978-979-060-116-1

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 kehadiran 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 di 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

PENGANTAR UMUM

Proses pemotongan logam merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengubah bentuk suatu produk (komponen mesin) dari logam dengan cara memotong. Berdasarkan pada cara pemotongannya, proses pemotongan logam dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok dasar, yaitu:

1. Proses pemotongan dengan mesin las
2. Proses pemotongan dengan mesin pres
3. Proses pemotongan dengan mesin perkakas
4. Proses pemotongan non-konvensional (*Electrical Discharge Machining, Laser Beam Machining, Chemical Milling, dsb.*).

Dari keempat proses pemotongan tersebut, buku ini hanya akan membahas kelompok ke-3 yaitu proses pemotongan dengan menggunakan pahat potong yang dipasang pada mesin perkakas dan kelompok ke-4, khususnya mesin EDM (*Electrical Discharge Machining*). Dalam istilah teknik, proses ini sering disebut dengan nama Proses Pemotongan Logam (*Metal Cutting Process*) atau Proses Pemesinan (*Machining Process*). Oleh karena itu, untuk menghindari kesalahpahaman tentang istilah maka selanjutnya dipilih nama yang terakhir yaitu proses pemesinan.

Buku Teknik Pemesinan ini terdiri dari **15 Bab**, yang memuat secara rinci hampir semua proses pemesinan yang biasa dipakai dalam proses produksi dan hal-hal yang terkait dengan proses pemesinan. Dimulai dari **Bab 1** tentang Memahami dasar-dasar Kejuruan, **Bab 2** Memahami Proses-proses dasar Kejuruan, **Bab 3** Merealisisi Kerja yang Aman, **Bab 4** Memahami Kaidah Pengukuran, **Bab 5** Memahami Gambar Teknik, **Bab 6** Mengenal Proses Bubut (*Turning*), **Bab 7** Mengenal Proses Frais (*Milling*), **Bab 8** Mengenal Proses Gurdi (*Drilling*), **Bab 9** Mengenal Proses Sekrap (*Shaping*), **Bab 10** Mengenal Proses Gerinda (*Grinding*), **Bab 11** Mengenal Cairan Pendingin yang Dipakai dalam Proses Pemesinan, **Bab 12** Memahami Mesin CNC Dasar, **Bab 13** Memahami Mesin CNC Lanjut, **Bab 14** Mengenal EDM, dan **Bab 15** Memahami Toleransi Ukuran dan Geometrik. Untuk mempermudah pemahaman, materi buku ini dibuat dengan menganut sistematika pembahasan sebagaimana yang akan dibahas pada beberapa alinea berikut.

Sebagai permulaan, **Bab 1** Memahami Dasar-dasar Kejuruan menjelaskan tentang Statika dan Tegangan, Mengenal Komponen Mesin, dan Mengenal Material dan Mineral.

Dilanjutkan **Bab 2** Memahami Proses-proses Dasar Kejuruan yang menjelaskan Proses Pengecoran Logam, Mengenal Proses Pemesinan, Mengenal Proses Pengerjaan Panas, dan Mesin Konversi Energi.

Berikutnya **Bab 3** Merealisasi Kerja yang Aman, membahas tentang Kesehatan dan Keselamatan Kerja, menguraikan Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3), Manajemen Bahaya, Contoh Pengendalian Bahaya Kebisingan (*noise*), Pencahayaan, Pengendalian Bahaya Pencemaran Udara/Polusi, Alat Perlindungan Diri, Pencegahan dan Pemadaman Kebakaran, Pedoman Singkat Antisipasi dan Tindakan Pemadaman Kebakaran, Fasilitas Penunjang, serta Pemeliharaan dan Penggunaan Alat-alat Perkakas. Bahasan terakhir ini sangat penting untuk diperhatikan dalam setiap pekerjaan pemesinan, agar pekerja selalu menjaga keamanan dan keselamatan baik bagi operatornya, mesin, maupun alat-alat perkakasnya.

Bab 4 Memahami Kaidah Pengukuran, membahas alat ukur yang umum digunakan dalam pekerjaan pemesinan yaitu jangka sorong, mikrometer, dan jam ukur (*dial indicator*), yang dilanjutkan dengan membahas sistem satuan yang digunakan dalam proses pemesinan, yaitu sistem Metris (*Metric system*) dan sistem Imperial (*Imperial system/British system*).

Bab 5 Memahami Gambar Teknik yang memberikan penjelasan Mengenai Alat Menggambar Teknik, Lembar Kerja, dan Membaca Gambar Teknik.

Bab 6 membahas Proses Bubut (*Turning*) yang merupakan Bab yang paling banyak isinya. Maklum, proses bubut adalah proses pemesinan yang sering digunakan dalam proses produksi. Bab ini menguraikan parameter yang diatur pada Mesin Bubut. Tiga parameter utama pada setiap proses bubut adalah kecepatan putar spindel (*speed*), gerak makan (*feed*) dan kedalaman potong (*depth of cut*). Selanjutnya dibahas geometri pahat yang menguraikan besaran sudut pada pahat bubut, yang terdiri dari sudut beram (*rake angle*), sudut bebas (*clearance angle*), dan sudut sisi potong (*cutting edge angle*). Kemudian dipaparkan mengenai alat bantu produksi, dan jenis-jenis Mesin Bubut. Pada bahasan mengenai proses bubut ini diakhiri dengan uraian tentang perencanaan dan perhitungan dalam proses bubut yang diawali dengan penjelasan tentang elemen dasar proses bubut yang dapat dihitung yaitu kecepatan potong, kecepatan makan, dan kecepatan terjadinya beram. Pada sub-Bab terakhir, lebih detail dijelaskan mulai dari material pahat (yaitu baja karbon sampai dengan keramik dan intan, pemilihan mesin (dengan pertimbangan yang mendasar adalah dimensi benda kerja yang akan dikerjakan), penentuan langkah kerja (meliputi persiapan bahan benda kerja, *setting* mesin, pemasangan pahat, penentuan jenis pemotongan, penentuan kondisi pemotongan, perhitungan waktu pemotongan, dan pemeriksaan hasil berdasarkan gambar kerja), perencanaan proses membubut, mulai dari membubut lurus, tirus, ulir, alur, mengkartel, membuat profil, eksentris, dan proses pembubutan cembung maupun cekung.

Bab 7 menjabarkan Proses Frais (*Milling*). Pada Bab ini diawali dari klasifikasi proses frais yang diklasifikasikan dalam tiga jenis yaitu berdasarkan jenis pahat, arah penyayatan, dan posisi relatif pahat terhadap benda kerja. Dibahas juga tentang metode kerja Mesin Frais yang ditentukan berdasarkan arah relatif gerak makan meja Mesin Frais terhadap putaran pahat. Metode proses frais ini ada dua yaitu frais naik (*up milling*) dan frais turun (*down milling*). Kemudian jenis-jenis Mesin Frais, terdiri dari *column and knee milling machines*, *bed type milling machines*, dan *special purposes*. Dilanjutkan parameter pada proses frais yaitu parameter yang dapat langsung diatur oleh operator mesin ketika sedang mengoperasikan Mesin Frais : putaran spindel (n), gerak makan (f), dan kedalaman potong (a). Berikutnya diuraikan geometri pahat frais, peralatan sebagai alat bantu Mesin Frais terdiri dari arbor, *tool holder*, dan kolet. Dijelaskan pula alat pencekam dan pemegang benda kerja yang menjelaskan pemegang benda kerja pada Mesin Frais dan beberapa macam asesoris yang berguna untuk membantu pengaturan Mesin Frais maupun penempatan benda kerja. Sub-Bab berikutnya elemen dasar proses frais yang menjelaskan tentang kecepatan potong, gerak makan per gigi, waktu pemotongan, kecepatan pembentukan beram dan diakhiri dengan contoh-contoh pengerjaan benda kerja yang terdiri dari proses frais datar/rata (*surface milling*) dan proses frais roda gigi.

Bab 8 menjelaskan tentang proses pembuatan lubang bulat dengan menggunakan mata bor (*twist drill*) yang disebut dengan Proses Gurdi (*Drilling*). Pada Bab ini dimulai dari pengertian Mesin Gurdi dan jenis-jenisnya. Mesin Gurdi dikelompokkan menjadi Mesin Gurdi *portable*, Mesin Gurdi peka, Mesin Gurdi vertical, Mesin Gurdi radial, Mesin Gurdi *turret*, Mesin Gurdi spindel jamak, Mesin Gurdi produksi, dan Mesin Gurdi lubang dalam. Kemudian dibahas tentang perkakas Mesin Gurdi yang terdiri dari ragam, klem set, landasan (blok paralel), pencekam mata bor, sarung pengurang, pasak pembuka, *boring head*, dan mata bor. Setelah diketahui perkakas Mesin Gurdi selanjutnya dijelaskan mengenai geometri mata bor (*twist drill*) yang berisi tentang sudut-sudut pada mata bor yaitu sudut helik (*helix angle*), sudut ujung (*point angle / lip angle*, $2\chi_r$), dan sudut bebas (*clearance angle*, α). Diuraikan juga tentang pencekaman mata bor dan benda kerja yang berisi tentang alat pencekaman dan cara pencekaman yang benar. Dan pada akhir bab ini, dibahas tentang elemen dasar pada proses gurdi, serta perencanaan proses bor. Elemen dasar atau parameter proses gurdi pada dasarnya sama dengan parameter proses pemesinan yang lain, akan tetapi dalam proses gurdi selain kecepatan potong, gerak makan, dan kedalaman potong perlu dipertimbangkan pula gaya aksial, dan momen puntir yang diperlukan pada proses gurdi.

Pada **Bab 9** dijelaskan Proses Sekrap (*Shaping*). Bab ini cukup singkat, yakni hanya menguraikan apa itu Mesin Sekrap dan jenis-

jenisnya, kemudian apa saja elemen dasar Mesin Sekrap. Jenis Mesin Sekrap yang ada meliputi Mesin Sekrap datar atau horizontal (*shaper*), Mesin Sekrap vertical (*slotter*), dan Mesin Sekrap eretan (*planner*). Untuk elemen proses sekrap pada dasarnya sama dengan proses pemesinan lainnya, yaitu kecepatan potong, kecepatan pemakanan, waktu pemotongan, dan kecepatan pembentukan beram.

Bab 10 yang menjelaskan Proses Gerinda (*Grinding*), menuliskan jenis-jenis Mesin Gerinda dan menjelaskan batu asah gerinda. Jenis Mesin Gerinda terdiri dari Mesin Gerinda datar, dan Mesin Gerinda silindris. Untuk batu asah dipaparkan mengenai jenis-jenis butir asahan, ukuran butiran asahan, tingkat kekerasan (*grade*), macam-macam perekat, susunan butiran asah, bentuk-bentuk batu gerinda, klasifikasi batu gerinda, spesifikasi batu gerinda dan pemasangan batu gerinda.

Bab 11 berisi uraian tentang Cairan Pendingin yang biasa dipakai pada proses pemesinan. Dimulai dari jenis-jenis Cairan Pendingin yang biasa dipakai, terdiri dari minyak murni (*straight oils*), cairan semi sintetis (*soluble oils semisynthetic fluids*), dan cairan sintetis (*synthetic fluids*). Kemudian dipaparkan cara pemberian Cairan Pendingin yaitu dengan cara manual disiramkan ke benda kerja, disemprotkan (*jet application of fluid*), dan dikabutkan (*mist application of fluid*). Dibahas juga pengaruh Cairan Pendingin pada proses pemesinan sebagai fungsi utama dan dapat juga sebagai fungsi kedua. Selanjutnya dibahas mengenai kriteria pemilihan Cairan Pendingin dilihat dari unjuk kerja proses, harga, keamanan terhadap lingkungan dan keamanan terhadap kesehatan. Dan di akhir Bab ini diuraikan tentang perawatan serta pembuangan Cairan Pendingin yang benar dan aman.

Bab 12 menguraikan tentang Mesin CNC Dasar. Ada dua Mesin CNC dasar yang dijelaskan yakni Mesin Bubut TU 2A dan Mesin Frais TU 3A, karena kedua mesin ini merupakan dasar bagi Mesin CNC generasi di atasnya. Pada keduanya dijelaskan hal yang mirip, yakni data teknologisnya, bagaimana pemrogramannya, serta bagaimana pengoperasiannya. Data teknologis pada Mesin CNC sama dengan pada proses pemesinan lainnya, yaitu terdiri dari kecepatan potong, jumlah putaran, dan kecepatan asutan.

Bab 13 sedikit mengulang Bab 12 dan dilanjutkan membahas Mesin CNC secara lebih detail. Bab ini membahas lebih jelas dan dalam Mesin CNC, khususnya bagaimana suatu Mesin CNC bekerja. Diawali dengan sistem mekanik yang digunakan Mesin CNC, Mesin Perkakas CNC, pengontrolan sumbu Mesin CNC, sistem koordinat Mesin CNC, dan pemrograman Mesin CNC.

Bab 14 buku ini memberi penjelasan sedikit tentang Mesin EDM (*Electrical Discharge Machining*). Informasi yang penting dari mesin ini adalah jenis-jenis Mesin EDM dan cara mengoperasikan mesin tersebut.

Dan pada **Bab 15** memuat penyimpangan ukuran yang terjadi selama proses pemesinan, toleransi, suaian, cara penulisan toleransi ukuran/dimensi, toleransi standar dan penyimpangan fundamental.

Keterangan-keterangan di atas disusun sebagai gambaran menyeluruh isi buku ini, dengan harapan akan mempermudah bagi para pembaca untuk memahami materi-materi yang telah dituliskan dalam buku ini. Penulis terus berusaha untuk dapat menyempurnakan isi buku ini, sehingga dapat memberikan informasi tentang keilmuan teknik pemesinan kepada para pembaca, khususnya siswa Sekolah Menengah Kejuruan.

Daftar Isi

	Halaman
Halaman Sampul	
Pengantar Umum	i
Daftar Isi	vii
JILID 1	
BAB 1. MEMAHAMI DASAR-DASAR KEJURUAN	1
A. Statika dan Tegangan	2
1. Statika	2
2. Tegangan	9
B. Mengenal Elemen Mesin	14
1. Poros	14
2. Bantalan	18
C. Mengenal Material dan Mineral	19
1. Berbagai Macam sifat Logam	19
2. Mineral	21
3. Berbagai Jenis sumber Daya Mineral	21
4. Pemurnian Mineral	22
BAB 2. MEMAHAMI PROSES-PROSES DASAR KEJURUAN	25
A. Mengenal Proses Pengecoran Logam	26
1. Pengertian	26
2. Pembuatan Cetakan Manual	27
3. Pengolahan Pasir Cetak	29
4. Pengecoran Cetakan <i>Ekspandable (Expandable Mold Casting)</i>	29
5. Pengecoran dengan Pasir (<i>Sand Casting</i>)	30
6. Pengecoran dengan Gips (<i>Plaster Casting</i>)	31
7. Pengecoran Gips, Beton, atau Plastik Resin.	31
8. Pengecoran Sentrifugal (<i>Centrifugal Casting</i>)	32
9. <i>Die Casting</i>	33
10. Kecepatan Pendinginan	35
B. Mengenal Proses Pemesin	36
1. Klasifikasi Proses Pemesinan	36
2. Pembentukan Beram (<i>Chips Formation</i>) pada Proses Pemesinan	38
C. Mengenal Proses Pengerjaan Panas	42
1. Pengerolan (<i>Rolling</i>)	42
2. Penempaan (<i>Forging</i>)	43
D. Mengenal Proses Mesin Konversi Energi	43
1. Pengertian Energi	43
2. Macam-Macam Energi	43
3. Klasifikasi Mesin-Mesin Konversi Energi	47

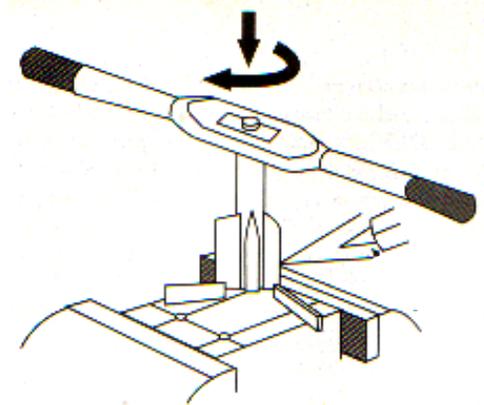
BAB 3. MEREALISASI KERJA YANG AMAN	51
A. Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)	52
B. Manajemen Bahaya	53
C. Contoh Pengendalian Bahaya Kebisingan (<i>Noise</i>)	55
D. Pencahayaan	58
E. Pengendalian Bahaya Pencemaran Udara/polusi	64
F. Alat Perlindungan Diri	67
G. Penanganan dan Penyimpanan Bahan	71
H. Pencegahan dan Pemadaman Kebakaran	75
1. Pengendalian bahan (yang dapat) terbakar	75
2. Pengendalian titik nyala	75
3. Klasifikasi kebakaran	76
4. Sebab-sebab kebakaran	76
5. Peralatan pemadaman kebakaran	77
6. Petunjuk pemilihan APAR	79
7. Karakteristik APAR	79
I. Pedoman Singkat Antisipasi dan Tindakan Pemadaman Kebakaran	79
J. Fasilitas Penunjang	80
K. Pemeliharaan dan Penggunaan Alat-alat Perkakas	80
 BAB 4. MEMAHAMI KAIDAH PENGUKURAN	 82
A. Alat Ukur	83
1. Jangka Sorong	83
2. Mikrometer	85
3. Jam Ukur (<i>Dial indicator</i>)	87
A. Sistem Satuan	88
 BAB 5. MEMAHAMI GAMBAR TEKNIK	 91
A. Mengetahui Alat Menggambar Teknik	92
1. Kertas Gambar	92
2. Pensil Gambar	93
3. Rapido	95
4. Penggaris	95
5. Jangka	96
6. Penghapus dan Alat Pelindung Penghapus	98
7. Alat-alat Penunjang Lainnya	98
8. Meja Gambar	100
9. Mesin Gambar	100
B. Lembar Kerja	101
1. Alat	101
2. Bahan	101
3. Keselamatan dan Kelemtan Kerja	101

C. Membaca Gambar Teknik	102
1. Proyeksi Piktorial	102
2. Proyeksi Isometris	103
3. Proyeksi Dimetris	106
4. Proyeksi Miring (sejajar)	107
5. Gambat Perspektif	107
6. Macam-macam Pandangan	109
7. Bidang-bidang Proyeksi	109
8. Simbol Proyeksi dan Anak Panah	114
9. Penentuan Pandangan	115
10. Gambar Potongan	120
11. Garis Arsiran	130
12. Ukuran Pada Gambar Kerja	133
13. Penulisan Angka Pengukuran	136
14. Pengukuran Ketebalan	142
BAB 6. MENGENAL PROSES BUBUT (<i>TURNING</i>)	151
A. Parameter yang Dapat Diatur pada Mesin Bubut	153
B. Geometri Pahat Bubut	155
C. Perencanaan dan Perhitungan Proses Bubut	158
1. Material Pahat	159
2. Pemilihan Mesin	163
3. PENCEKAMAN Benda Kerja	163
4. Penentuan Langkah Kerja	165
5. Perencanaan Proses Membubut Lurus	167
6. Perencanaan Proses Membubut Tirus	174
7. Perencanaan Proses Membubut Ulir	177
8. Perencanaan Proses Membubut Alur	188
9. Perencanaan Proses Membubut/membuat Kartel	190
BAB 7. MENGENAL PROSES FRAIS (<i>MILLING</i>)	194
A. Klasifikasi Proses Frais	196
1. Frais Periperal (<i>slab milling</i>)	196
2. Frais Muka (<i>Face milling</i>)	197
3. Frais Jari (<i>End milling</i>)	197
B. Metode Proses Frais	197
1. Frais Naik (<i>Up milling</i>)	197
2. Frais Turun (<i>Down milling</i>)	198
C. Jenis Mesin Frais	199
D. Parameter yang Dapat Diatur pada Mesin Frais	202
E. Geometri Pahat Frais	203
F. Peralatan dan Asesoris untuk Memegang Pahat Frais	206
G. Alat PENCEKAM dan Pemegang Benda Kerja pada Mesin Frais	208

H. Elemen Dasar Proses Frais	212
I. Pengerjaan Benda Kerja dengan Mesin Frais	213
1. Proses Frais Datar/rata	214
2. Proses Frais Roda Gigi	218
JILID 2	
BAB 8. MENGENAL PROSES GURDI (<i>DRILLING</i>)	222
A. Mesin gurdi (<i>Drilling machine</i>) dan Jenis-jenisnya	224
1. Mesin Gurdi (<i>Drilling machine</i>)	224
2. Jenis-Jenis Mesin Gurdi	225
3. Ukuran Mesin gurdi	226
4. Beberapa Mesin Gurdi yang Dipakai Pada Proses Produksi	226
B. Perkakas Mesin Gurdi	231
C. Geometri Mata Bor (<i>Twist drill</i>)	233
D. Pengasahan Kembali Mata Bor	237
E. Pencekaman Mata Bor dan Benda Kerja	239
F. Elemen Dasar Proses Gurdi	249
G. Perencanaan Proses Gurdi	251
BAB 9. MENGENAL PROSES SEKRAP (<i>SHAPING</i>)	235
A. Mesin Sekrap dan Jenis-jenisnya	236
1. Jenis-jenis Mesin Sekrap	236
2. Mekanisme Kerja Mesin Sekrap	239
3. Nama Bagian-bagian Mesin Sekrap	239
B. Elemen dasar Perencanaan Proses Sekrap	242
BAB 10. MENGENAL PROSES GERINDA (<i>GRINDING</i>)	253
A. Jenis-jenis Mesin Gerinda	255
1. Mesin Gerinda Datar	255
2. Mesin Gerinda Silindris	267
B. Batu Asah	284
1. Jenis-jenis Butir Asahan/ <i>abrasive</i>	285
2. Ukuran Butiran Asah	286
3. Tingkat Kekerasan (<i>Grade</i>)	286
4. Macam-macam Perekat	287
5. Susunan Butiran Asah	288
6. Bentuk-bentuk Roda Gerinda	289
7. Klasifikasi Batu Gerinda	290
8. Pemasangan Batu Gerinda	291
BAB 11. MENGENAL CAIRAN PENDINGIN UNTUK PROSES PEMESINAN	298
A. Jenis Cairan Pendingin	300
B. Cara Pemberian Cairan Pendingin pada Proses Pemesinan	301

C. Pengaruh Cairan Pendingin pada Proses Pemesinan	304
D. Kriteria Pemilihan Cairan Pendingin	305
E. Perawatan dan Pembuangan Cairan Pendingin	307
BAB 12. MEMAHAMI MESIN CNC DASAR	310
A. Mesin Bubut CNC	311
1. Prinsip Kerja Mesin Bubut CNC TU-2A	312
2. Bagian Utama Mesin Bubut CNC TU-2A	313
3. Kecepatan Potong dan Kecepatan Putar Mesin	323
4. Pemrograman Mesin CNC	325
5. Pengoperasian Disket	329
6. Cara setting Benda Kerja	331
7. Contoh-contoh Aplikasi Fungsi G, Fungsi M, serta Soal Latihan	333
B. Mesin Frais CNC	363
1. Prinsip Kerja Mesin Frais CNC TU-3A	363
2. Bagian Utama Mesin Frais CNC TU-3A	364
3. Kecepatan Potong dan Putaran Mesin	373
4. Pengoperasian Disket	374
5. Cara <i>Setting</i> Pisau terhadap Benda Kerja	376
6. Contoh-contoh Aplikasi Fungsi G, Fungsi M, serta Soal Latihan Bagian I	378
7. Kompensasi Radius Pisau Sejajar Sumbu	389
8. Contoh-contoh Aplikasi Fungsi G, Fungsi M, serta Soal Latihan Bagian II	390
BAB 13. MEMAHAMI MESIN CNC LANJUT	406
A. Mesin Perkakas CNC	410
B. Pengontrolan Sumbu Mesin Perkakas CNC	414
1. Sistem Kontrol Terbuka (<i>Open Loop Control</i>)	414
2. Sistem Kontrol Tertutup (<i>Close Loop Control</i>)	415
3. Sistem Kontrol Langsung dan Sistem Kontrol Tidak Langsung	415
4. Sistem Kontrol Analog dan Sistem Kontrol Digital	417
5. Sistem Kontrol Absolut dan Sistem Kontrol Incremental	417
C. Penamaan Sistem Sumbu (Koordinat) Mesin Perkakas NC	418
1. Penentuan Sumbu Z	418
2. Penentuan Sumbu X	420
3. Penentuan Sumbu Y	420
4. Penentuan Sumbu Putar dan Sumbu Tambahan	420
D. Pemrograman CNC	424
1. Langkah Persiapan	424
2. Langkah Pelaksanaan Pembuatan Program	425

3. Langkah Percobaan	426	
4. Tugas Programmer dalam Pembuatan Program NC	427	
5. Kode dan Format Pemrograman	429	
6. Pengertian Program NC	429	
7. Struktur Program NC	430	
8. Sistem Pemrograman Absolut dan Incremental	431	
9. Kontruksi Program NC	433	
10. Kode G (<i>G-code</i>) dan Fungsi M	434	
11. Pembuatan Program NC	435	
BAB 14. MENGENAL EDM	440	
A. Gambaran Singkat EDM	441	
B. Cara kerja EDM	441	
C. Perkembangan Penggunaan EDM	445	
D. Penggunaan EDM	446	
E. Pemilihan Elektrode	447	
F. Jenis Bahan Elektrode	448	
G. Pembuatan Eektrode	449	
1. Proses Galvano	449	
2. Pembuatan Elektrode pada Umumnya	449	
3. Pembuatan Elektrode Graphite	449	
H. Elektrode untuk Wire EDM	450	
I. Kualitas Hasil Pengerjaan EDM	450	
1. Kelebihan Pemetongan (<i>Overcut</i>)	450	
2. Pengerjaan Penghalusan (<i>Frishing</i>)	451	
3. Penyelesaian Setara Cermin (<i>Mirror finishing</i>)	452	
J. Keterbatasan Proses EDM	452	
BAB 15. MEMAHAMI TOLERANSI UKURAN DAN GEOMETRIK	454	
A. Penyimpangan Selama Proses Pembuatan	455	
B. Toleransi dan Suaian	456	
C. Suaian	457	
D. Cara Penulisan Toleransi Ukuan/dimensi	459	
E. Toleransi Standar dan Penyimpangan Fundamental	461	
DAFTAR PUSTAKA	<table border="1"><tr><td>A</td></tr></table>	A
A		
LAMPIRAN	<table border="1"><tr><td>B</td></tr></table>	B
B		
INDEKS	<table border="1"><tr><td>C</td></tr></table>	C
C		



BAB 1

MEMAHAMI DASAR-DASAR

KEJURUAN

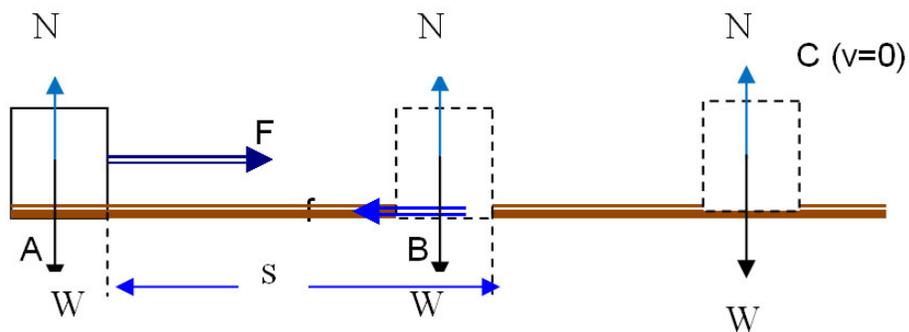
A. Statika dan Tegangan

1. Statika

Statika adalah ilmu yang mempelajari tentang kesetimbangan benda, termasuk gaya-gaya yang bekerja pada sebuah benda agar benda tersebut dalam keadaan setimbang.

a. Gaya

Gaya adalah sesuatu yang menyebabkan benda diam menjadi bergerak atau sebaliknya dari bergerak menjadi diam. Gaya dapat digambarkan sebagai sebuah vektor, yaitu besaran yang mempunyai besar dan arah. Gaya biasanya disimbolkan dengan huruf F .



Gambar 1 1. Perpindahan benda dari A ke B akibat gaya F

Gaya yang bekerja pada benda di atas antara lain: Gaya berat (W) yang selalu berpusat pada titik beratnya dan arahnya selalu ke pusat gravitasi bumi. Gaya (F) dapat sejajar dengan permukaan benda atau membentuk sudut α dengan permukaan tumpuan. Gaya F dapat menyebabkan masa (m) dari diam menjadi bergerak hingga memiliki percepatan sebesar a (m/s^2), dapat dituliskan :

$$F = m \text{ (Kg) } \cdot a \text{ (m/s}^2\text{)} = \text{Kg.m/s}^2 = \text{Newton (N)}$$

Bila gaya F dihilangkan benda (m) akan mengalami perlambatan hingga setelah waktu t detik benda akan berhenti (kecepatan $v=0$). Hal ini karena benda melewati permukaan kasar yang memiliki gaya gesek (f) yang arahnya selalu berlawanan dengan arah gerak benda. Besarnya f tergantung pada harga koefisien geseknya (μ). Semakin kasar permukaan benda maka koefisien geseknya (μ) akan semakin besar. Bila gaya gesek lebih besar dari gaya tarik (F), maka benda akan berhenti ($v = 0$). Gaya gesek (f) berbanding lurus dengan gaya normal (N) benda atau dapat dituliskan :

$$f = \mu \cdot N \text{ Newton}$$

di mana: N = gaya normal yang selalu tegak lurus permukaan benda (Newton)
 μ = koefisien gesek permukaan benda (tanpa satuan)

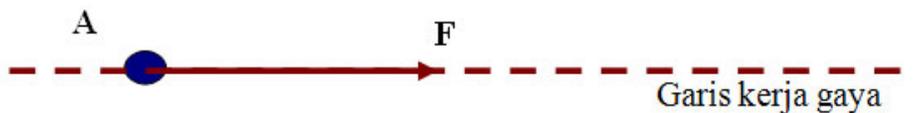
Aplikasi dari gaya gesek dapat diilustrasikan pada contoh: roda yang masih baru akan memiliki cengkeraman yang lebih kuat dibanding dengan roda yang aus/halus. Pengereman di permukaan aspal lebih baik bila dibandingkan dengan di permukaan lantai keramik, karena μ aspal lebih besar dari μ permukaan keramik.



Gambar 1 2. Gaya gesek antara roda mobil dan aspal jalan

1) Menentukan besarnya gaya

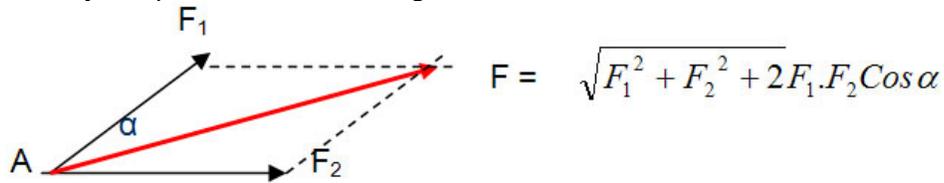
Besarnya gaya dapat ditentukan oleh skala tertentu, misalnya 1 cm mewakili 1 Newton atau kelipatannya. Satuan gaya ditentukan oleh sistem satuan SI (standar internasional) yang dinyatakan dengan Newton (N). Garis lukisan gaya itu dapat diperpanjang sesuai besarnya gaya F . Titik tangkap gaya (A) dapat dipindahkan sepanjang lintasannya, asalkan besar dan panjangnya tetap sama sesuai dengan gaya F .



Gambar 1 3. Titik tangkap gaya (A) pada garis kerja gaya

2) Menyusun dua buah gaya

Arah gerak dan besar gaya pada benda A dipengaruhi oleh dua komponen gaya masing-masing gaya F_1 dan F_2 . Pengaruh gaya F_1 dan F_2 terhadap benda/titik A dapat diwakili oleh Resultane gaya (F) yang besarnya dapat ditentukan sebagai berikut:



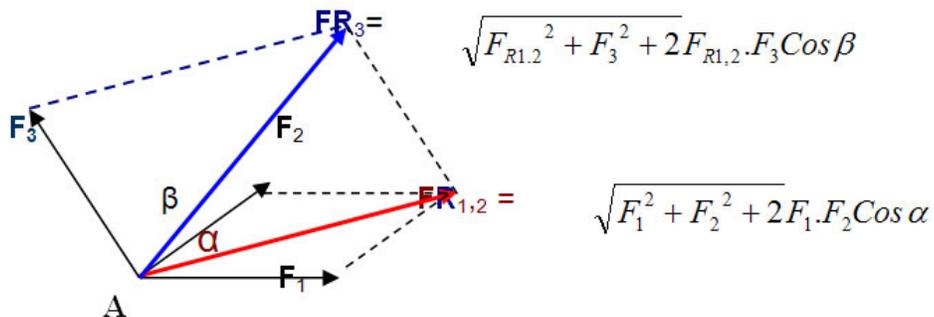
Gambar 1 4. Menyusun dua buah gaya menjadi gaya Resultan (F)

Bila sudut α dibagi dalam α_1 dan α_2 , maka dapat dituliskan persamaan :

$$\frac{F_1}{\sin \alpha_1} = \frac{F_2}{\sin \alpha_2} = \frac{F}{\sin \alpha}$$

3) Menyusun lebih dari dua gaya

Benda A dikenai tiga buah gaya F_1 , F_2 dan F_3 , maka resultan gayanya dapat dijabarkan sebagai berikut:



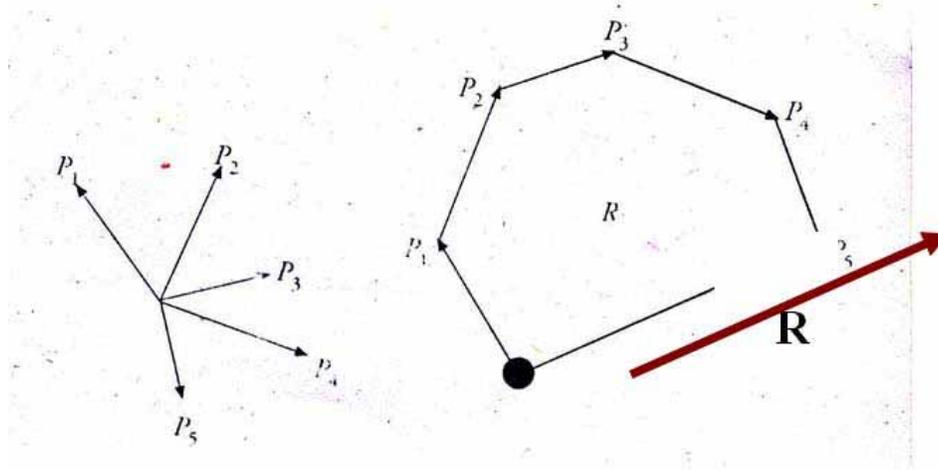
Gambar 1 5. Menyusun gaya lebih dari dua buah secara grafis

Penyelesaian di atas disebut dengan penyelesaian secara grafis, namun ada juga penyelesaian secara Poligon (segi banyak) dan secara analitis, yaitu setiap gaya diuraikan kedalam sumbu x dan y.

4) Menyusun gaya dengan metode poligon

Metode ini dengan cara memindahkan gaya P_2 ke ujung P_1 , P_3 ke ujung P_2 , P_4 ke ujung P_3 dan seterusnya secara berantai. Pemindahan gaya-gaya tersebut besar dan arahnya harus sama. Pemindahan dilakukan berurutan dan dapat berputar ke kanan atau ke kiri. Resultan gaya diperoleh dengan menarik garis dari titik A sampai ke ujung gaya

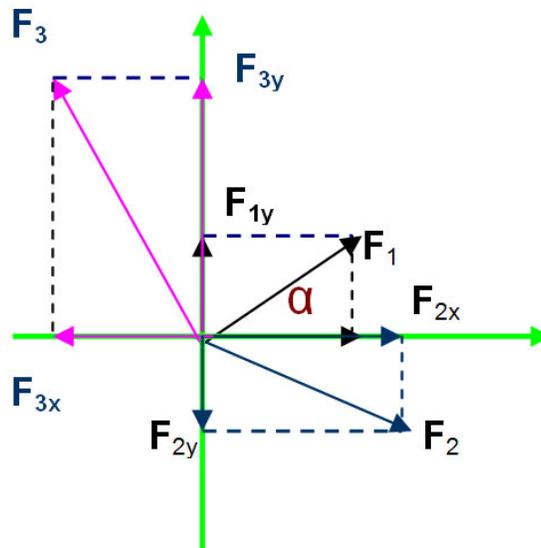
yang terakhir, dan arahnya adalah dari A menuju titik ujung gaya terakhir itu.



Gambar 1 6. Menyusun lebih dari dua buah gaya secara poligon

5) Menyusun gaya secara Analitis.

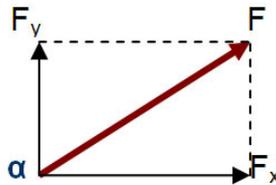
Untuk mencari resultan gaya juga dapat dilakukan dengan cara analitis, baik untuk menentukan besarnya, kedudukan titik tangkapnya, maupun arahnya melalui sumbu x dan y, yaitu sebagai berikut.



Gambar 1 7. Menyusun gaya lebih dari dua buah secara Analitis

6) Menguraikan Gaya

Menguraikan gaya dapat dilakukan dengan menguraikan pada arah vertikal dan horizontal yang saling tegak lurus, atau masing-masing komponen sebagai sisi-sisi dari jajaran genjang dengan sudut lancip tertentu yang mudah dihitung. Pada gambar dibawah ini diberikan contoh sebuah gaya F yang diuraikan menjadi F_1 dan F_2 yang membentuk sudut lancip α . Jika dua buah gaya dapat digantikan dengan sebuah gaya pengganti atau resultan, maka sebaliknya, sebuah gaya dapat diuraikan menjadi dua buah gaya yang masing-masing disebut dengan komponen gaya menurut garis kerja yang sudah ditentukan.



$$F_x = F \cos \alpha \quad (F_1 \text{ mengapit sudut } F)$$

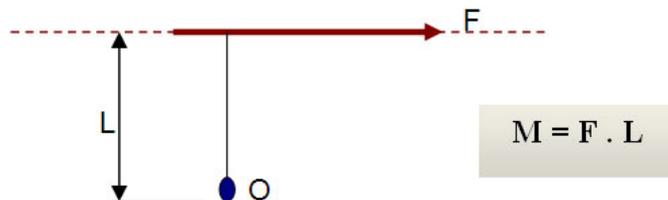
$$F_y = F \sin \alpha \quad (F_2 \text{ di depan sudut } F)$$

Gambar 1 8. Menguraikan gaya (proyeksi) ke sumbu X dan Y

b. Momen Gaya dan Kopel

1) Momen Gaya

Momen gaya F terhadap titik pusat O adalah hasil kali antara besarnya gaya F dengan jarak garis gaya, ke titik pusat O . Besarnya momen tergantung dari besarnya gaya F dan jarak garis gaya terhadap titik putarnya (L). Dalam bidang teknik mesin momen sering terjadi pada saat mengencangkan mur atau baut, penggantungan pelat, sistem pegas, dan sebagainya.



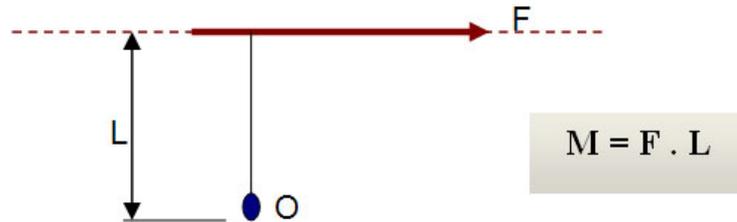
Gambar 1 9. Jarak (L) garis gaya (F) terhadap titik perputaran (O)

Dimana F = gaya

L = jarak gaya terhadap titik pusat

M = Momen gaya

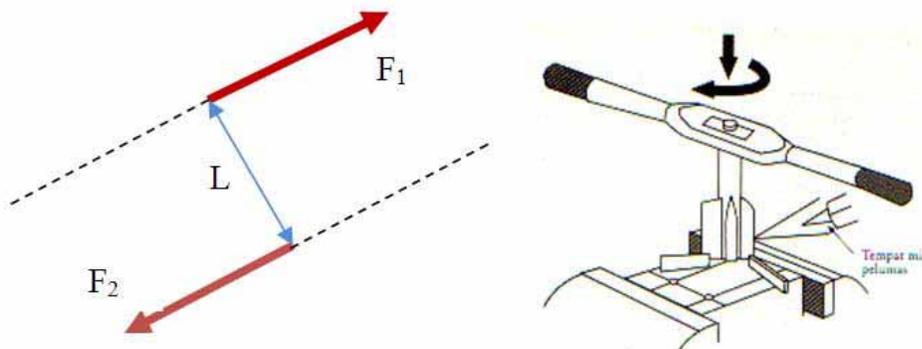
Dalam satuan SI (standar international), momen memiliki satuan Newton meter (N.m). Suatu momen adalah positif (+) jika momen itu berputar searah jarum jam, dan berharga negatif (-) jika berputar berlawanan arah putaran jarum jam. Jika terdapat beberapa gaya yang tidak satu garis kerja seperti gambar di bawah maka momen gayanya adalah jumlah dari momen gaya-momen gaya itu terhadap titik tersebut.



Gambar 1 10. Menyusun lebih dari dua buah gaya secara poligon

2) Kopel

Sebuah kopel terjadi jika dua gaya dengan ukuran yang sama dan garis kerjanya sejajar tetapi arahnya berlawanan, yang keduanya cenderung menimbulkan perputaran. (lihat gambar di bawah ini)



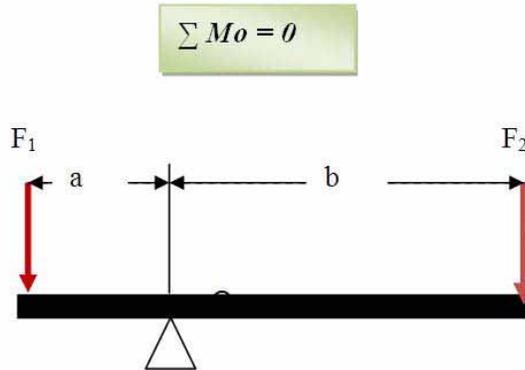
Gambar 1 11. Dua gaya sama sejajar berlawanan arah dan berjarak L

Dua gaya tersebut mengakibatkan suatu putaran yang besarnya merupakan hasil kali gaya dengan jaraknya. Aplikasi dari kopel dapat dirasakan ketika membuat mur atau baut, dimana tangan kita memberikan gaya putar pada kedua tuas snei dan tap yang sama besar namun berlawanan arah.

c. Kesetimbangan

1) Pengertian kesetimbangan

Syarat kesetimbangan adalah jumlah momen-momen gaya terhadap titik kesetimbangan (o) sama dengan nol.



$$\sum Mo = 0$$

Gambar 1 12. Dua gaya pada batang membentuk kesetimbangan

Momen gaya F_1 terhadap O , $M_1 = - F_1 \cdot a$ (searah Jarum Jam),
momen gaya F_2 terhadap O , $M_2 = +F_2 \cdot b$ (berlawanan arah Jarum Jam)

Persamaan kesetimbangannya:

$$\sum Mo = 0$$

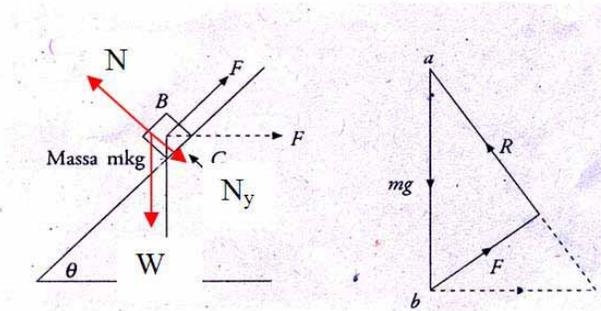
$$F_2 \cdot b - F_1 \cdot a = 0$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot a}{F_2}$$

Satuan momen: Nm atau kg.m, kg.cm, ton.m. Aplikasi perhitungan momen biasanya dipergunakan dalam perhitungan pada alat angkat sederhana, seperti pengungkit, tuas atau linggis.

2) Kesetimbangan pada benda miring

Benda pada bidang miring dalam kondisi diam atau bergerak memiliki gaya-gaya yang mempengaruhinya, antara lain gaya berat, gaya gesek (f), gaya luar dan gaya normal (N). Gaya berat (W) terletak pada titik pusat benda dan arahnya selalu menuju pusat bumi, gaya gesek (f) arahnya selalu berlawanan dengan arah gerak benda, gaya luar dapat berupa F yang besar dan arahnya tergantung pada sumbernya. Gaya normal (N) merupakan reaksi tumpuan terhadap benda, arahnya tegak lurus dengan permukaan bidang. Nilai F tergantung pada arah benda ang bekerja. Gambar di bawah ini menunjukkan gaya yang bekerja sejajar bidang lintasan.



Gambar 1 13. Kesetimbangan benda pada bidang miring

Diagram vektor berbentuk segitiga siku di mana : $\frac{F}{mg} = \sin \theta$

Jika gesekan diabaikan, agar tetap setimbang maka gaya F sebesar:

$$F = W \sin \theta \text{ dan}$$

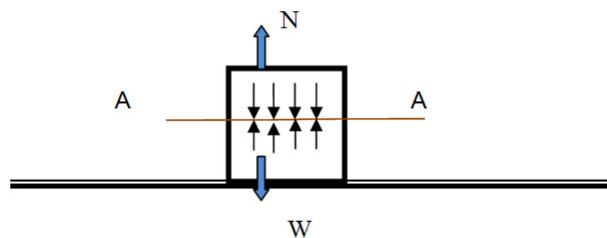
$$N = W \cos \theta$$

2. Tegangan

a. Pengertian Tegangan

Hukum Newton pertama tentang aksi dan reaksi. Jika sebuah balok terletak di atas lantai, balok akan memberikan aksi pada lantai, demikian pula sebaliknya lantai akan memberikan reaksi yang sama, sehingga benda dalam keadaan setimbang. Gaya aksi sepusat (F) dan gaya reaksi (F") dari bawah akan bekerja pada setiap penampang balok tersebut. Jika kita ambil penampang A-A dari balok, gaya sepusat (F) yang arahnya ke bawah, dan di bawah penampang bekerja gaya reaksinya (F") yang arahnya ke atas.

Pada bidang penampang tersebut, molekul-molekul di atas dan di bawah bidang penampang A-A saling tekan menekan, maka setiap satuan luas penampang menerima beban sebesar: $\frac{F}{A}$.



Gambar 1 14. Tegangan yang timbul pada penampang A-A

Beban yang diterima oleh molekul-molekul benda setiap satuan luas penampang disebut tegangan. Tegangan biasanya dinyatakan dengan huruf Yunani σ (thau).

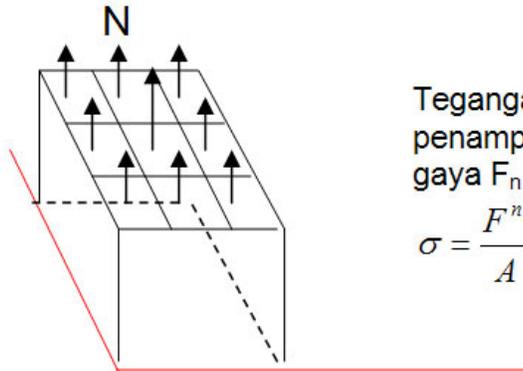
$$\sigma = \frac{F}{A}$$

1) Macam-macam tegangan

Tegangan timbul akibat adanya tekanan, tarikan, bengkokan, dan reaksi. Pada pembebanan tarik terjadi tegangan tarik, pada pembebanan tekan terjadi tegangan tekan, begitu pula pada pembebanan yang lain.

a) Tegangan Normal

Tegangan normal terjadi akibat adanya reaksi yang diberikan pada benda. Jika gaya dalam diukur dalam N, sedangkan luas penampang dalam m^2 , maka satuan tegangan adalah $\frac{N}{m^2}$ atau $\frac{dyne}{cm^2}$.



Tegangan normal bila luas penampang = $A \text{ m}^2$ dan besarnya gaya $F_n = \text{kg.f}$

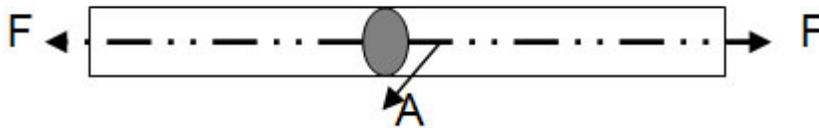
$$\sigma = \frac{F^n}{A} = \frac{\text{kg.f}}{m^2}$$

Gambar 1 15. Tegangan normal

Sedangkan tegangan tangensialnya: $\tau = \frac{F_q}{A} = \frac{\text{kg.f}}{m^2}$

b) Tegangan Tarik

Tegangan tarik pada umumnya terjadi pada rantai, tali, paku keling, dan lain-lain. Rantai yang diberi beban W akan mengalami tegangan tarik yang besarnya tergantung pada beratnya.



Gambar 1 16. Tegangan tarik pada batang penampang luas A

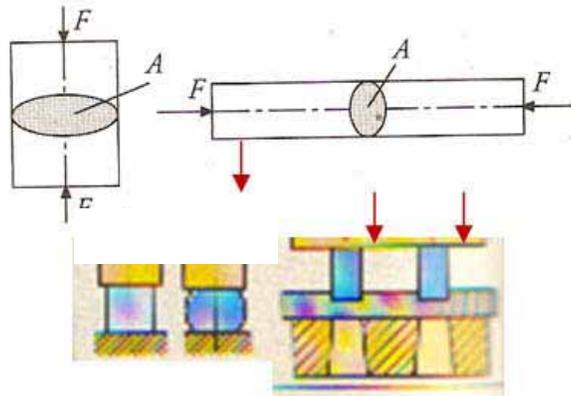
Persamaan tegangan tarik dapat dituliskan:

$$\sigma_t = \frac{F}{A} = \frac{F_a}{A} \quad \text{Di mana : } F = \text{gaya tarik, } A = \text{luas penampang}$$

c) Tegangan Tekan

Tegangan tekan terjadi bila suatu batang diberi gaya F yang saling berlawanan dan terletak dalam satu garis gaya. Misalnya, terjadi pada tiang bangunan yang belum mengalami tekukan, porok sepeda, dan

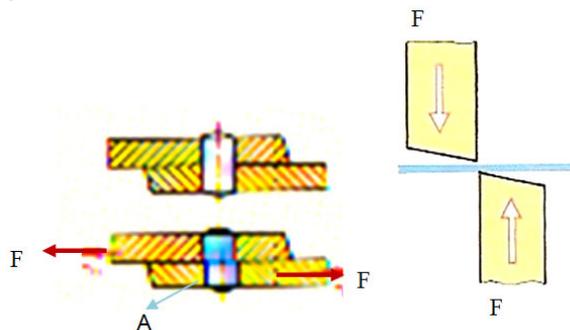
batang torak. Tegangan tekan dapat ditulis: $\sigma_D = \frac{F_a}{A} = \frac{F}{A}$



Gambar 1 17. Tegangan tekan

d) Tegangan Geser

Tegangan geser terjadi jika suatu benda bekerja dengan dua gaya yang berlawanan arah, tegak lurus sumbu batang, gaya tidak segaris namun pada penampangnya tidak terjadi momen. Tegangan ini banyak terjadi pada konstruksi seperti sambungan keling, gunting, dan sambungan baut.



Gambar 1 18. Tegangan Geser

Pada gambar di atas, dua gaya F sama besar berlawanan arah. Gaya F bekerja merata pada penampang A. Pada material akan timbul tegangan gesernya, sebesar:

$$\tau_g = \frac{\text{gayadalam}}{\text{luaspenampang}} \qquad \tau_g = \frac{F}{A} (N/m^2)$$

Untuk konstruksi pada paku keling, maka $F_{\text{maksimum}} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$

Tegangan geser terjadi karena adanya gaya radial F yang bekerja pada penampang normal dengan jarak yang relatif kecil, maka pelengkungan benda diabaikan. Untuk hal ini tegangan yang terjadi adalah

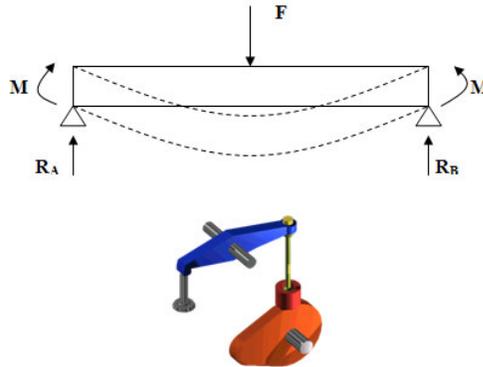
$$\tau_g = \frac{F}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2}$$

Apabila pada konstruksi mempunyai n buah paku keling, maka sesuai dengan persamaan dibawah ini tegangan gesernya adalah

$$\tau_g = \frac{F}{n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2}, \quad \text{Dimana } D = \text{diameter paku keling}$$

e) Tegangan Lengkung

Misalnya, pada poros-poros mesin dan poros roda yang dalam keadaan ditumpu. Jadi, merupakan tegangan tangensial.



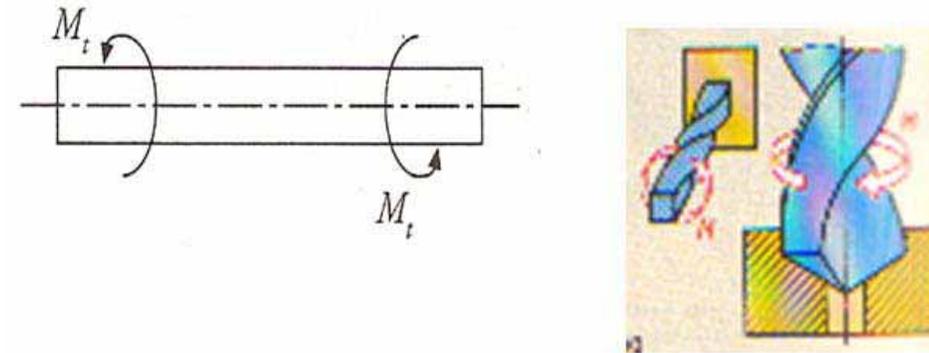
Gambar 19. Tegangan lengkung pada batang rocker arm

$$F = R_A + R_B \quad \text{dan} \quad \tau_b = \frac{M_b}{W_b}$$

M_b = momen lengkung
 W_b = momen tahanan lengkung

f) Tegangan Puntir

Tegangan puntir sering terjadi pada poros roda gigi dan batang-batang torsi pada mobil, juga saat melakukan pengeboran. Jadi, merupakan tegangan tangensial.



Gambar 1 20. Tegangan puntir

Benda yang mengalami beban puntir akan menimbulkan tegangan

puntir sebesar: $\tau_t = \frac{M_t}{W_p}$

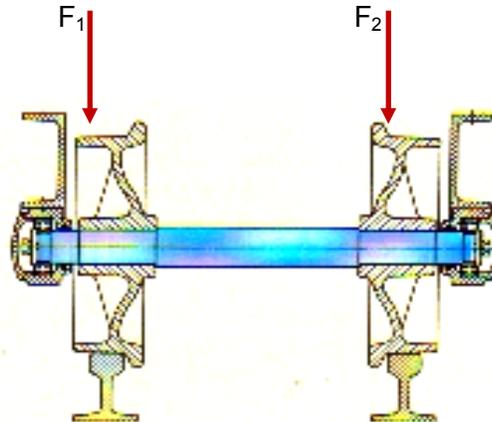
M_t = momen puntir (torsi)

W_p = momen tahanan polar (pada puntir)

B. Mengenal Elemen Mesin

1. Poros

Poros dalam sebuah mesin berfungsi untuk meneruskan tenaga melalui putaran mesin. Setiap elemen mesin yang berputar, seperti cakra tali, puli sabuk mesin, piringan kabel, tromol kabel, roda jalan, dan roda gigi, dipasang berputar terhadap poros dukung yang tetap atau dipasang tetap pada poros dukung yang berputar. Contoh sebuah poros dukung yang berputar, yaitu poros roda kereta api, As gardan, dan lain-lain.



Gambar 1 21. Kontruksi poros kereta api

Untuk merencanakan sebuah poros, maka perlu diperhitungkan gaya yang bekerja pada poros di atas antara lain: Gaya dalam akibat beratnya (W) yang selalu berpusat pada titik gravitasinya. Gaya (F) merupakan gaya luar arahnya dapat sejajar dengan permukaan benda ataupun membentuk sudut α dengan permukaan benda. Gaya F dapat menimbulkan tegangan pada poros, karena tegangan dapat timbul pada benda yang mengalami gaya-gaya. Gaya yang timbul pada benda dapat berasal dari gaya dalam akibat berat benda sendiri atau gaya luar yang mengenai benda tersebut. Baik gaya dalam maupun gaya luar akan menimbulkan berbagai macam tegangan pada konstruksi tersebut antara lain:

a. Macam-macam poros

Poros sebagai penerus daya diklasifikasikan menurut pembebanannya sebagai berikut :

1) Gandar

Gandar merupakan poros yang tidak mendapatkan beban puntir, fungsinya hanya sebagai penahan beban, biasanya tidak berputar.

Contohnya seperti yang dipasang pada roda-roda kereta barang, atau pada as truk bagian depan.

2) *Spindle*

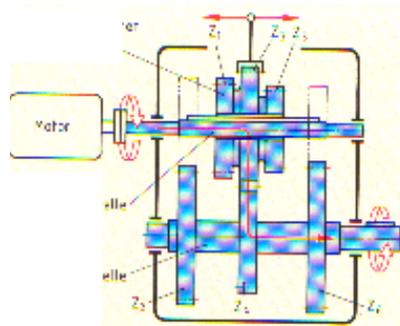
Poros transmisi yang relatif pendek, seperti poros utama mesin perkakas, di mana beban utamanya berupa puntiran, disebut *spindle*. Syarat yang harus dipenuhi poros ini adalah deformasinya harus kecil, dan bentuk serta ukurannya harus teliti.



Gambar 1 22. *Spindle* mesin bubut

3) Poros transmisi

Poros transmisi berfungsi untuk memindahkan tenaga mekanik salah satu elemen mesin ke elemen mesin yang lain. Poros transmisi mendapat beban puntir murni atau puntir dan lentur yang akan meneruskan daya ke poros melalui kopling, roda gigi, puli sabuk atau sproket rantai, dan lain-lain.

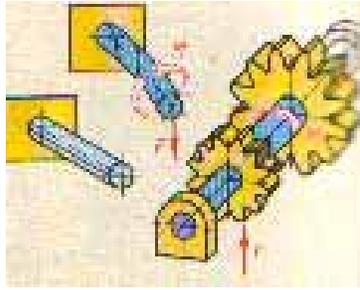


Gambar 1 23. Konstruksi poros transmisi

b. Beban pada poros

1) Poros dengan beban puntir

Daya dan perputaran, momen puntir yang akan dipindahkan oleh poros dapat ditentukan dengan mengetahui garis tengah pada poros.



Gambar 1 24. Poros transmisi dengan beban puntir

Apabila gaya keliling F pada gambar sepanjang lingkaran dengan jari-jari r menempuh jarak melalui sudut titik tengah α (dalam radial), maka jarak ini adalah $r \cdot \alpha$, dan kerja yang dilakukan adalah $F \cdot r \cdot \alpha$. Gaya F yang bekerja pada keliling roda gigi dengan jari-jari r dan gaya reaksi pada poros sebesar F merupakan suatu kopel yang momennya $M_w = F \cdot r$. Momen ini merupakan momen puntir yang bekerja dalam poros.

$$W = F \cdot r \cdot \alpha = M_w \cdot \alpha$$

Bila jarak ini ditempuh dalam waktu t, maka daya,

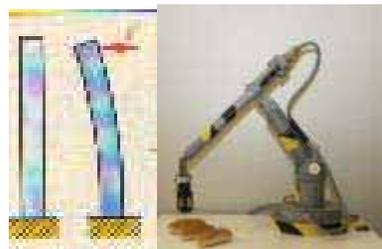
$$P = \frac{W}{t} = M_w \cdot \frac{\alpha}{t} = M_w \cdot \omega$$

di mana ω ialah kecepatan sudut poros. Jadi, momen puntirnya:

$$M_w = \frac{P}{\omega}$$

2) Poros dengan beban lentur murni

Poros dengan beban lentur murni biasanya terjadi pada gandar dari kereta tambang dan lengan robot yang tidak dibebani dengan puntiran, melainkan diasumsikan mendapat pembebanan lentur saja. Meskipun pada kenyataannya gandar ini tidak hanya mendapat beban statis, tetapi juga mendapat beban dinamis.



Gambar 1 25. Beban lentur murni pada lengan robot

Jika momen lentur M_1 , di mana beban pada suatu gandar diperoleh dari $\frac{1}{2}$ berat kendaraan dengan muatan maksimum dikurangi berat gandar dan roda, tegangan lentur yang diijinkan adalah σ_a , maka diameter dari poros adalah

$$d_s = \left[\frac{10,2}{\sigma_a} \cdot M^1 \right]^{\frac{1}{3}}$$

3) Poros dengan beban puntir dan lentur

Poros dengan beban puntir dan lentur dapat terjadi pada puli atau roda gigi pada mesin untuk meneruskan daya melalui sabuk, atau rantai. Dengan demikian poros tersebut mendapat beban puntir dan lentur akibat adanya beban. Beban yang bekerja pada poros pada umumnya adalah beban berulang. Jika poros tersebut mempunyai roda gigi untuk meneruskan daya besar, maka kejutan berat akan terjadi pada saat mulai atau sedang berputar. Selain itu beban puntir dan lentur juga terjadi pada lengan arbor mesin frais, terutama pada saat pemakanan.



Gambar 1 26. Beban puntir dan lentur pada arbor saat pemakanan

Agar mampu menahan beban puntir dan lentur, maka bahan poros harus bersifat liat dan ulet agar mampu menahan tegangan geser maksimum sebesar:

$$\tau_{\max} = \frac{\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}}{2}$$

Pada poros yang pejal dengan penampang bulat, $s = \frac{32M}{\pi d_s^3}$ dan

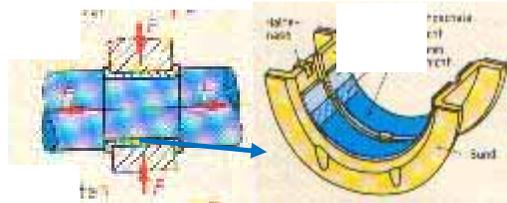
$$\tau = \frac{16T}{\pi d_s^3}, \text{ sehingga } \tau_{\max} = \left(\frac{5,1}{d_s^3} \right) \sqrt{M^2 + T^2}$$

2. Bantalan

Bantalan diperlukan untuk menumpu poros berbeban, agar dapat berputar atau bergerak bolak-balik secara kontinyu serta tidak berisik akibat adanya gesekan. Posisi bantalan harus kuat, hal ini agar elemen mesin dan poros dapat bekerja dengan baik.

Bantalan poros dapat dibedakan menjadi dua, antara lain:

- a. Bantalan luncur, di mana terjadi gerakan luncur antara poros dan bantalan karena permukaan poros ditumpu oleh permukaan bantalan dengan lapisan pelumas.

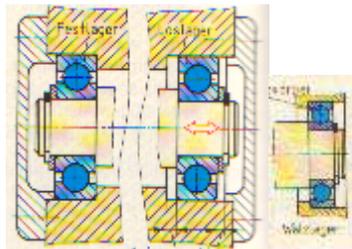


Gambar 1 27. Bantalan luncur dilengkapi alur pelumas

- b. Bantalan gelinding, di mana terjadi gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan yang diam melalui elemen gelinding seperti rol atau rol jarum.

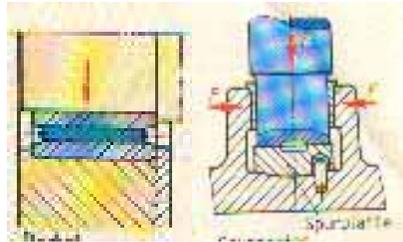
Berdasarkan arah beban terhadap poros, maka bantalan dibedakan menjadi tiga hal berikut.

- a. Bantalan radial, di mana arah beban yang ditumpu bantalan tegak lurus sumbu poros.



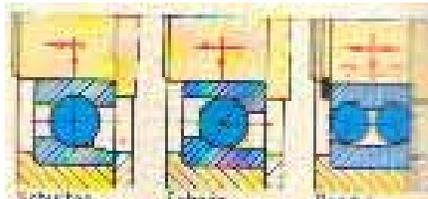
Gambar 1 28. Bantalan radial

- b. Bantalan aksial, di mana arah beban bantalan ini sejajar dengan sumbu poros.



Gambar 1 29. Bantalan aksial

- c. Bantalan gelinding khusus, di mana bantalan ini menumpu beban yang arahnya sejajar dan tegak lurus sumbu poros.



Gambar 1 30. Bantalan gelinding khusus

C. Mengenal Material dan Mineral

Material dapat berupa bahan logam dan non logam. Bahan logam ini terdiri dari logam *ferro* dan *nonferro*. Bahan logam *ferro* diantaranya besi, baja, dan besi cor, sedangkan logam *nonferro* (bukan besi) antara lain emas, perak, dan timah putih. Bahan non logam dapat dibagi menjadi bahan organik (bahan yang berasal dari alam) dan bahan anorganik.

Selain pengelompokan di atas, material juga dapat dikelompokkan berdasarkan unsur-unsur kimia, yaitu unsur logam, nonlogam dan metalloid. Dengan mengetahui unsur-unsur kimia ini, kita dapat menghasilkan logam yang kuat dan keras sesuai kebutuhan.

1. Berbagai Macam Sifat Logam

Logam mempunyai beberapa sifat antara lain: sifat mekanis, sifat fisika, sifat kimia dan sifat pengerjaan. Sifat mekanis adalah kemampuan suatu logam untuk menahan beban yang diberikan pada logam tersebut. Pembebanan yang diberikan dapat berupa pembebanan statis (besar dan arahnya tetap), ataupun pembebanan dinamis (besar dan arahnya berubah). Yang termasuk sifat mekanis pada logam, antara lain: kekuatan bahan (*strength*), kekerasan elastisitas, kekakuan, plastisitas, kelelahan bahan, sifat fisika, sifat kimia, dan sifat pengerjaan.

Kekuatan (*strength*) adalah kemampuan material untuk menahan tegangan tanpa kerusakan. Beberapa material seperti baja struktur, besi

tempa, aluminium, dan tembaga mempunyai kekuatan tarik dan tekan yang hampir sama. Sementara itu, kekuatan gesernya kira-kira dua pertiga kekuatan tariknya. Ukuran kekuatan bahan adalah tegangan maksimumnya, atau gaya terbesar persatuan luas yang dapat ditahan bahan tanpa patah. Untuk mengetahui kekuatan suatu material dapat dilakukan dengan pengujian tarik, tekan, atau geser.

Kekerasan (*hardness*) adalah ketahanan suatu bahan untuk menahan pembebanan yang dapat berupa goresan atau penekanan. Kekerasan merupakan kemampuan suatu material untuk menahan takik atau kikisan. Untuk mengetahui kekerasan suatu material digunakan uji Brinell.

Kekakuan adalah ukuran kemampuan suatu bahan untuk menahan perubahan bentuk atau deformasi setelah diberi beban.

Kelelahan bahan adalah kemampuan suatu bahan untuk menerima beban yang berganti-ganti dengan tegangan maksimum diberikan pada setiap pembebanan.

Elastisitas adalah kemampuan suatu bahan untuk kembali ke bentuk semula setelah menerima beban yang mengakibatkan perubahan bentuk. Elastisitas merupakan kemampuan suatu material untuk kembali ke ukuran semula setelah gaya dari luar dilepas. Elastisitas ini penting pada semua struktur yang mengalami beban yang berubah-ubah terlebih pada alat-alat dan mesin-mesin presisi.

Plastisitas adalah kemampuan suatu bahan padat untuk mengalami perubahan bentuk tetap tanpa ada kerusakan.

Sifat fisika adalah karakteristik suatu bahan ketika mengalami peristiwa fisika seperti adanya pengaruh panas atau listrik. Yang termasuk sifat-sifat fisika adalah sebagai berikut: Titik lebur, Kepadatan, Daya hantar panas, dan daya hantar listrik

Sifat kimia adalah kemampuan suatu logam dalam mengalami peristiwa korosi. Korosi adalah terjadinya reaksi kimia antara suatu bahan dengan lingkungannya. Secara garis besar ada dua macam korosi, yaitu korosi karena efek galvanis dan reaksi kimia langsung.

Sifat pengerjaan adalah suatu sifat yang timbul setelah diadakannya proses pengolahan tertentu. Sifat pengerjaan ini harus diketahui terlebih dahulu sebelum pengolahan logam dilakukan. Ada dua macam pengerjaan yang biasa dilakukan yaitu sebagai berikut :

2. Mineral

Mineral merupakan suatu bahan yang banyak terdapat di dalam bumi, yang mempunyai bentuk dan ciri-ciri khusus serta mempunyai susunan kimia yang tetap. Mineral memiliki ciri-ciri khas antara lain:

- a. Warna, mineral mempunyai warna tertentu, misalnya malakit berwarna hijau, lazurit berwarna biru, dan ada pula mineral yang memiliki bermacam-macam warna misalnya kuarsa.
- b. Cerat, merupakan warna yang timbul bila mineral tersebut digoreskan pada porselen yang tidak dilicinkan.
- c. Kilatan merupakan sinar suatu mineral apabila memantulkan cahaya yang dikenakan kepadanya. Misalnya emas, timah, dan tembaga yang mempunyai kilat logam.

Kristal atau belahan merupakan mineral yang mempunyai bidang datar halus. Misalnya, seng, bentuk kristalnya dapat dipecah-pecah menjadi beberapa kubus dan patahannya akan terlihat dengan jelas. Setiap mineral memiliki bentuk kristal yang berbeda-beda. Contohnya bentuk kubus pada galmer (bilik seng), bentuk heksagonal (enam bidang) pada kuarsa. dan lain-lain.

- d. Berat jenis, mineral mempunyai berat jenis antara 2 – 4 ton/m². Berat jenis ini akan berubah setelah diolah menjadi bahan.

3. Berbagai Jenis Sumber Daya Mineral

a. Unsur-unsur Logam

Unsur-unsur logam dibagi lagi dalam dua kelompok menurut banyaknya, yaitu yang berlimpah di kerak bumi seperti besi, aluminium, mangan, dan titanium, dan yang sedikit terdapat di alam seperti tembaga, timah hitam.

b. Unsur-unsur Nonlogam

Unsur-unsur nonlogam (*nonmetallic*) dapat dibagi menjadi empat kelompok berdasarkan kegunaannya, antara lain :

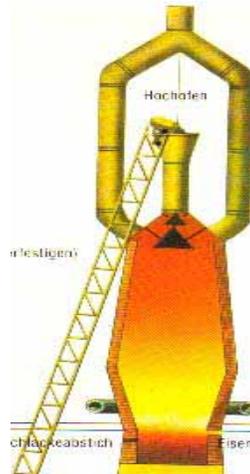
- Natrium klorida, kalsium fosfat, dan belerang merupakan bahan-bahan utama industri-industri kimia dan pupuk buatan.
- Pasir, batu kerikil, batu hancur, gips, dan semen terutama dipakai sebagai bahan-bahan bangunan dan konstruksi lainnya.
- Bahan bakar fosil, yaitu yang berasal dari sisa-sisa tanaman dan binatang seperti batubara, minyak bumi, dan gas alam. Persediaan energi kita sekarang sangat bergantung pada bahan-bahan ini.
- Air merupakan sumber mineral terpenting dari semuanya yang terdapat melimpah di permukaan bumi. Tanpa air tidak mungkin kita dapat menanam dan menghasilkan bahan makanan.

4. Pemurnian Mineral

Mineral pada awalnya ditemukan di alam masih bercampur dengan mineral lain sehingga perlu dilakukan proses pemurnian untuk mendapatkan satu bentuk mineral. Pemurnian mineral adalah proses memisahkan satu bentuk mineral dari mineral-mineral lainnya melalui satu proses dan cara tertentu.

a. Proses pemurnian bijih besi

Melebur dan mengoksidasi besi adalah proses kimia yang sederhana. Selama proses itu, karbon dalam bentuk kokas dan oksida besi bereaksi pada suhu tinggi, membentuk metalik iron (besi yang bersifat logam) dan gas karbon dioksida. Karena bijih besi jarang ada yang murni, batu kapur (CaCO_3) harus juga ditambahkan sebagai imbuah (flux) agar bercampur dengan kotoran-kotoran dan mengeluarkannya sebagai slag (terak).



Gambar 1 31. Dapur pengolahan bijih besi menjadi besi

Sejak abad ke-14 besi mulai diproduksi dalam jumlah besar dan dasar-dasar eksploitasi industri besi secara modern sudah dimulai. Setelah itu diperoleh berbagai penemuan dalam produksi besi, antara lain: (a) metode untuk memproduksi baja yang berkualitas tinggi dari besi kasar, (b) prosedur-prosedur tanur yang lebih efisien, termasuk juga pemakaian kokas yang dibuat dari batu bara sebagai pengganti arang kayu, akibat semakin berkurangnya persediaan kayu. (c) metode-metode untuk mereduksi bijih besi. (d) metode-metode untuk memanfaatkan bijih-bijih besi yang mengandung kotoran-kotoran perusak seperti fosfor dan belerang. dan (d) metode-metode untuk memproses bijih besi berkadar rendah.

b. Proses pemurnian alumunium

Proses pemurnian alumunium dengan cara memanaskan alumunium hidroksida sampai lebih kurang 1300°C (diendapkan), akan didapatkan alumina. Karena titik lelehnya tinggi, alumina dilarutkan ke dalam cairan klorit (garam Na_3AlF_6) yang berfungsi sebagai elektrolit sehingga titik lelehnya menjadi rendah (1000°C). Lima belas persen alumina (Al_2O_3) dapat diuraikan ke dalam kriolit, sedang proses elektrolisis di sini sebagai reduksi Al_2O_3 .

Bijih bauksit mula-mula dimurnikan terlebih dahulu dengan proses kimia dan alumunium oksida murni diuraikan dengan elektrolisis. Bauksit dimasukkan ke dalam kauksit soda, alumina di dalamnya membentuk natrium aluminat, bagian lain tidak bereaksi dan dapat dipisahkan.

c. Proses pemurnian tembaga

Proses pemurnian tembaga diawali dengan penggilingan bijih tembaga kemudian dicampur dengan batu kapur dan bahan fluks silika. Tepung bijih dipekatkan terlebih dahulu, sesudah itu dipanggang sehingga terbentuk campuran FeS , FeO , SiO_2 , dan CuS . Campuran ini disebut kalsin dan dilebur dengan batu kapur sebagai fluks dalam dapur reverberatory. Besi yang ada larut dalam terak dan tembaga, besi yang tersisa ditaungkan ke dalam konventor. Udara dihembuskan ke dalam konventor selama 4 – 5 jam, kotoran-kotoran teroksidasi, dan besi membentuk terak yang dibuang pada selang waktu tertentu. Panas oksidasi yang dihasilkan cukup tinggi sehingga muatan tetap cair dan sulfida tembaga akhirnya berubah menjadi oksida tembaga dan sulfat. Bila aliran udara dihentikan, oksida bereaksi dengan sulfida membentuk tembaga blister dan dioksida belerang. Setelah itu, tembaga ini dilebur dan dicor menjadi slab, kemudian diolah lebih lanjut secara elektronik menjadi tembaga murni.

d. Proses pemurnian timah putih (Sn)

Proses pemurnian timah putih diawali dengan memisahkan Bijih timah dan pasir dengan mencuci lalu dikeringkan. Setelah itu, bijih itu dilebur di dalam dapur corong atau dapur nyala api dengan kokas dan dituang menjadi balok-balok kecil.

e. Proses pemurnian timbel/timah hitam (Pb)

Bijih-bijih timbel harus dipanggang terlebih dahulu untuk menghilangkan sulfida-sulfida, sedang timbel dengan campurannya yang lain berubah menjadi oksida timah hitam (PbO) dan sebagian lagi menjadi timbel sulfat (PbSO_4). Dengan menambah kwarsa (SiO_2) pada sulfat di atas suhu yang tinggi akan mengubah timbel sulfat menjadi silikat. Campuran silikat timbel dengan oksida timbel yang dipijarkan pakai kokas kemudian dicampur dengan batu kapur, akan menghasilkan timbel.

f. Proses pemurnian seng (Zn)

Proses pemurnian seng diawali dengan memisahkan bijih seng kemudian dipanggang dalam dapur untuk mengeluarkan belerang dan asam arang. Setelah itu terjadilah oksida seng, karbonatnya terurai dan sulfidanya dioksidasi. Bijih seng didapat dari senyawa belerang diantaranya karbonat seng ($ZnCO_3$), silikat seng ($ZnSiO_4 \cdot H_2O$), dan sulfida seng (ZnS).

g. Proses pemurnian magnesium

Untuk memperoleh magnesium dilakukan dengan jalan elektrolisis, yaitu dengan cara memijarkan oksida magnesium bersama-sama dengan zat arang (karbon) atau silisium ferro sebagai bahan reduksi. Setelah itu magnesium dapat terpisahkan

h. Proses pemurnian perak

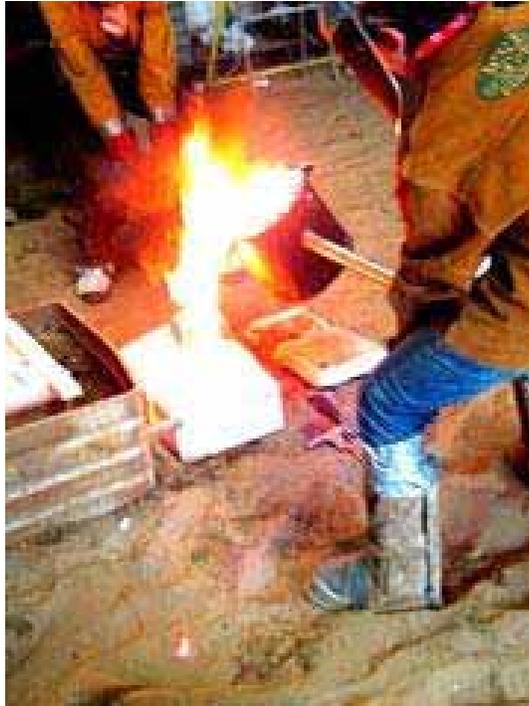
Proses pemurnian perak dilakukan dengan jalan elektrolisis bijih-bijih perak. Bijih perak yang mengandung belerang dipanggang dahulu kemudian dicairkan. Bijih yang mengandung timbel dihaluskan kemudian dicairkan dengan memasukkan zat asam yang banyak sampai timbel terbakar menjadi glit-timbel dan dikeluarkan sebagai terak. Setelah itu, hanya tertinggal peraknya saja.

i. Proses pemurnian platina

Proses pemurnian platina tergantung pada zat-zat yang terkandung dalam bijih-bijih logam. Bijih-bijih yang mengandung emas dikerjakan dalam air raksa, sedangkan platina tidak dapat melarut dalam air raksa. Berikutnya adalah dengan proses kimiawi (proses elektrolisis). Platina itu dapat dibersihkan sampai tercapai keadaan yang murni.

j. Proses pemurnian nikel (Ni)

Proses pemurnian nikel diawali dengan pembakaran bijih nikel, kemudian dicairkan untuk proses reduksi dengan menggunakan arang dan bahan tambahan lain dalam sebuah dapur tinggi. Dari proses tersebut nikel yang didapat kurang lebih 99%. Jika hasil yang diinginkan lebih baik (tidak berlubang), proses pemurniannya dikerjakan dengan jalan elektrolisis di atas sebuah cawan tertutup dalam dapur nyala api. Reduktor yang digunakan biasanya mangan dan fosfor.



BAB 2

MEMAHAMI PROSES-PROSES DASAR KEJURUAN

A. Mengenal Proses Pengecoran Logam

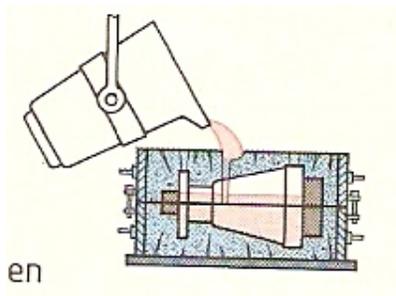
1. Pengertian

Pengecoran (*casting*) adalah suatu proses penuangan materi cair seperti logam atau plastik yang dimasukkan ke dalam cetakan, kemudian dibiarkan membeku di dalam cetakan tersebut, dan kemudian dikeluarkan atau dipecah-pecah untuk dijadikan komponen mesin. Pengecoran digunakan untuk membuat bagian mesin dengan bentuk yang kompleks.



Gambar 2.1. Logam cair sedang dituangkan ke dalam cetakan

Pengecoran digunakan untuk membentuk logam dalam kondisi panas sesuai dengan bentuk cetakan yang telah dibuat. Pengecoran dapat berupa material logam cair atau plastik yang bisa meleleh (termoplastik), juga material yang terlarut air misalnya beton atau gips, dan materi lain yang dapat menjadi cair atau pasta ketika dalam kondisi basah seperti tanah liat, dan lain-lain yang jika dalam kondisi kering akan berubah menjadi keras dalam cetakan, dan terbakar dalam perapian. Proses pengecoran dibagi menjadi dua, yaitu : *expandable* (dapat diperluas) dan *non expandable* (tidak dapat diperluas).

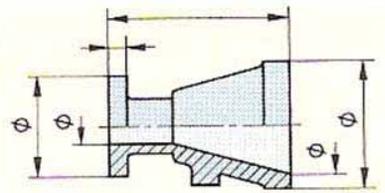


Gambar 2.2. Proses pengecoran logam

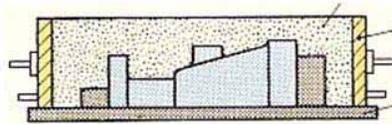
Pengecoran biasanya diawali dengan pembuatan cetakan dengan bahan pasir. Cetakan pasir bisa dibuat secara manual maupun dengan mesin. Pembuatan cetakan secara manual dilakukan bila jumlah komponen yang akan dibuat jumlahnya terbatas, dan banyak variasinya. Pembuatan cetakan tangan dengan dimensi yang besar dapat menggunakan campuran tanah liat sebagai pengikat. Dewasa ini cetakan banyak dibuat secara mekanik dengan mesin agar lebih presisi serta dapat diproduksi dalam jumlah banyak dengan kualitas yang sama baiknya.

2. Pembuatan Cetakan Manual

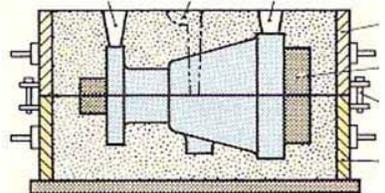
Pembuatan cetakan tangan meliputi pembuatan cetakan dengan kup dan drag, seperti pada gambar di bawah ini:



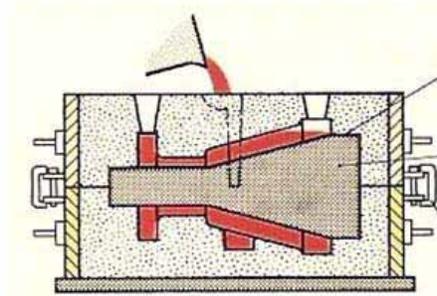
(a)



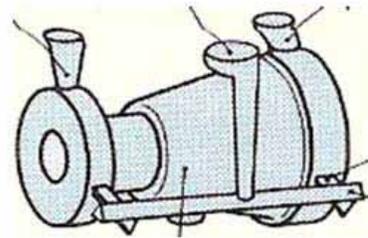
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 2 3. Dimensi benda kerja yang akan dibuat (a), menutupi permukaan pola dalam rangka cetak dengan pasir, (b) cetakan siap (c), proses penuangan (d), dan produk pengecoran (e).

Selain pembuatan cetakan secara manual, juga dikenal pembuatan cetakan dengan mesin guncang, pembuatan cetakan dengan mesin pendesak, pembuatan cetakan dengan mesin guncang desak, pembuatan cetakan dengan mesin tekanan tinggi, dan pembuatan cetakan dengan pelempar pasir.

3. Pengolahan Pasir Cetak

Pasir cetak yang sudah digunakan untuk membuat cetakan, dapat dipakai kembali dengan mencampur pasir baru dan pengikat baru setelah kotoran-kotoran dalam pasir tersebut dibuang. Pasir cetak dapat digunakan berulang-ulang. Setelah digunakan dalam proses pembuatan suatu cetakan, pasir cetak tersebut dapat diolah kembali tidak bergantung pada bahan logam cair. Prosesnya dengan cara pembuangan debu halus dan kotoran, pencampuran, serta pendinginan pasir cetak. Adapun mesin-mesin yang dipakai dalam pengolahan pasir, antara lain:

a. Penggiling pasir

Penggiling pasir digunakan apabila pasir tersebut menggunakan lempung sebagai pengikat, sedangkan untuk pengaduk pasir digunakan

jika pasir menggunakan bahan pengikat seperti minyak pengering atau natrium silikat.

b. Pencampur pasir

Pencampur pasir digunakan untuk memecah bungkah-bungkah pasir setelah pencampuran. Jadi, pasir dari penggiling pasir kadang-kadang diisikan ke pencampur pasir atau biasanya pasir bekas diisikan langsung ke dalamnya.

c. Pengayakan

Untuk mendapatkan pasir cetak, ayakan dipakai untuk menyisihkan kotoran dan butir-butir pasir yang sangat kasar. Jenis ayakan ada dua macam, yaitu ayakan berputar dan ayakan bergetar.

d. Pemisahan magnetis

Pemisahan magnetis digunakan untuk menyisihkan potongan-potongan besi yang berada dalam pasir cetak tersebut.

e. Pendingin pasir

Dalam mendinginkan pasir, udara pendingin perlu bersentuhan dengan butir-butir pasir sebanyak mungkin. Pada pendingin pasir pengagitasi, udara lewat melalui pasir yang diagitasi. Adapun pada pendingin pasir tegak, pasir dijatuhkan ke dalam tangki dan disebar oleh sebuah sudu selama jatuh, yang kemudian didinginkan oleh udara dari bawah. Pendingin pasir bergetar menunjukkan alat di mana pasir diletakkan pada pelat dan pengembangan pasir efektif.

4. Pengecoran Cetakan Expandable (Expandable Mold Casting)

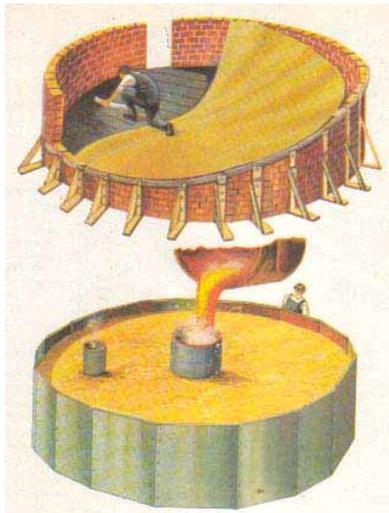
Expandable mold casting adalah sebuah klasifikasi generik yang melibatkan pasir, plastiK, tempurung, gips, dan *investment molding* (teknik *lost-wax*). Metode ini melibatkan penggunaan cetakan sementara dan cetakan sekali pakai.

5. Pengecoran dengan Pasir (Sand Casting)

Pengecoran dengan pasir membutuhkan waktu selama beberapa hari dalam proses produksinya dengan hasil rata-rata (1-20 unit/jam proses pencetakan) dan proses pengecoran dengan bahan pasir ini akan membutuhkan waktu yang lebih lama terutama untuk produksi dalam skala yang besar. Pasir hijau/*green sand* (basah) hampir tidak memiliki batas ukuran beratnya, akan tetapi pasir kering memiliki batas ukuran berat tertentu, yaitu antara 2.300-2.700 kg. Batas minimumnya adalah antara 0,05-1 kg. Pasir ini disatukan dengan menggunakan tanah liat (sama dengan proses pada pasir hijau) atau dengan menggunakan

bahan perekat kimia/minyak polimer. Pasir hampir pada setiap prosesnya dapat diulang beberapa kali dan membutuhkan bahan input tambahan yang sangat sedikit.

Pada dasarnya, pengecoran dengan pasir ini digunakan untuk mengolah logam bertemperatur rendah, seperti besi, tembaga, aluminium, magnesium, dan nikel. Pengecoran dengan pasir ini juga dapat digunakan pada logam bertemperatur tinggi, namun untuk bahan logam selain itu tidak akan bisa diproses. Pengecoran ini adalah teknik tertua dan paling dipahami hingga sekarang. Bentuk-bentuk ini harus mampu memuaskan standar tertentu sebab bentuk-bentuk tersebut merupakan inti dari proses pengecoran dengan pasir .



Gambar 2 4. Pengecoran logam pada cetakan pasir

6. Pengecoran dengan Gips (Plaster Casting)

Gips yang tahan lama lebih sering digunakan sebagai bahan dasar dalam produksi pahatan perunggu atau sebagai pisau pahat pada proses pemahatan batu. Dengan pencetakan gips, hasilnya akan lebih tahan lama (jika disimpan di tempat tertutup) dibanding dengan tanah liat asli yang harus disimpan di tempat yang basah agar tidak pecah. Dalam proses pengecoran ini, gips yang sederhana dan tebal dicetak, diperkuat dengan menggunakan serat, kain goni, semua itu dibalut dengan tanah liat asli. Pada proses pembuatannya, gips ini dipindah dari tanah liat yang lembab, proses ini akan secara tidak sengaja merusak keutuhan tanah liat tersebut. Akan tetapi ini bukanlah masalah yang serius karena tanah liat tersebut telah berada di dalam cetakan. Cetakan kemudian dapat digunakan lagi di lain waktu untuk melapisi gips aslinya sehingga tampak benar-benar seperti tanah liat asli. Permukaan gips ini selanjutnya dapat

diperbarui, dilukis, dan dihaluskan agar menyerupai pencetak dari perunggu.

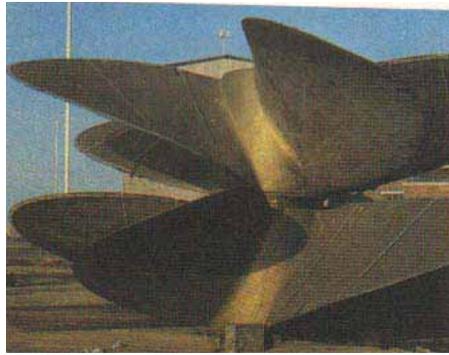
Pengecoran dengan gips hampir sama dengan pengecoran dengan pasir kecuali pada bagian gips diubah dengan pasir. Campuran gips pada dasarnya terdiri dari 70-80 % gipsum dan 20-30 % penguat gipsum dan air. Pada umumnya, pembentukan pengecoran gips ini membutuhkan waktu persiapan kurang dari 1 minggu, setelah itu akan menghasilkan produksi rata-rata sebanyak 1-10 unit/jam pengecorannya dengan berat untuk hasil produksinya maksimal mencapai 45 kg dan minimal 30 kg, dan permukaan hasilnya pun memiliki resolusi yang tinggi dan halus.

Jika gips digunakan dan pecah, maka gips tersebut tidak dapat diperbaiki dengan mudah. Pengecoran dengan gips ini normalnya digunakan untuk logam non belerang seperti aluminium, seng, tembaga. Gips ini tidak dapat digunakan untuk melapisi bahan-bahan dari belerang karena sulfur dalam gipsum secara perlahan bereaksi dengan besi. Persiapan utama dalam pencetakan adalah pola yang ada disemprot dengan film yang tebal untuk membuat gips campuran. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah cetakan merusak pola. Unit cetakan tersebut dikocok sehingga gips dapat mengisi lubang-lubang kecil di sekitar pola. Pembentuk pola dipindahkan setelah gips diatur.

Pengecoran gips ini menunjukkan kemajuan, karena penggunaan peralatan otomatis dapat segera digunakan dengan mudah ke sistem robot, karena ketepatan desain permintaan semakin meningkat yang bahkan lebih besar dari kemampuan manusia.

7. Pengecoran Gips, Beton, atau Plastik Resin.

Gips sendiri dapat dilapisi, demikian pula dengan bahan-bahan kimia lainnya seperti beton atau plastik resin. Bahan-bahan ini juga menggunakan pencetakan yang sama seperti penjelasan di atas (*waste mold*) atau *multiple use piece mold*, atau pencetakan yang terbuat dari bahan-bahan yang sangat kecil atau bahan yang elastis seperti karet latex (yang cenderung disertai dengan cetakan yang ekstrim). Jika pengecoran dengan gips atau beton maka produk yang dihasilkan akan seperti kelereng, tidak begitu menarik, kurang transparan dan biasanya dilukis. Tak jarang hal ini akan memberikan penampilan asli dari logam/batu. Alternatif untuk mengatasi hal ini adalah lapisan utama akan dibiarkan mengandung warna pasir sehingga memberikan nuansa bebatuan. Dengan menggunakan pengecoran beton, bukan pengecoran gips, memungkinkan kita untuk membuat ukiran, pancuran air, atau tempat duduk luar ruangan. Selanjutnya adalah membuat meja cuci (*washstands*) yang menarik, *washstands* dan *shower stalls* dengan perpaduan beraneka ragam warna akan menghasilkan pola yang menarik seperti yang tampak pada kelereng/*ravertine*.

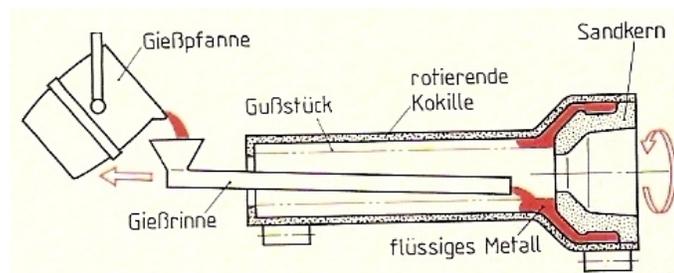


Gambar 2 5. Turbin air produk hasil pengecoran logam

Proses pengecoran seperti *die casting* dan *sand casting* menjadi suatu proses yang mahal, bagaimanapun juga komponen-komponen yang dapat diproduksi menggunakan pengecoran investment dapat menciptakan garis-garis yang tak beraturan dan sebagian komponen ada yang dicetak near net shape sehingga membutuhkan sedikit atau bahkan tanpa pengecoran ulang.

8. Pengecoran Sentrifugal (Centrifugal Casting)

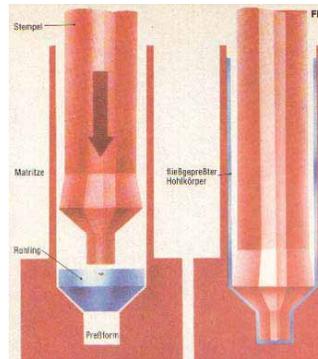
Pengecoran sentrifugal berbeda dengan penuangan gravitasi-bebas dan tekanan-bebas karena pengecoran sentrifugal membentuk dayanya sendiri menggunakan cetakan pasir yang diputar dengan kecepatan konstan. Pengecoran sentrifugal roda kereta api merupakan aplikasi awal dari metode yang dikembangkan oleh perusahaan industri Jerman Krupp dan kemampuan ini menjadikan perkembangan perusahaan menjadi sangat cepat.



Gambar 2 6. Turbin air produk hasil pengecoran logam

9. Die Casting

Die casting adalah proses pencetakan logam dengan menggunakan penekanan yang sangat tinggi pada suhu rendah. Cetakan tersebut disebut *die*. Rentang kompleksitas *die* untuk memproduksi bagian-bagian logam non belerang (yang tidak perlu sekuat, sekeras, atau setahan panas seperti baja) dari keran cucian sampai cetakan mesin (termasuk *hardware*, bagian-bagian komponen mesin, mobil mainan, dsb).



Gambar 2 7. Die casting

Logam biasa seperti seng dan aluminium digunakan dalam proses *die casting*. Logam tersebut biasanya tidak murni melainkan logam-logam yang memiliki karakter fisik yang lebih baik. Akhir-akhir ini suku cadang yang terbuat dari plastik mulai menggantikan produk *die casting* banyak dipilih karena harganya lebih murah (dan bobotnya lebih ringan yang sangat penting khususnya untuk suku cadang otomotif berkaitan dengan standar penghematan bahan bakar). Suku cadang dari plastik lebih praktis (terutama sekarang penggunaan pemotongan dengan bahan plastik semakin memungkinkan) jika mengesampingkan kekuatannya, dan dapat didesain ulang untuk mendapatkan kekuatan yang dibutuhkan.

Terdapat empat langkah utama dalam proses *die casting*. Pertama-tama cetakan disemprot dengan pelicin dan ditutup. Pelicin tersebut membantu mengontrol temperatur *die* dan membantu saat pelepasan dari pengecoran. Logam yang telah dicetak kemudian disuntikkan pada *die* di bawah tekanan tinggi. Tekanan tinggi membuat pengecoran setepat dan sehalus adonan. Normalnya sekitar 100 MPa (1000 bar). Setelah rongganya terisi, temperatur dijaga sampai pengecoran menjadi *solid* (dalam proses ini biasanya waktu diperpendek menggunakan air pendingin pada cetakan). Terakhir *die* dibuka dan pengecoran mulai dilakukan. Yang tak kalah penting dari injeksi bertekanan tinggi adalah injeksi berkecepatan tinggi, yang diperlukan agar seluruh rongga terisi, sebelum ada bagian dari pengecoran yang mengeras. Dengan begitu diskontinuitas (yang merusak hasil akhir dan bahkan melemahkan kualitas pengecoran) dapat dihindari, meskipun desainnya sangat sulit untuk mampu mengisi bagian yang sangat tebal.

Sebelum siklusnya dimulai, *die* harus di-*instal* pada mesin *die* pengecoran, dan diatur pada suhu yang tepat. Pengesetan membutuhkan waktu 1-2 jam, dan barulah kemudian siklus dapat berjalan selama sekitar beberapa detik sampai beberapa menit, tergantung ukuran pengecoran. Batas masa maksimal untuk magnesium, seng, dan aluminium adalah sekitar 4,5 kg, 18 kg, dan 45 kg. Sebuah *die set* dapat bertahan sampai 500.000 *shot* selama masa pakainya, yang sangat

dipengaruhi oleh suhu pelelehan dari logam yang digunakan. Aluminium biasanya memperpendek usia *die* karena tingginya temperatur dari logam cair yang mengakibatkan kikisan cetakan baja pada rongga. Cetakan untuk *die casting* seng bertahan sangat lama karena rendahnya temperatur seng. Sedang untuk tembaga, cetakan memiliki usia paling pendek dibanding yang lainnya. Hal ini terjadi karena tembaga adalah logam terpanas.

Seringkali dilakukan operasi sekunder untuk memisahkan pengecoran dari sisa-sisanya, yang dilakukan dengan menggunakan *trim die* dengan *power press* atau hidrolik *press*. Metode yang lama adalah memisahkan dengan menggunakan tangan atau gergaji. Dalam hal ini dibutuhkan pengikiran untuk menghaluskan bekas gergajian saat logam dimasukkan atau dikeluarkan dari rongga. Pada akhirnya, metode intensif, yang membutuhkan banyak tenaga digunakan untuk menggulingkan *shot* jika bentuknya tipis dan mudah rusak. Pemisahan juga harus dilakukan dengan hati-hati.

Kebanyakan *die caster* melakukan proses lain untuk memproduksi bahan yang tidak siap digunakan. Yang biasa dilakukan adalah membuat lubang untuk menempatkan sekrup.



Gambar 2 8. Salah satu produk *die casting*

10. Kecepatan Pendinginan

Kecepatan di saat pendinginan cor mempengaruhi properti, kualitas dan mikrostrukturnya. Kecepatan pendinginan sangat dikontrol oleh media cetakan. Ketika logam yang dicetak dituangkan ke dalam cetakan, pendinginan dimulai. Hal ini terjadi, karena panas antara logam yang dicetak mengalir menuju bagian pendingin cetakan. Materi-materi cetakan memindahkan panas dari pengecoran menuju cetakan dalam kecepatan yang berbeda. Contohnya, beberapa cetakan yang terbuat dari plaster memungkinkan untuk memindahkan panas dengan lambat sekali sedangkan cetakan yang keseluruhannya terbuat dari besi yang dapat mentranfer panas dengan sangat cepat sekali. Pendinginan ini akan

berakhir dengan pengerasan di mana logam cair berubah menjadi logam padat.

Pada tahap dasar ini, pengecoran logam menuangkan logam ke dalam cetakan tanpa mengontrol bagaimana pencetakan mendingin dan logam membeku dalam cetakan. Ketika panas harus dipindahkan dengan cepat, para ahli akan merencanakan cetakan yang digunakan untuk mencakup penyusutan panas pada cetakan, disebut dengan *chills*. *Fins* bisa juga didesain pada pengecoran untuk panas inti, yang kemudian dipindahkan pada proses *cleaning* (juga disebut *fetting*). Kedua metode bisa digunakan pada titik-titik lokal pada cetakan dimana panas akan disarikan secara cepat.

Ketika panas harus dipindahkan secara pelan, pemicu atau beberapa alas bisa ditambahkan pada pengecoran. Pemicu adalah sebuah cetakan tambahan yang lebih luas yang akan mendingin lebih lamban dibanding tempat dimana pemicu ditempelkan pada pengecoran. Akhirnya, area pengecoran yang didinginkan secara cepat akan memiliki struktur serat yang bagur dan area yang mendingin dengan lamban akan memiliki struktur serat yang kasar.

B. Mengenal Proses Pemesinan

Proses pemesinan dengan menggunakan prinsip pemotongan logam dibagi dalam tiga kelompok dasar, yaitu : proses pemotongan dengan mesin pres, proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas, dan proses pemotongan non konvensional. Proses pemotongan dengan menggunakan mesin pres meliputi pengguntingan (*shearing*), pengepresan (*pressing*) dan penarikan (*drawing, elongating*). Proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas meliputi proses bubut (*turning*), proses frais (*milling*), dan sekrup (*shaping*). Proses pemotongan non konvensional contohnya dengan mesin EDM (*Electrical Discharge Machining*) dan *wire cutting*.

Proses pemotongan logam ini biasanya disebut proses pemesinan, yang dilakukan dengan cara membuang bagian benda kerja yang tidak digunakan menjadi beram (*chips*), sehingga terbentuk benda kerja. Dari semua prinsip pemotongan di atas pada buku ini akan dibahas tentang proses pemesinan dengan menggunakan mesin perkakas.

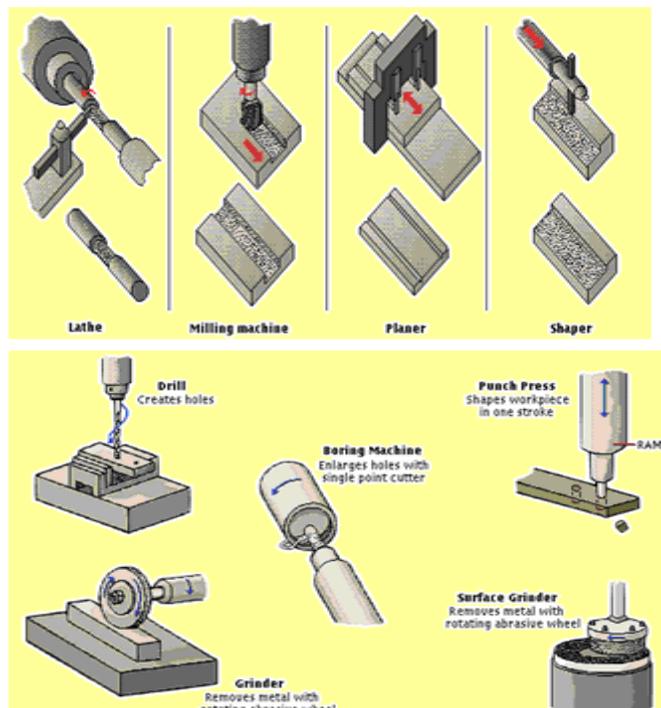
Proses pemesinan adalah proses yang paling banyak dilakukan untuk menghasilkan suatu produk jadi yang berbahan baku logam. Diperkirakan sekitar 60% sampai 80% dari seluruh proses pembuatan komponen mesin yang komplit dilakukan dengan proses pemesinan.

1. Klasifikasi Proses Pemesinan

Proses pemesinan dilakukan dengan cara memotong bagian benda kerja yang tidak digunakan dengan menggunakan pahat (*cutting*

tool), sehingga terbentuk permukaan benda kerja menjadi komponen yang dikehendaki. Pahat yang digunakan pada satu jenis mesin perkakas akan bergerak dengan gerakan yang relatif tertentu (berputar atau bergeser) disesuaikan dengan bentuk benda kerja yang akan dibuat.

Pahat, dapat diklasifikasikan sebagai pahat bermata potong tunggal (*single point cutting tool*) dan pahat bermata potong jamak (*multiple point cutting tool*). Pahat dapat melakukan gerak potong (*cutting*) dan gerak makan (*feeding*). Proses pemesinan dapat diklasifikasikan dalam dua klasifikasi besar yaitu proses pemesinan untuk membentuk benda kerja silindris atau konis dengan benda kerja/pahat berputar, dan proses pemesinan untuk membentuk benda kerja permukaan datar tanpa memutar benda kerja. Klasifikasi yang pertama meliputi proses bubut dan variasi proses yang dilakukan dengan menggunakan mesin bubut, mesin gurdi (*drilling machine*), mesin frais (*milling machine*), mesin gerinda (*grinding machine*). Klasifikasi kedua meliputi proses sekrap (*shaping, planing*), proses slot (*slotting*), proses menggergaji (*sawing*), dan proses pemotongan roda gigi (*gear cutting*). Beberapa proses pemesinan tersebut ditampilkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Beberapa proses pemesinan : Bubut (*Turning/Lathe*), Frais (*Milling*), Sekrap (*Planing, Shaping*), Gurdi (*Drilling*), Gerinda (*Grinding*), Bor (*Boring*), Pelubang (*Punching Press*), Gerinda Permukaan (*Surface Grinding*).

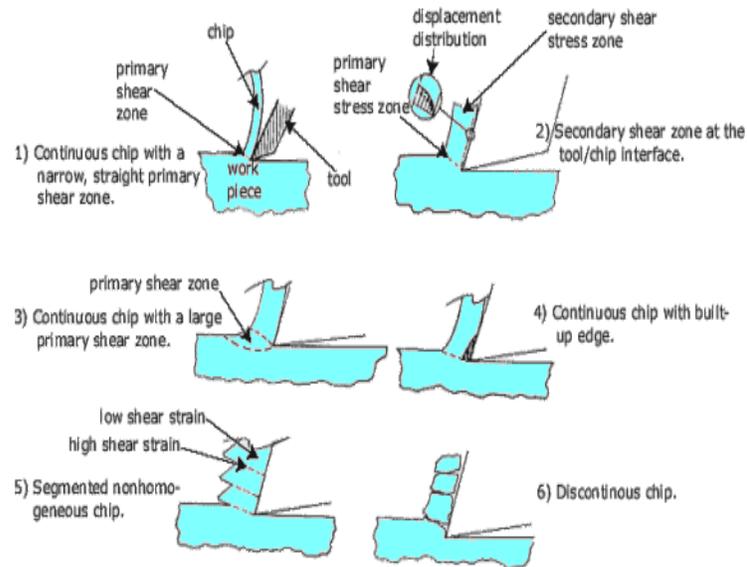
2. Pembentukan Beram (Chips Formation) pada Proses Pemesinan

Karena pentingnya proses pemesinan pada semua industri, maka teori pemesinan dipelajari secara luas dan mendalam sejak lama, terutama terjadinya proses penyayatan sehingga terbentuk beram. Proses terbentuknya beram adalah sama untuk hampir semua proses pemesinan, dan telah diteliti untuk menemukan bentuk yang mendekati ideal, berapa kecepatan (*speed*), gerak makan (*feed*), dan parameter yang lain, yang di masa yang lalu diperoleh dengan perkiraan oleh para ahli dan operator proses pemesinan.

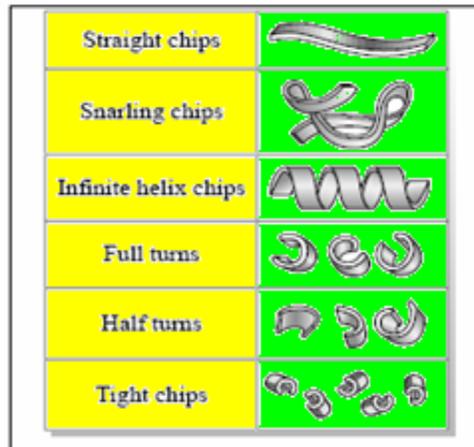
Dengan diterapkannya CNC (*Computer Numerically Controlled*) pada mesin perkakas, maka produksi elemen mesin menjadi sangat cepat, sehingga menjadi sangat penting untuk menemukan perhitungan otomatis guna menentukan kecepatan dan gerak makan. Informasi singkat berikut akan menjelaskan tentang beberapa aspek penting proses pembentukan beram dalam proses pemesinan. Alasan-alasan bahwa proses pembentukan beram adalah sulit untuk dianalisa dan diketahui karakteristiknya diringkas sebagai berikut :

- Laju regangan (*strain rate*) yang terjadi saat pembentukan sangat tinggi dibandingkan dengan proses pembentukan yang lain.
- Proses pembentukan beram tergantung pada bahan benda kerja, temperatur benda kerja, cairan pendingin, dan sebagainya.
- Proses pembentukan beram juga tergantung pada material pahat, temperatur pahat, dan getaran pahat.
- Proses pembentukan beram sangat dipengaruhi oleh bentuk pahat (*cutting tool*).

Untuk semua jenis proses pemesinan termasuk gerinda, *honing*, *lapping*, *planing*, bubut, atau frais, fenomena pembentukan beram pada satu titik bertemunya pahat dengan benda kerja adalah mirip. Pada Gambar 2.10. dan Gambar 2.11. dijelaskan tentang kategori dari jenis-jenis beram :

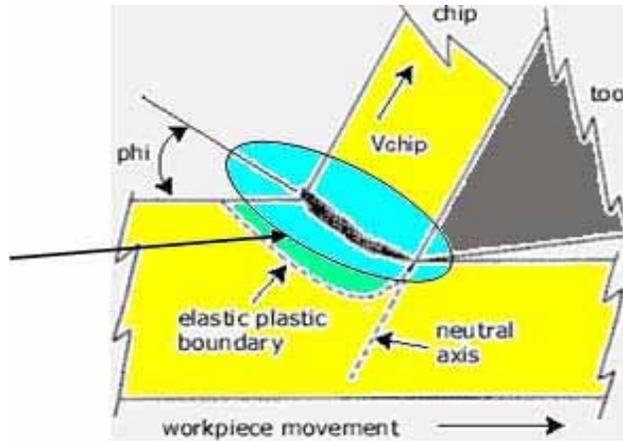


Gambar 2 10. Jenis-jenis dan bentuk beram proses pemesinan pada saat mulai terbentuk.



Gambar 2 11. Beberapa bentuk beram hasil proses pemesinan : beram lurus (*straight*), beram tidak teratur (*snarling*), helix tak terhingga (*infinite helix*), melingkar penuh (*full turns*), setengah melingkar (*half turns*), dan kecil (*tight*).

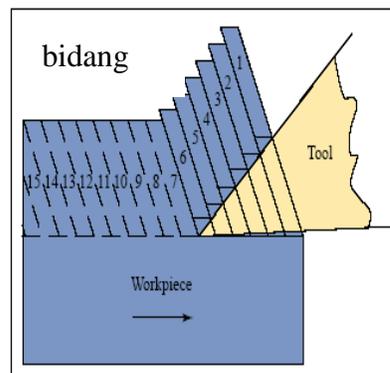
Gambar 2.12. di bawah ini memberikan penjelasan tentang teori terbentuknya beram pada proses pemesinan. Agar mudah dimengerti, maka digunakan gambar dua dimensi untuk menjelaskan geometri dasar dari terbentuknya beram.

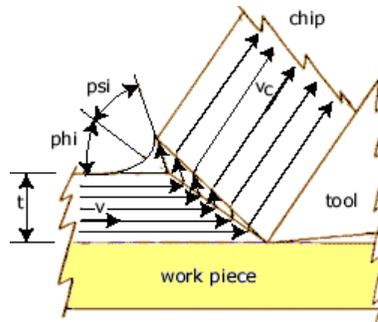


Gambar 2.12. dua dimensi terbentuknya beram (*chips*).

Material benda kerja di depan pahat dengan cepat melengkung ke atas dan tertekan pada bidang geser yang sempit (di Gambar 2.12. terlihat sebagai garis tebal) . Untuk mempermudah analisis, daerah geser tersebut disederhanakan menjadi sebuah bidang. Ketika pahat bergerak maju, material di depannya bergeser pada bidang geser tersebut. Apabila materialnya ulet, retakan tidak akan muncul dan beram akan berbentuk pita kontinyu. Apabila material rapuh, beram secara periodik retak dan menghasilkan beram berbentuk kecil-kecil. Apabila hasil deformasi pada bidang geser terdorong material yang berikutnya, maka beram tersebut lepas. Seperti pada diagram tegangan regangan logam, deformasi elastis akan diikuti deformasi plastis, kemudian bahan pada akhirnya luluh akibat geser.

Gambar 2.13. berikut menjelaskan tentang daerah pemotongan yang digambarkan dengan garis-garis arusnya. Ketika bahan benda kerja bergerak dari material yang utuh ke daerah geser, kemudian terpotong, dan selanjutnya menjadi beram.





Gambar 2 13. Gambar skematis terbentuknya beram yang dianalogikan dengan pergeseran setumpuk kartu.



Gambar 2 14. Pengerjaan logam dengan mesin bubut

C. Mengenal Proses Pengerjaan Panas

Guna membentuk logam menjadi bentuk yang lebih bermanfaat, biasanya dibutuhkan proses pengerjaan mekanik di mana logam tersebut akan mengalami deformasi plastik dan perubahan bentuk. Salah satu pengerjaan itu adalah pengerjaan panas. Pada proses ini hanya memerlukan daya deformasi yang rendah dan perubahan sifat mekanik yang terjadi juga kecil. Pengerjaan panas logam dilakukan di atas suhu rekristalisasi atau di atas daerah pengerasan kerja. Pada waktu proses pengerjaan panas berlangsung, logam berada dalam keadaan plastik dan mudah di bentuk oleh tekanan. Proses ini juga mempunyai keuntungan-keuntungan antara lain: (a) Porositas dalam logam dapat dikurangi, (b) Ketidakmurnian dalam bentuk inklusi terpecah-pecah dan tersebar dalam logam, (c) Butir yang kasar dan berbentuk kolom diperhalus, (d) Sifat-

sifat fisik meningkat, (e) Jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengubah bentuk logam dalam keadaan plastik lebih rendah.

Namun demikian, pada proses pengerjaan ini juga ada kerugiannya, yaitu pada suhu yang tinggi terjadi oksidasi dan pembentukan kerak pada permukaan logam sehingga penyelesaian permukaan tidak bagus. Hal itu akan berakibat pada toleransi dari benda tersebut menjadi tidak ketat.

Proses pengerjaan panas logam ini ada bermacam-macam, antara lain:

1. Pengerolan (Rolling)

Batangan baja yang membara, diubah bentuknya menjadi produk berguna melalui pengerolan.



Gambar 2 15. Mesin pengerollan (*rolling*)

Salah satu akibat dari proses dari pengolahan adalah penghalusan butir yang disebabkan rekristalisasi. Struktur yang kasar, kembali menjadi struktur memanjang akibat pengaruh penggilingan.

Pada proses pengerolan suatu logam, ketebalan logam mengalami deformasi terbanyak. Adapun lebarnya hanya bertambah sedikit. Pada operasi pengerolan, keseragaman suhu sangat penting karena berpengaruh pada aliran logam dan plastisitas. Proses pengerjaan panas dengan pengerolan ini biasanya digunakan untuk membuat rel, bentuk profil, pelat, dan batang.

2. Penempaan (Forging)

Proses penempaan ini ada berbagai jenis, di antaranya penempaan palu, penempaan timpa, penempaan upset, penempaan tekan, dan penempaan rol. Salah satu akibat dari proses pengolahan adalah penghalusan butir yang disebabkan rekristalisasi. Struktur yang kasar, kembali menjadi struktur memanjang akibat pengaruh penggilingan.

D. Mengetahui Proses Mesin Konversi Energi

3. Pengertian Energi

Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha. Energi bersifat abstrak yang sukar dibuktikan tetapi dapat dirasakan adanya. Menurut hukum Termodinamika Pertama, energi bersifat kekal. Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, tetapi dapat berubah bentuk (konversi) dari bentuk energi yang satu ke bentuk energi yang lain.

Sebagai contoh pada proses pembakaran pada mesin mobil/motor (sistem motor pembakaran dalam), bensin satu liter dikonversi menjadi kerja yang berhasil guna tinggi, yakni menjadi energi gerak/mechanik pada mobil/motor, sehingga dapat memindahkan manusia/barang dari suatu tempat ke tempat lain. Dalam hal ini bensin satu liter memiliki energi dalam yang siap dirubah menjadi kerja yang berguna (availabilitas). Dengan kata lain availabilitas adalah kemampuan sistem untuk menghasilkan kerja yang berguna.

4. Macam-Macam Energi

a. Energi Mekanik

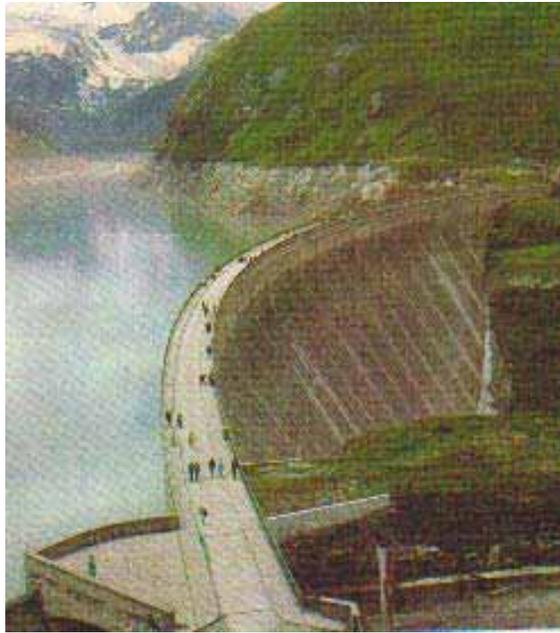
Energi mekanik merupakan energi gerak, misal turbin air akan mengubah energi potensial menjadi energi mekanik untuk memutar generator listrik.

b. Energi Potensial

Merupakan energi karena posisinya di tempat yang tinggi. Contohnya air waduk di pegunungan dapat dikonversi menjadi energi mekanik untuk memutar turbin selanjutnya dikonversi lagi menjadi energi listrik.

c. Energi Listrik

Energi Listrik adalah energi yang berkaitan dengan arus elektron, dinyatakan dalam Watt-jam atau kilo Watt-jam. Arus listrik akan mengalir bila penghantar listrik dilewatkan pada medan magnet. Bentuk transisinya adalah aliran elektron melalui konduktor jenis tertentu. Energi listrik dapat disimpan sebagai energi medan elektrostatis yang merupakan energi yang berkaitan dengan medan listrik yang dihasilkan oleh terakumulasinya muatan elektron pada pelat-pelat kapasitor.



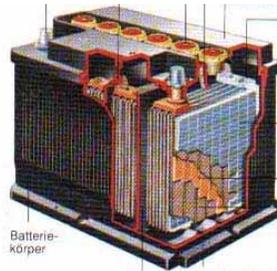
Gambar 2 16. PLTA, konversi energi dari energi potensial, energi mekanik, dan energi listrik

d. Energi Elektromagnetik

Energi elektromagnetik merupakan bentuk energi yang berkaitan dengan radiasi elektromagnetik. Energi radiasi dinyatakan dalam satuan energi yang sangat kecil, yakni elektron volt (eV) atau mega elektro volt (MeV), yang juga digunakan dalam evaluasi energi nuklir.

e. Energi Kimia

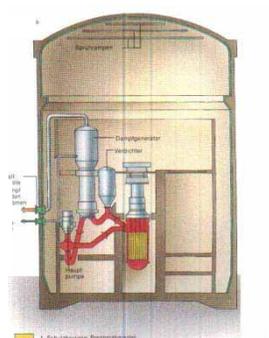
Energi kimia merupakan energi yang keluar sebagai hasil interaksi elektron di mana dua atau lebih atom/molekul berkombinasi sehingga menghasilkan senyawa kimia yang stabil. Energi kimia hanya dapat terjadi dalam bentuk energi tersimpan. Bila energi dilepas dalam suatu reaksi maka reaksinya disebut reaksi eksotermis yang dinyatakan dalam kJ, Btu, atau kKal. Bila dalam reaksi kimia energinya terserap maka disebut dengan reaksi endotermis. Sumber energi bahan bakar yang sangat penting bagi manusia adalah reaksi kimia eksotermis yang pada umumnya disebut reaksi pembakaran. Reaksi pembakaran melibatkan oksidasi dari bahan bakar fosil.



Gambar 2 17. Accu sebagai bentuk energi kimia

f. Energi Nuklir

Energi Nuklir adalah energi dalam bentuk energi tersimpan yang dapat dilepas akibat interaksi partikel dengan atau di dalam inti atom. Energi ini dilepas sebagai hasil usaha partikel-partikel untuk memperoleh kondisi yang lebih stabil. Satuan yang digunakan adalah juta elektron reaksi. Pada reaksi nuklir dapat terjadi peluruhan radioaktif, fisi, dan fusi.



Gambar 2 18. Salah satu reaktor nuklir

g. Energi Termal

Energi termal merupakan bentuk energi dasar di mana dalam kata lain adalah semua energi yang dapat dikonversikan secara penuh menjadi energi panas. Sebaliknya, pengonversian dari energi termal ke energi lain dibatasi oleh hukum Termodinamika II. Bentuk energi transisi dan energi termal adalah energi panas, dapat pula dalam bentuk energi tersimpan sebagai kalor "laten" atau kalor "sensible" yang berupa entalpi.



Gambar 2 19. Mesin konversi dari panas ke uap

h. Energi Angin

Energi angin merupakan energi yang tidak akan habis, material utama berupa angin dengan kecepatan tertentu yang mengenai turbin angin sehingga menjadi gerak mekanik dan listrik.



Gambar 2 20. Pemanfaatan energi angin

5. Klasifikasi Mesin-Mesin Konversi Energi

Mesin-mesin konversi energi secara sederhana dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu mesin konversi energi konvensional dan mesin energi konversi non-konvensional. Mesin konversi energi konvensional umumnya menggunakan sumber energi konvensional yang tidak terbarui, kecuali turbin hidropower, dan umumnya dapat diklasifikasikan menjadi motor pembakaran dalam, motor pembakaran luar, mesin-mesin fluida, dan mesin pendingin dan pengkondisian udara. Mesin konversi energi non-konvensional umumnya menggunakan energi yang dapat diperbarui, kecuali mesin energi konversi berbahan dasar nuklir.

a. Motor pembakaran dalam

Motor pembakaran dalam dikembangkan oleh Motos Otto, atau Beau de Roches merupakan mesin pengonversi energi tak langsung, yaitu dari energi bahan bakar menjadi energi panas dan kemudian baru menjadi energi mekanis. Energi kimia bahan bakar tidak dikonversikan langsung menjadi energi mekanis. Bahan bakar standar motor bensin adalah isooktan (C_8H_{18}). Efisiensi pengonversian energinya berkisar 30% ($\eta_t \pm 30\%$). Hal ini karena kerugian 50% (panas, gesek/mechanis, dan pembakaran tak-sempurna).

Sistem siklus kerja motor bensin dibedakan atas motor bensin dua langkah (*two stroke*), dan empat langkah (*four stroke*).

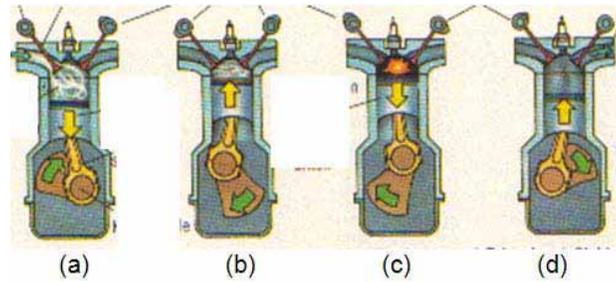
1) Motor Bensin Dua Langkah

Motor bensin dua langkah adalah motor yang pada dua langkah torak/piston (satu putaran engkol) sempurna akan menghasilkan satu langkah kerja.

- a) Langkah kompresi dimulai dengan penutupan saluran masuk dan keluar kemudian menekan isi silinder dan di bagian bawah, piston menghisap campuran bahan bakar udara bersih ke dalam rumah engkol. Bila piston mencapai titik mati atas, pembakaran dimulai.
- b) Langkah kerja atau ekspansi, dimulai ketika piston bergerak mencapai titik tertentu sebelum titik mati atas busi memercikan bunga api, terjadilah kerja. Pada awalnya saluran buang dan saluran masuk terbuka. Sebagian besar gas yang terbakar keluar silinder dalam proses *exhaust blowdown*. Ketika saluran masuk terbuka, campuran bahan bakar dan udara bersih tertekan di dalam rumah engkol, mengalir ke dalam silinder. Piston dan saluran-saluran umumnya dibentuk membelokan campuran yang masuk langsung menuju saluran buang dan juga ditunjukkan untuk mendapatkan pembilasan gas residu secara efektif. Setiap siklus mesin dengan satu langkah tenaga diselesaikan dalam satu kali putaran poros engkol. Namun sulit untuk mengisi secara penuh volume langkah dengan campuran bersih, dan sebagian darinya mengalir langsung ke luar silinder selama langkah bilas.

2) Motor Bensin Empat Langkah

Motor bensin empat langkah adalah motor yang pada setiap empat langkah torak/piston (dua putaran engkol) sempurna menghasilkan satu tenaga kerja (satu langkah kerja).



Gambar 2 21. Siklus motor bensin 4 langkah

- a) Langkah pemasukan dimulai dengan katup masuk terbuka, piston bergerak dari titik mati atas dan berakhir ketika piston mencapai titik mati bawah. Udara dan bahan bakar terhisap ke dalam silinder. Langkah ini berakhir hingga katup masuk menutup,
- b) Langkah kompresi, diawali ketika kedua katup tertutup dan campuran di dalam silinder terkompresi sebagian kecil dari volume awalnya. Sesaat sebelum akhir langkah kompresi, pembakaran dimulai dan tekanan silinder naik lebih cepat.
- c) Langkah kerja, atau langkah ekspansi, yang dimulai saat piston hampir mencapai titik mati atas dan berakhir sekitar 45° sebelum titik mati bawah. Gas bertekanan tinggi menekan piston turun dan memaksa engkol berputar. Ketika piston mencapai titik mati bawah, katup buang terbuka untuk memulai proses pembuangan dan menurunkan tekanan silinder hingga mendekati tekanan pembuangan.
- d) Langkah pembuangan, dimulai ketika piston mencapai titik mati bawah. Ketika katup buang membuka, piston mendorong keluar sisa gas pembakaran hingga piston mencapai titik mati atas. Bila piston mencapai titik mati atas, katup masuk membuka, katup buang tertutup, demikian seterusnya..

- e) Perhitungan daya motor didasarkan pada dimensi mesin, antara lain:

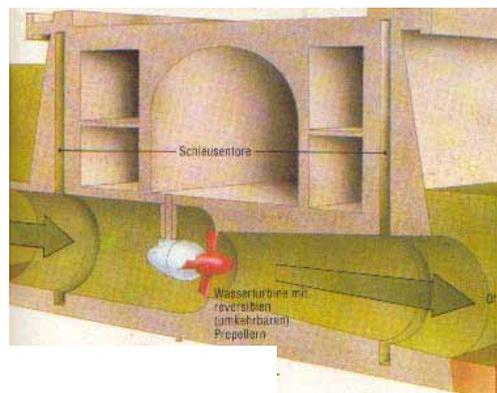
$$\text{Daya efektif: } Ne = \frac{\frac{\pi D^2}{4} S.L.Pe.n}{60.75.a}$$

$$\text{Daya indikatif: } Ni = \frac{\frac{\pi D^2}{4} S.L.Pi.n}{60.75.a}$$

- di mana
- D : diameter silinder (cm^2)
 - L : panjang langkah torak (m)
 - i : jumlah silinder
 - Pe : tekanan efek rata-rata (kgf/cm^2)
 - Pi : tekanan indikatif rata-rata (kgf/cm^2)
 - n : putaran mesin (rpm)
 - a : - dua langkah $a=1$
- empat langkah $a=2$

b. Turbin

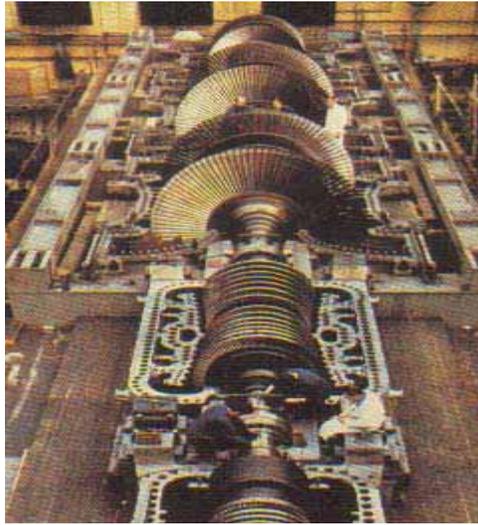
Turbin adalah mesin penggerak, di mana energi fluida kerja dipergunakan langsung untuk memutar roda turbin. Jadi, berbeda dengan yang terjadi pada mesin torak, pada turbin tidak terdapat bagian mesin yang bergerak translasi. Bagian berputar dinamai stator atau rumah turbin. Roda turbin terletak di dalam rumah turbin dan roda turbin memutar poros daya yang menggerakkan atau memutar bebannya (generator listrik, pompa, kompresor, baling-baling atau mesin lainnya). Di dalam turbin fluida kerja mengalami proses ekspansi, yaitu proses penurunan tekanan, dan mengalir secara kontinu. Fluida kerjanya dapat berupa air, uap air, atau gas.



Gambar 2 22. Turbin air

Turbin dilengkapi dengan sudu-sudu. Pada roda turbin terdapat sudu dan fluida kerja akan mengalir melalui ruang di antara sudu tersebut. Apabila kemudian ternyata bahwa roda turbin dapat berputar, maka akan timbul gaya yang bekerja pada sudu. Gaya tersebut timbul karena terjadinya perubahan momentum dari fluida kerja yang mengalir di

antara sudu. Jadi, sudu turbin haruslah dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja tersebut.



Gambar 2 23. Sebuah sistem turbin gas



Figure 3. Select clothing to provide maximum protection from sparks and hot metals

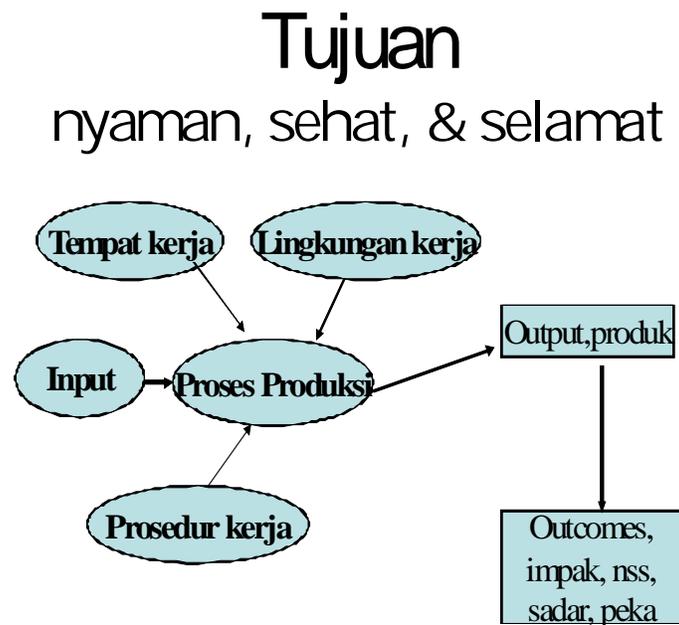
BAB 3

MEREALISASI KERJA YANG AMAN

A. Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)

Selalu ada resiko kegagalan (*risk of failures*) pada setiap proses/aktivitas pekerjaan. Dan saat kecelakaan kerja (*work accident*) terjadi, seberapa pun kecilnya, akan mengakibatkan efek kerugian (*loss*). Karena itu sedapat mungkin dan sedini mungkin, kecelakaan/potensi kecelakaan kerja harus dicegah/dihilangkan, atau setidaknya dikurangi dampaknya. Penanganan masalah keselamatan kerja di dalam sebuah perusahaan harus dilakukan secara serius oleh seluruh komponen pelaku usaha, tidak bisa secara parsial dan diperlakukan sebagai bahasan-bahasan marginal dalam perusahaan.

Adapun tujuan penanganan K3 adalah agar pekerja dapat nyaman, sehat dan selamat selama bekerja, sebagaimana digambarkan dalam bagan berikut :



Gambar 3 1. Hubungan antar variabel pada sistem keselamatan kerja.

Secara umum penyebab kecelakaan di tempat kerja adalah sebagai berikut :

1. Kelelahan (*fatigue*)
2. Kondisi tempat kerja (*enviromental aspects*) dan pekerjaan yang tidak aman (*unsafe working condition*)
3. Kurangnya penguasaan pekerja terhadap pekerjaan, ditengarai penyebab awalnya (*pre-cause*) adalah kurangnya *training*
4. Karakteristik pekerjaan itu sendiri
5. Hubungan antara karakteristik pekerjaan dan kecelakaan kerja menjadi fokus bahasan yang cukup menarik dan membutuhkan perhatian tersendiri. Kecepatan kerja (*paced work*), pekerjaan yang dilakukan secara berulang (*short-cycle repetitive work*), pekerjaan-pekerjaan yang harus diawali dengan "pemanasan prosedural", beban kerja (*workload*), dan lamanya sebuah pekerjaan dilakukan (*workhours*) adalah beberapa karakteristik pekerjaan yang dimaksud.

Penyebab-penyebab di atas bisa terjadi secara tunggal, simultan, maupun dalam sebuah rangkaian sebab-akibat (*cause consequences chain*). Jika kecelakaan terjadi maka akan sangat mempengaruhi produktivitas kerja.

1. Manajemen Bahaya

Aktivitas, situasi, kondisi, kejadian, gejala, proses, material, dan segala sesuatu yang ada di tempat kerja/berhubungan dengan pekerjaan yang menjadi/berpotensi menjadi sumber kecelakaan/cedera/penyakit dan kematian disebut dengan **Bahaya/Resiko**.

Secara garis besar, bahaya/resiko dikelompokkan menjadi tiga kelompok yaitu :

1. Bahaya/resiko lingkungan
Termasuk di dalamnya adalah bahaya-bahaya biologi, kimia, ruang kerja, suhu, kualitas udara, [kebisangan](#), panas/termal, cahaya dan pencahayaan. dll.
2. Bahaya/resiko pekerjaan/tugas
Misalnya : pekerjaan-pekerjaan yang dilakukan secara manual, peralatan dan perlengkapan dalam pekerjaan, getaran, faktor ergonomi, bahan/material, [Peraturan Pemerintah RI No.: 74 Tahun 2001, tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun \(B3\)](#), dll.
3. Bahaya/resiko manusia
Kejahatan di tempat kerja, termasuk kekerasan, sifat pekerjaan itu sendiri yang berbahaya, umur pekerja, *Personal Protective Equipment*, kelelahan dan *stress* dalam pekerjaan, pelatihan, dsb.
Berdasarkan "derajat keparahannya", bahaya-bahaya di atas dibagi ke dalam empat kelas, yaitu :

- a. *Extreme risk*
- b. *High risk*
- c. *Moderate risk*
- d. *Low risk*

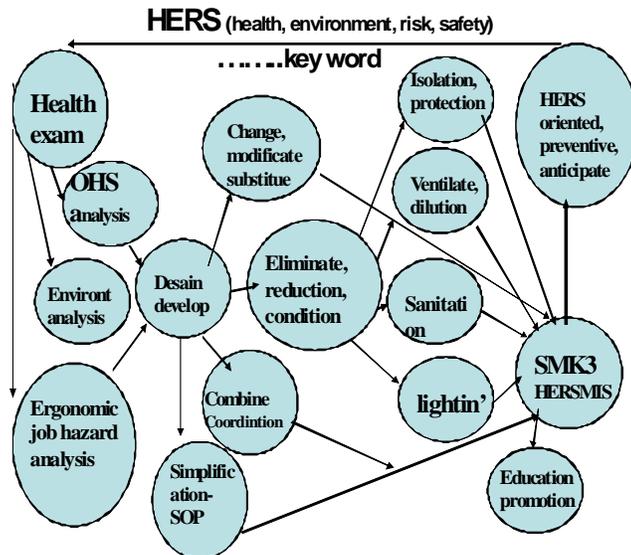
Dalam manajemen bahaya (*hazard management*) dikenal lima prinsip pengendalian bahaya yang bisa digunakan secara bertingkat/bersama-sama untuk mengurangi/menghilangkan tingkat bahaya, yaitu :

1. Penggantian/*substitution*, juga dikenal sebagai *engineering control*
2. Pemisahan/*separation*
 - a. Pemisahan fisik/*physical separation*
 - b. Pemisahan waktu/*time separation*
 - c. Pemisahan jarak/*distance separation*
3. Ventilasi/*ventilation*
4. Pengendalian administratif/*administrative controls*
5. Perlengkapan perlindungan personel/*Personnel Protective Equipment (PPE)*.

Ada tiga tahap penting (*critical stages*) di mana kelima prinsip tersebut sebaiknya diimplementasikan, yaitu :

1. Pada saat pekerjaan dan fasilitas kerja sedang dirancang
2. Pada saat prosedur operasional sedang dibuat
3. Pada saat perlengkapan/peralatan kerja dibeli.

Beberapa kata kunci yang saling berkaitan dalam penanganan masalah keselamatan kerja, termasuk bagaimana prinsip pengendalian kecelakaan kerja dilakukan, digambarkan melalui bagan berikut :



Gambar 3 2. Saling keterkaitan kata kunci dalam penanganan masalah.

2. Pengendalian Bahaya Kebisingan (Noise)

Kebisingan sampai pada tingkat tertentu bisa menimbulkan gangguan pada fungsi pendengaran manusia. Resiko terbesar adalah hilangnya pendengaran (*hearing loss*) secara permanen. Dan jika resiko ini terjadi (biasanya secara medis sudah tidak dapat diatasi/"diobati"). sudah barang tentu akan mengurangi efisiensi pekerjaan si penderita secara signifikan.

Secara umum dampak kebisingan bisa dikelompokkan dalam dua kelompok besar, yaitu :

1. Dampak auditorial (*Auditory effects*)
2. Dampak ini berhubungan langsung dengan fungsi (perangkat keras) pendengaran, seperti hilangnya/berkurangnya fungsi pendengaran, suara dering/berfrekuensi tinggi dalam telinga.
3. Dampak non-auditorial (*Non-auditory effects*)
4. Dampak ini bersifat psikologis, seperti gangguan cara berkomunikasi, kebingungan, *stress*, dan berkurangnya kepekaan terhadap masalah keamanan kerja.

Berikut ini adalah beberapa tingkat kebisingan beberapa sumber suara yang bisa dijadikan sebagai acuan untuk menilai tingkat keamanan kerja :

1. Percakapan biasa (45-60 dB)
2. Bor listrik (88-98 dB)
3. Suara anak ayam (di peternakan) (105 dB)
4. Gergaji mesin (110-115 dB)
5. Musik rock (metal) (115 dB)
6. Sirene ambulans (120 dB)
7. Teriakan awal seseorang yang menjerit kesakitan (140 dB)
8. Pesawat terbang jet (140 dB).

Sedangkan jenis industri, tempat kebisingan bisa menjadi sumber bahaya yang potensial bagi pekerja antara lain :

1. Industri perkayuan (*wood working & wood processing*)
2. Pekerjaan pemipaan (*plumbing*)
3. Pertambangan batu bara dan berbagai jenis pertambangan logam.

Catatan :

Lingkungan dengan tingkat kebisingan lebih besar dari 104 dB atau kondisi kerja yang mengakibatkan seorang karyawan harus menghadapi tingkat kebisingan lebih besar dari 85 dB selama lebih dari 8 jam tergolong sebagai *high level of noise related risks*.

Formula [NIOSH \(National Institute of Occupational Safety & Health\)](#) untuk menghitung waktu maksimum yang diperkenankan bagi seorang pekerja untuk berada dalam tempat kerja dengan tingkat kebisingan tidak aman adalah sebagai berikut :

$$T = \frac{480}{2^{(L-85)/3}}$$

Di mana :

- T = waktu maksimum pekerja boleh berhadapan dengan tingkat kebisingan (dalam menit)
L = tingkat kebisingan (dB) yang dianggap berbahaya
3 = *exchange rate*

Bandingkan formula yang telah ditetapkan oleh NIOSH tersebut dengan formula yang masih biasa digunakan, yakni :

$$T = \frac{8}{2^{(L-90)/5}}$$

Di mana :

- T = waktu maksimum pekerja boleh berhadapan dengan tingkat kebisingan (dalam jam)
L = tingkat kebisingan (dB) yang dianggap berbahaya
5 = *exchange rate*

Seringkali seseorang mengira dirinya telah berhasil “beradaptasi” dengan lingkungan yang bising manakala tidak merasa terganggu lagi dengan “tingkat kebisingan” yang pada awalnya sangat mengganggu dirinya. Jika hal yang sama terjadi pada anda, HATI-HATI ! Mungkin fungsi pendengaran anda mulai terganggu.....

Indikator adanya (potensi) gangguan kebisingan beresiko tinggi di antaranya :

1. Terdengarnya suara-suara dering/berfrekuensi tinggi di telinga
2. Volume suara yang makin keras pada saat harus berbicara dengan orang lain
3. “Mengeraskan” sumber suara hingga tingkatan tertentu yang dianggap oleh seseorang sebagai kebisingan.

Implementasi prinsip-prinsip pengendalian bahaya untuk resiko yang disebabkan oleh kebisingan :

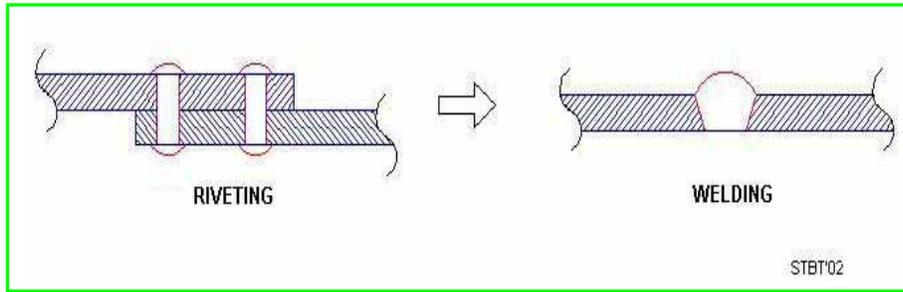
1. Penggantian (*substitution*)

- Mengganti mesin-mesin lama dengan mesin baru dengan tingkat kebisingan yang lebih rendah
- Mengganti “jenis proses” mesin (dengan tingkat kebisingan yang lebih rendah) dengan fungsi proses yang sama, contohnya pengelasan digunakan sebagai penggantian proses *riveting*.

Catatan :

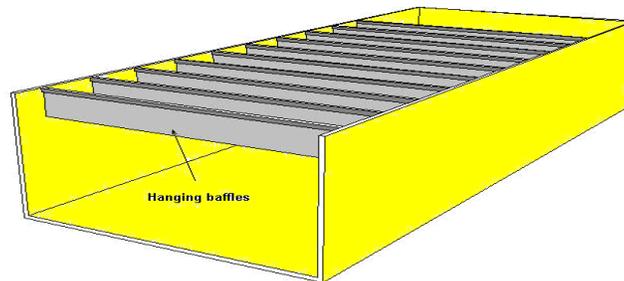
- Pertimbangan-pertimbangan teknis, seperti “*welder qualification*”, *welding equipment*, termasuk analisis kekuatan struktur harus benar-benar diperhatikan (*re-calculation*).
- Selalu ada resiko-resiko baru yang berhubungan dengan pekerjaan baru (*welding*), misalnya: resiko karena adanya penggunaan tenaga listrik, panas (*high temperature*), dan radiasi cahaya.

Karena itu perlu juga dikembangkan prosedur-prosedur baru (prinsip pengendalian administratif) untuk membantu proses minimisasi resiko kerja.



Gambar 3 3. Contoh penggantian pada teknik penyambungan logam.

- Modifikasi “tempat” mesin, seperti pemberian dudukan mesin dengan material-material yang memiliki koefisien redaman getaran lebih tinggi.
- Pemasangan peredam akustik (*acoustic barrier*) dalam ruang kerja.



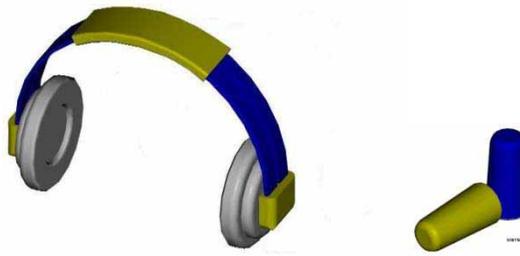
Gambar 3 4. Pemasangan peredam akustik.

2. Pemisahan (*separation*)

- 1) Pemisahan fisik (*physical separation*)
 - Memindahkan mesin (sumber kebisingan) ke tempat yang lebih jauh dari pekerja
- 2) Pemisahan waktu (*time separation*)
 - Mengurangi lamanya waktu yang harus dialami oleh seorang pekerja untuk “berhadapan” dengan kebisingan. Rotasi pekerjaan dan pengaturan jam kerja termasuk dua cara yang biasa digunakan.

3. Perlengkapan perlindungan personnel (*personnel protective equipment/PPE*)

- Penggunaan *earplug* dan *earmuffs*



Gambar 3 5. Perlengkapan perlindungan personel.

4. Pengendalian administratif (*administrative controls*)

- Larangan memasuki kawasan dengan tingkat kebisingan tinggi tanpa alat pengaman.
- Peringatan untuk terus mengenakan PPE selama berada di dalam tempat dengan tingkat kebisingan tinggi.

Ingat! Tidak ada jaminan bahwa semua tindakan terbebas dari resiko! Begitu sebuah resiko teridentifikasi, harus segera diambil tindakan penanggulangan.

1. Pencahayaan

Pencahayaan yang baik pada tempat kerja memungkinkan para pekerja melihat objek yang dikerjakannya secara jelas dan cepat. Selain itu pencahayaan yang memadai akan memberikan kesan yang lebih baik dan keadaan lingkungan yang menyegarkan. Sebaliknya, pencahayaan yang buruk dapat menimbulkan berbagai akibat, antara lain :

1. Kelelahan mata sehingga berkurang daya dan efisiensi kerja
2. Kelelahan mental
3. Keluhan pegal di daerah mata dan sakit kepala sekitar mata
4. Kerusakan penglihatan
5. Meningkatnya kecelakaan kerja.

Pencegahan kelelahan akibat pencahayaan yang kurang memadai dapat dilakukan melalui berbagai cara, antara lain :

1. Perbaiki kontras : dengan memilih latar penglihatan yang tepat
2. Meningkatkan penerangan : menambah jumlah dan meletakkan penerangan pada daerah kerja
3. Pemindahan tenaga kerja : pekerja muda pada shift malam.

Beberapa kata kunci dalam upaya perbaikan pencahayaan di tempat kerja secara detil dapat dilakukan hal-hal sebagai berikut :

- ❖ Optimalkan pencahayaan alami
 - 1) Mengapa ?

- a) Cahaya alami adalah yang terbaik dan merupakan sumber cahaya yang murah, sehingga akan menghemat biaya.
 - b) Pemerataan cahaya dalam tempat kerja dapat ditingkatkan melalui cahaya alami, hal ini terbukti dapat meningkatkan efisiensi dan kenyamanan pekerja.
 - c) Penggunaan cahaya alamiah merupakan gerakan ramah lingkungan.
- 2) Bagaimana caranya ?
- a) Bersihkan jendela dan pindahkan sekat yang menghalangi cahaya alamiah.
 - b) Ubah tempat kerja atau lokasi mesin agar dapat lebih banyak terkena cahaya alamiah.
 - c) Perluas atau pertinggi jendela agar makin banyak cahaya alamiah yang masuk.
 - d) Sendirikan saklar lampu pada tempat dekat jendela agar dapat dimatikan bila cahaya alamiahnya terang.
 - e) Pasang genting transparan untuk menambah cahaya alamiah.
- 3) Petunjuk penting :
- a) Gabungkan cahaya alamiah dengan cahaya buatan untuk meningkatkan pencahayaan tempat kerja.
 - b) Cermatilah : jendela dan genting kaca akan menyebabkan cuaca panas di musim panas, atau cuaca dingin di musim dingin.
 - c) Di musim panas cegah bukaan jendela dari sinar matahari langsung.
- ❖ Gunakan warna cerah pada dinding dan langit-langit
- 1) Mengapa ?
- a) Perbedaan warna akan memberikan perbedaan pantulan. Pantulan terbesar pada warna putih (90%), terendah pada warna hitam.
 - b) Dinding dan langit-langit yang cerah akan menghemat energi karena dengan sedikit cahaya dapat meningkatkan penerangan kamar.
 - c) Dinding dan langit-langit yang cerah akan membuat ruangan menjadi nyaman, sehingga kondusif untuk bekerja efisien.
 - d) Permukaan warna cerah penting dalam pekerjaan teliti dan pemeriksaan
- 2) Bagaimana caranya ?
- a) Untuk mendapatkan pantulan sempurna gunakan warna paling cerah (mis. putih = 80-90% pantulan) untuk langit-langit dan warna muda (50-85% pantulan) untuk dinding.
 - b) Hindari perbedaan kecerahan antara dinding dan langit-langit.
 - c) Jangan gunakan bahan/cat mengkilap agar tidak menyilaukan.
 - d) Atur agar langit-langit dan tata lampu dapat saling memantulkan sehingga pencahayaan makin merata.

- 3) Petunjuk penting :
 - a) Bersihkan dinding dan langit-langit secara teratur, karena debu akan menyerap banyak cahaya.
 - b) Bagian atas lampu yang terbuka bukan hanya memberikan pantulan dari langit-langit, tetapi juga memberikan pencahayaan yang merata serta mencegah bertumpuknya kotoran.
 - c) Warna cerah dinding dan langit-langit membuat lingkungan kerja menjadi nyaman dan efektif.

- ❖ Terangi lorong, tangga, turunan, dll.
 - 1) Mengapa ?
 - a) Tempat gelap menyebabkan kecelakaan, apalagi pada pemindahan barang-barang.
 - b) Tangga, balik pintu dan gudang cenderung terlindung dan gelap karena tidak terjangkau sinar matahari, sehingga perlu perhatian pada daerah ini.
 - c) Penerangan yang memadai pada tempat-tempat ini akan mencegah kerusakan bahan dan produk.
 - 2) Bagaimana caranya ?
 - a) Bersihkan jendela dan pasang lampu.
 - b) Pindahkan sekat yang menghalangi sinar masuk.
 - c) Pindahkan lampu agar makin terang.
 - d) Usahakan cahaya alamiah dengan membuka pintu atau memasang jendela dan genting kaca.
 - e) Tempatkan saklar dekat pintu masuk/keluar lorong dan tangga.
 - f) Gunakan warna cerah pada tangga agar nampak jelas.
 - 3) Petunjuk penting :
 - a) Tata lampu adalah bagian penting dalam pemeriksaan berkala dan program pemeliharaan.
 - b) Penerangan pada lorong, tangga dan gudang boleh jadi kurang daripada di ruang produksi, tetapi hal ini penting bagi keselamatan transportasi dan perpindahan orang/barang.
 - c) Pasang saklar otomatis bila tangga, lorong dan gudang digunakan secara teratur, atau jika tiba-tiba mati dapat menimbulkan kecelakaan.
 - d) Penerangan yang baik pada lorong dan tangga mencegah kecelakaan pekerja dan tamu, mengurangi kerusakan produk dan meningkatkan citra perusahaan.

- ❖ Pencahayaan merata mengurangi perubahan cahaya
 - 1) Mengapa ?
 - a) Perubahan pandangan dari terang ke gelap memerlukan adaptasi mata dan membutuhkan waktu serta menimbulkan kelelahan.

- b) Bekerja menjadi lebih nyaman dan efisien pada ruangan dengan variasi penerangan kecil.
 - c) Penting untuk mencegah kelap-kelip, karena melelahkan mata.
 - d) Bayangan pada permukaan benda kerja menyebabkan hasil kerja buruk, produktifitas rendah, gangguan & kelelahan mata, dan kecelakaan.
- 2) Bagaimana caranya ?
- a) Hilangkan kap, karena tidak ekonomis dan mengurangi terangnya ruang kerja.
 - b) Pertimbangkan untuk mengubah ketinggian lampu dan menambah penerangan utama agar ruang makin terang.
 - c) Gunakan cahaya alamiah.
 - d) Kurangi zone bayangan dengan pemasangan lampu, pantulan dinding serta perbaikan layout ruang kerja.
 - e) Hindari cahaya bergetar dengan menukar neon dengan lampu pijar.
- ❖ Penerangan yang memadai menjadikan pekerjaan efisien dan aman sepanjang waktu
- 1) Mengapa ?
- a) Penerangan memadai meningkatkan kenyamanan pekerja dan ruang kerja.
 - b) Penerangan memadai mengurangi kesalahan dan kecelakaan.
 - c) Penerangan yang memadai dan pas akan membantu pekerja mengawasi benda kerja secara cepat dan rinci sesuai tuntutan tugas.
- 2) Bagaimana caranya ?
- a) Kombinasikan cahaya alamiah dan cahaya buatan.
 - b) Pemasangan lampu mempertimbangkan kebutuhan pekerjaan.
 - c) Ubah posisi lampu dan arah cahaya agar jatuh pada objek kerja.
 - d) Pertimbangkan umur pekerja, yang tua perlu penerangan lebih besar.
 - e) Penerangan diatur agar lebih mudah mengamati objek.
- 3) Petunjuk lain :
- a) Rawatlah tata lampu secara rutin, bersihkan lampu, reflektor, jendela, dinding, sekat, dsb.
 - b) Warna dinding yang cerah memantulkan lebih banyak cahaya dan memperbaiki atmosfer ruang kerja.
 - c) Periksa kesehatan mata pekerja > 40 tahun, karena biasanya mereka berkaca mata.
 - d) Usahakan penerangan yang baik dan memadai secara murah, banyak cara untuk mencapai hal itu.

- ❖ Pasang penerangan lokal untuk pekerjaan peliti dan pemeriksaan
 - 1) Mengapa ?
 - a) Dibanding dengan pekerjaan produksi dan kantor, pekerjaan presisi dan pemeriksaan memerlukan lebih banyak penerangan.
 - b) Penerangan lokal yang memadai akan meningkatkan keselamatan dan efisiensi.
 - c) Kombinasi penerangan utama dan lokal akan diperoreh penerangan memadai dan mengurangi gangguan akibat adanya bayangan.
 - 2) Bagaimana caranya?
 - a) Pasang penerangan lokal dekat dan di atas pekerjaan teliti dan pemeriksaan.
 - b) Usahakan penerangan lokal mudah dipindah-pindahkan sesuai kebutuhan, mudah dibersihkan dan dirawat.
 - c) Gunakan neon untuk pekerjaan warna yang cermat.
 - d) Pastikan kombinasi cahaya alamiah dan buatan memberikan kontras antara benda kerja dan bidang latar.
 - 3) Petunjuk penting :
 - a) Pastikan penerangan lokal tidak mengganggu pandangan pekerja.
 - b) Pada mesin yang bergetar, pasang lampu pada batang yang tegar.
 - c) Gunakan kap agar tidak menyilaukan.
 - d) Lampu pijar timbulkan panas, hindari ini dengan memasang lampu TL.
 - e) Pemasangan lampu lokal yang tepat menghemat energi dan sangat efektif.

- ❖ Pindahkan sumber cahaya atau pasang tabir untuk mengurangi silau
 - 1) Mengapa?
 - a) Silau langsung atau pantulan mengurangi daya lihat orang.
 - b) Silau menyebabkan tidak nyaman dan kelelahan mata.
 - c) Banyak cara mengurangi silau.
 - 2) Bagaimana caranya ?
 - a) Pasang panel *display* atau layar.
 - b) Jangan pakai lampu telanjang (pakailah kap).
 - c) Pindahlan lampu di atas kepala atau naikkan.
 - d) Kurangi silau dari jendela dengan sekat, tabir, tirai, dsb.
 - e) Pasang lampu lokal.
 - f) Ubah arah pencahayaan.
 - 3) Petunjuk lain :
 - a) Ganti kaca jendela dari bening ke buram.
 - b) Lampu lokal dipasang sedekat mungkin dengan benda kerja.

- ❖ Pindahkan benda mengkilap agar tidak menyilaukan
 - 1) Mengapa ?
 - a) Silau tidak langsung sama dengan silau langsung dapat mengurangi daya lihat tenaga kerja.
 - b) Membuat kurang nyaman dan kelelahan mata.
 - 2) Bagaimana caranya ?
 - a) Kurangi pantulan dari permukaan mengkilap atau pindahkan letaknya.
 - b) Gunakan penutup pada benda mengkilap.
 - c) Kurangi nyala lampu.
 - d) Buat latar yang terang di belakang benda kerja.
 - 3) Petunjuk lain :
 - a) Pekerja tua lebih sensitif thd silau, sehingga perlu penerangan yang baik.
 - b) Coba berbagai posisi agar diperoleh pencahayaan yang baik.
 - c) Pantulan menyilaukan membuat mata lelah dan menurunkan kinerja, hindarilah hal tsb.

- ❖ Bersihkan jendela dan pelihara sumber penerangan
 - 1) Mengapa ?
 - a) Penerangan yang kotor dan tidak terpelihara akan mengurangi pencahayaan.
 - b) Pemeliharaan dan kebersihan akan menghemat energi.
 - c) Pemeliharaan akan menambah umur bola lampu.
 - 2) Bagaimana caranya?
 - a) Bersihkan secara teratur.
 - b) Petugas memadai dalam hal alat dan keterampilan.
 - c) Rencanakan program pemeliharaan sebagai program terpadu.
 - d) Sedapat mungkin gunakan lampu yang kapnya terbuka agar debu tidak menumpuk.

3. Pengendalian Bahaya Pencemaran Udara/Polusi

Pengendalian bahaya akibat pencemaran udara atau kondisi udara yang kurang nyaman dapat dilakukan antara lain dengan pembuatan ventilasi yang memadai. Ventilasi dapat dibedakan menjadi beberapa jenis :

1. Ventilasi umum : pengeluaran udara terkontaminasi dari suatu ruang kerja melalui suatu bukaan pada dinding bangunan dan pemasukan udara segar melalui bukaan lain atau kebalikannya. Disebut juga sebagai ventilasi pengenceran.
2. Ventilasi pengeluaran setempat : pengisapan dan pengeluaran kontaminan secara serentak dari sumber pancaran sebelum kontaminan tersebar ke seluruh ruangan.
3. Ventilasi penurunan panas : perlakuan udara dengan pengendalian suhu, kelembaban, kecepatan aliran dan distribusi untuk mengurangi beban panas yang diderita pekerja.

Maksud dibuatnya sistem ventilasi adalah :

1. Menurunkan kadar kontaminan dalam lingkungan kerja sampai pada tingkat yang tidak membahayakan kesehatan pekerja yaitu di bawah Nilai Ambang Batas (NAB) sehingga terhindar dari keracunan.
2. Menurunkan kadar yang tidak menimbulkan kebakaran atau peledakan yaitu di bawah Batas Ledak Terendah (BLT) atau *Lower Explosive Limit (LEL)*.
3. Memberikan penyegaran udara agar diperoleh kenyamanan dengan menurunkan tekanan panas.
4. Meningkatkan ketahanan fisik dan daya kerja pekerja.
5. Mencegah kerugian ekonomi karena kerusakan mesin oleh korosi, peledakan, kebakaran, hilang waktu kerja karena sakit dan kecelakaan, dsb.

Adapun cara membuat sistem ventilasi terdiri dari :

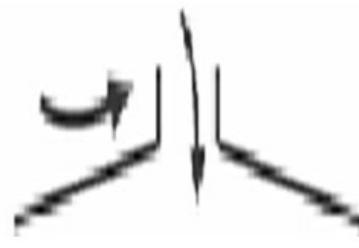
1. Secara alamiah di mana aliran atau pergantian udara terjadi karena kekuatan alami. Terjadi karena perbedaan tekanan udara sehingga timbul angin, atau perbedaan suhu yang mengakibatkan beda kerapatan udara antara bangunan dengan sekelilingnya.

Open Ridge



Precipitation sometimes fall into the building

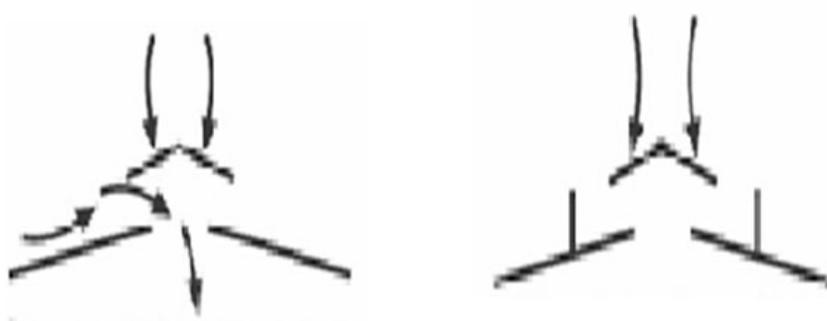
Short Upstand



Blowing precipitation in deflected above the ridge, although some rain or snow falls into the building

Ridge Cap

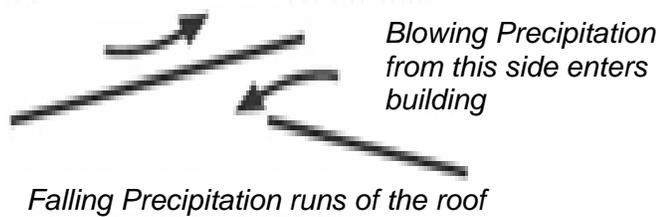
Ridge Cap with Upstand



Gambar 3 6. Aliran udara pada ventilasi (1).

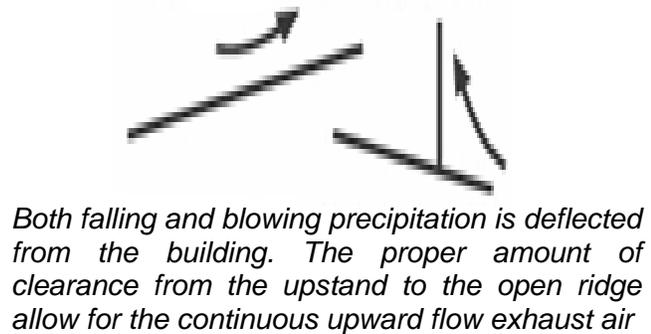
Overshot Roof

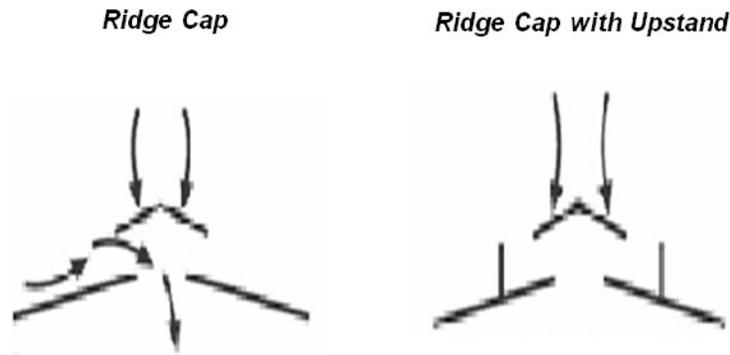
Blowing Precipitation from this side is deflected



Overshot Roof with Upstand

Blowing Precipitation from this side is deflected

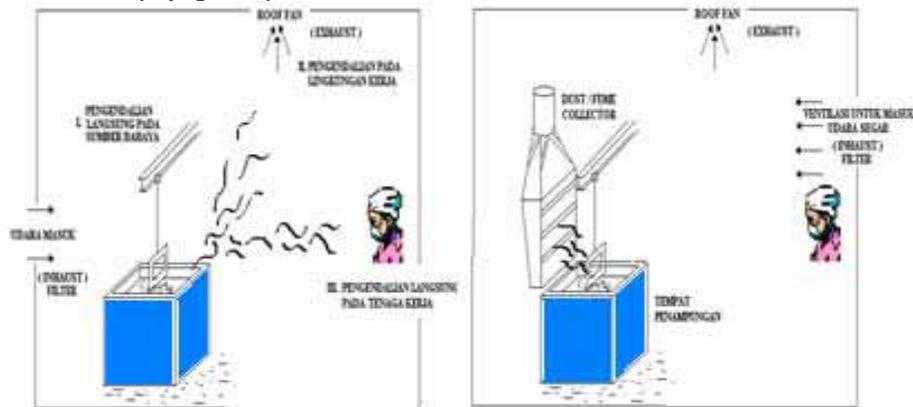




Gambar 3 7. Aliran udara pada ventilasi (2).

2. Secara mekanis melalui :

- 1) Aliran atau pergantian udara terjadi karena kekuatan mekanis seperti kipas, *blower* dan ventilasi atap.
- 2) Kipas angin dipasang di dinding, jendela, atau atap.
- 3) Kipas angin berfungsi mengisap atau mengeluarkan kontaminan, tetapi juga dapat memasukkan udara.



Gambar 3 8. Pengendalian udara masuk.

Untuk mendapatkan ventilasi udara ruang kerja yang baik perlu dicermati beberapa kata kunci sebagai berikut :

1. Pasang sistem pengeluaran udara kotor yang efisien dan aman. Udara kotor menjadi penyebab gangguan kesehatan sehingga mengarah pada kecelakaan kerja. Selain itu juga menyebabkan kelelahan, sakit kepala, pusing, iritasi mata dan tenggorokan, sehingga terjadi inefisiensi.
2. Optimalkan penggunaan ventilasi alamiah agar udara ruang kerja nyaman. Udara segar dapat menghilangkan udara panas dan polusi.

3. Optimalkan sistem ventilasi untuk menjamin kualitas udara ruang kerja. Aliran udara yang baik pada tempat kerja sangat penting untuk mencapai kerja produktif dan sehat. Ventilasi yang baik dapat membantu mengendalikan dan mencegah akumulasi panas.

4. Alat Perlindungan Diri

Secara teknis bagian tubuh manusia yang harus dilindungi sewaktu bekerja adalah : kepala dan wajah, mata, telinga, tangan, badan dan kaki. Untuk itu penggunaan alat perlindungan diri pekerja sangat penting, umumnya berupa :

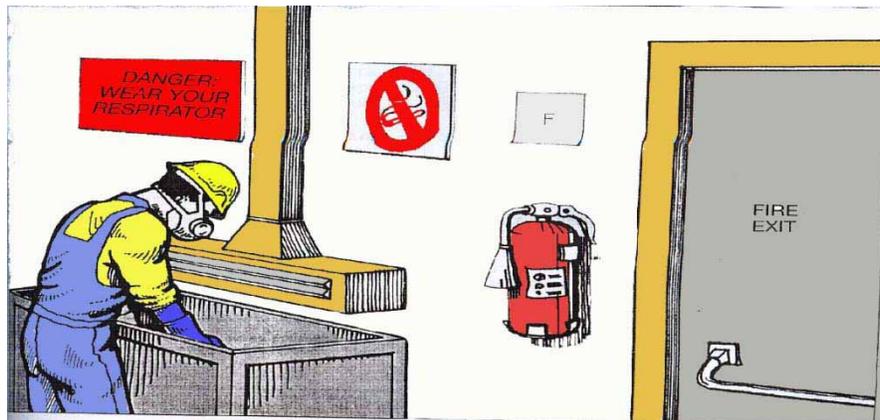
- ✓ Pelindung kepala dan wajah (Head & Face protection)
- ✓ Pelindung mata (Eyes protection)
- ✓ Pelindung telinga (Hearing protection)
- ✓ Pelindung alat pernafasan (Respiratory protection)
- ✓ Pelindung tangan (Hand protection)
- ✓ Pelindung kaki (Foot protection)



Gambar 3 9. Pakaian yang memenuhi syarat keselamatan kerja.

Kata kunci untuk pengaturan APD (Alat Perlindungan Diri)

1. Upayakan perawatan/kebersihan tempat ganti, cuci dan kakus agar terjamin kesehatan.
2. Sediakan tempat makan dan istirahat yang layak agar unjuk kerja baik.
3. Perbaiki fasilitas kesejahteraan bersama pekerja.
4. Sediakan ruang pertemuan dan pelatihan.
5. Buat petunjuk dan peringatan yang jelas.



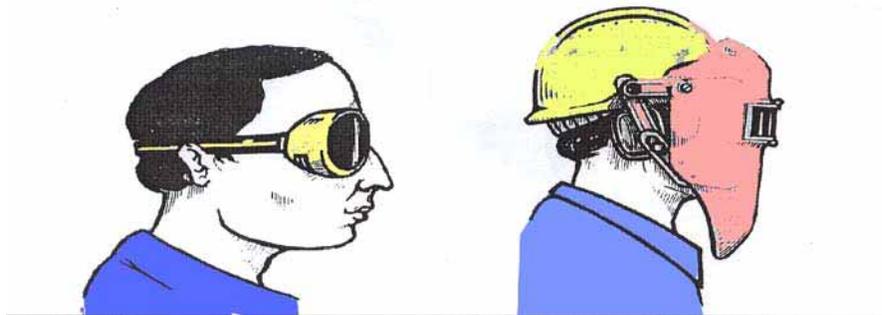
Gambar 3 10. Bekerja secara aman.

6. Sediakan APD secara memadai.



Gambar 3 11. Bekerja secara aman.

7. Pilihlah APD terbaik jika risiko bahaya tidak dieliminasi dengan alat lain.



Gambar 3 12. Bekerja secara aman.

8. Pastikan penggunaan APD melalui petunjuk yang lengkap, penyesuaian dan latihan.
9. Yakinkan bahwa penggunaan APD sangat diperlukan.



Gambar 3 13. Pelatihan K3.

10. Yakinkan bahwa penggunaan APD dapat diterima oleh pekerja.
11. Sediakan layanan untuk pembersihan dan perbaikan APD secara teratur.

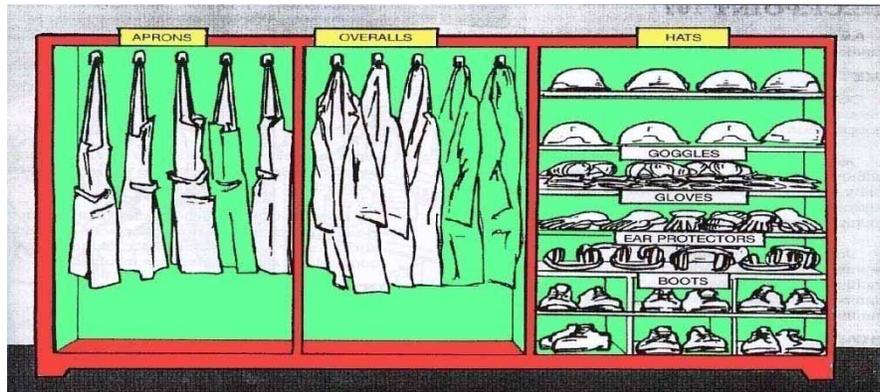


Gambar 3 14. Penjelasan teknis penggunaan alat.



Gambar 3 15. Peminjaman alat.

12. Sediakan tempat penyimpanan APD yang memadai.

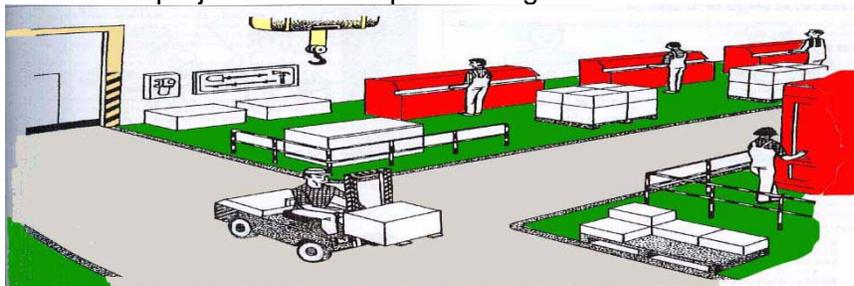


Gambar 3 16. Rak penyimpanan alat K3.

13. Pantau tanggung jawab atas kebersihan dan pengelolaan ruang kerja

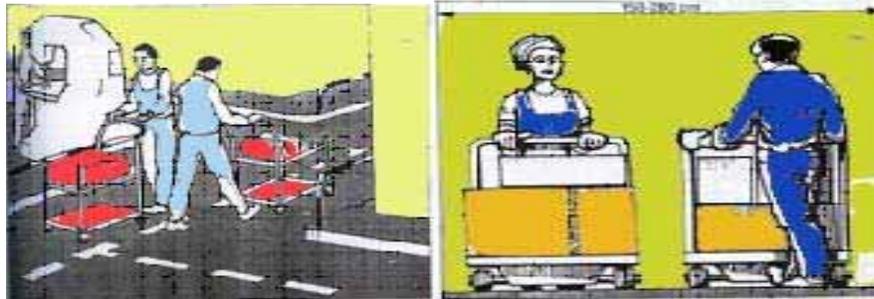
2. Penanganan dan Penyimpanan Bahan

1. Tandai dan perjelas rute transport barang.



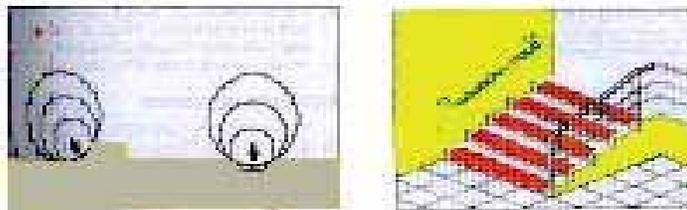
Gambar 3 17. Rute transport barang.

2. Pintu dan gang harus cukup lebar untuk arus dua arah.



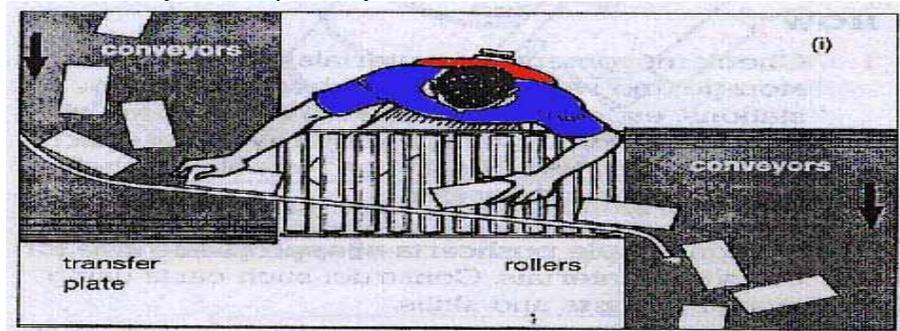
Gambar 3 18. Jalur arus dua arah.

3. Permukaan jalan rata, tidak licin dan tanpa rintangan.
4. Kemiringan tanjakan 5-8%, anak tangga yang rapat.



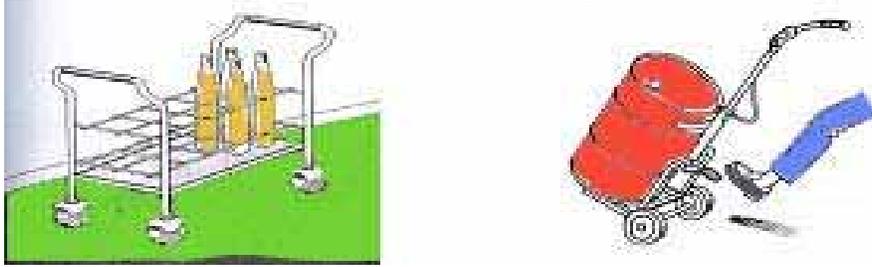
Gambar 3 19. Permukaan jalan tidak rata serta kemiringan tangga

5. Perbaiki layout tempat kerja.



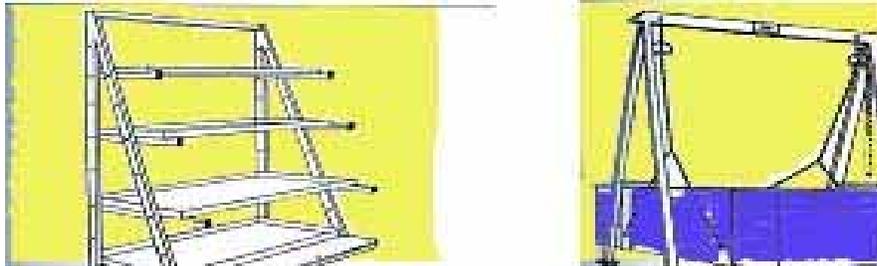
Gambar 3 20. Layout tempat kerja.

6. Gunakan kereta beroda untuk pindahkan barang.
7. Gunakan rak penyimpanan yang dapat bergerak/mobil.



Gambar 3 21. Rak penyimpanan barang serta keretta beroda

8. Gunakan rak bertingkat di dekat tempat kerja.
9. Gunakan alat pengangkat.



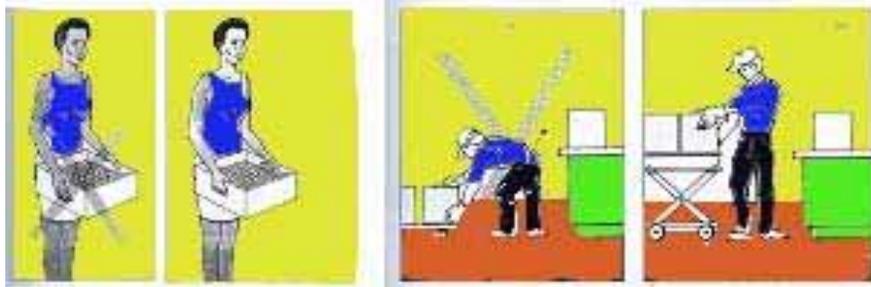
Gambar 3 22. Rak bertingkat serta alat pengangkat

10. Gunakan konveyor, kerek, dll.
11. Bagi dalam bagian kecil-kecil.



Gambar 3 23. Konveyor dan kerek.

12. Gunakan pegangan.
13. Hilangkan/kurangi perbedaan ketinggian permukaan.



Gambar 3 24. Pegangan serta perbedaan ketinggian

14. Pemindahan horizontal lebih baik dengan mendorong/menarik daripada mengangkat/menurunkan.
15. Kurangi pekerjaan yang dilakukan dengan cara membungkuk/memutar badan.



Gambar 3 25. Pemindahan horizontal serta posisi yang tidak efisien

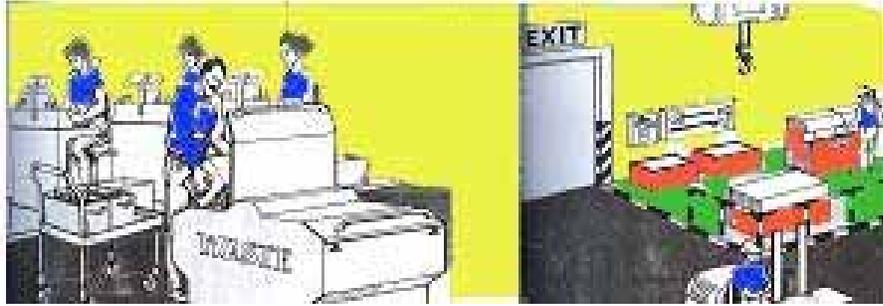
16. Rapatkan beban ke tubuh sewaktu membawa barang.
17. Naik/turunkan barang secara perlahan di depan badan tanpa membungkuk dan memutar tubuh.



Gambar 3 26. Membawa barang serta naik turunkan barang

18. Dipikul supaya seimbang.
19. Kombinasikan pekerjaan angkat berat dengan tugas fisik ringan.
20. Penempatan sampah.

21. Tandai dengan jelas dan bebaskan jalan keluar darurat.



Gambar 3 27. Penempatan sampah serta jalan keluar darurat

3. Pencegahan dan Pemadaman Kebakaran

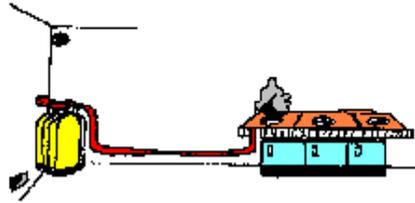
Pertimbangan utama mengapa perlu upaya penanggulangan bahaya kebakaran adalah karena adanya potensi bahaya kebakaran di semua tempat. Kebakaran merupakan peristiwa berkobarnya api yang tidak dikehendaki dan selalu membawa kerugian. Dengan demikian usaha pencegahan harus dilakukan oleh setiap individu dan unit kerja agar jumlah peristiwa kebakaran, penyebab kebakaran dan jumlah kecelakaan dapat dikurangi sekecil mungkin melalui perencanaan yang baik. Melalui pelatihan diharapkan peserta mampu mengidentifikasi potensi penyebab kebakaran di lingkungan tempat kerjanya dan melakukan upaya pemadaman kebakaran dini.

Kebakaran terjadi akibat bertemunya 3 unsur : bahan (yang dapat) terbakar, suhu penyalaan/titik nyala dan zat pembakar (O_2 atau udara). Untuk mencegah terjadinya kebakaran adalah dengan mencegah bertemunya salah satu dari dua unsur lainnya.

1. Pengendalian bahan (yang dapat) terbakar

Untuk mengendalikan bahan yang dapat terbakar agar tidak bertemu dengan dua unsur yang lain dilakukan melalui identifikasi bahan bakar tersebut. Bahan bakar dapat dibedakan dari jenis, titik nyala dan potensi menyala sendiri. Bahan bakar yang memiliki titik nyala rendah dan rendah sekali harus diwaspadai karena berpotensi besar penyebab kebakaran. Bahan seperti ini memerlukan pengelolaan yang memadai : penyimpanan dalam tabung tertutup, terpisah dari bahan lain, diberi sekat dari bahan tahan api, ruang penyimpanan terbuka atau dengan ventilasi yang cukup serta dipasang detektor kebocoran. Selain itu kewaspadaan diperlukan bagi bahan-bahan yang berada pada suhu tinggi, juga bahan yang bersifat mengoksidasi, bahan yang jika bertemu dengan air menghasilkan gas yang mudah terbakar (karbit), bahan yang relatif mudah terbakar seperti batu bara, kayu kering, kertas, plastik, cat, kapuk,

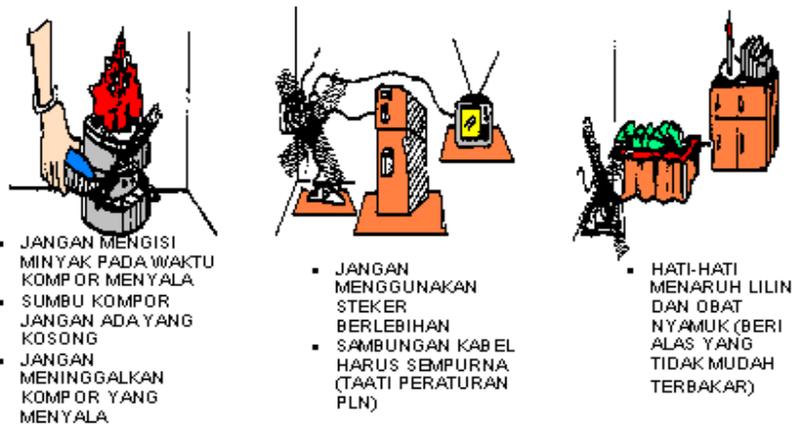
kain, karet, jerami, sampah kering, serta bahan-bahan yang mudah meledak pada bentuk serbuk atau debu.



Gambar 3 28. Pengendalian bahan bakar

2. Pengendalian titik nyala

Sumber titik nyala yang paling banyak adalah api terbuka seperti nyala api kompor, pemanas, lampu minyak, api rokok, api pembakaran sampah, dsb. Api terbuka tersebut bila memang diperlukan harus dijauhkan dari bahan yang mudah terbakar. Sumber penyalan yang lain: benda membara, bunga api, petir, reaksi eksoterm, timbulnya bara api juga terjadi karena gesekan benda dalam waktu relatif lama, atau terjadi hubung singkat rangkaian listrik.



Gambar 3 29. Pengendalian titik nyala.

3. Klasifikasi kebakaran

Berdasar Permennaker No.: 04/MEN/1980 penggolongan atau pengelompokan jenis kebakaran menurut jenis bahan yang terbakar, dimaksudkan untuk pemilihan media pemadam kebakaran yang sesuai. Pengelompokan itu adalah :

- a. Kebakaran kelas (tipe) A, yaitu kebakaran bahan padat kecuali logam, seperti : kertas, kayu, tekstil, plastik, karet, busa, dll. yang sejenis dengan itu.
- b. Kebakaran kelas (tipe) B, yaitu kebakaran bahan cair atau gas yang mudah terbakar, seperti : bensin, aspal, gemuk, minyak, alkohol, LPG dll. yang sejenis dengan itu.
- c. Kebakaran kelas (tipe) C, yaitu kebakaran listrik yang bertegangan
- d. Kebakaran kelas (tipe) D, yaitu kebakaran bahan logam, seperti : aluminium, magnesium, kalium, dll. yang sejenis dengan itu.

4. Sebab-sebab kebakaran

- a. Kebakaran karena sifat kelalaian manusia, seperti : kurangnya pengertian pengetahuan penanggulangan bahaya kebakaran, kurang hati-hati menggunakan alat dan bahan yang dapat menimbulkan api, kurangnya kesadaran pribadi atau tidak disiplin.
- b. Kebakaran karena peristiwa alam, terutama berkenaan dengan cuaca, sinar matahari, letusan gunung berapi, gempa bumi, petir, angin dan topan.
- c. Kebakaran karena penyalaan sendiri, sering terjadi pada gudang bahan kimia di mana bahan bereaksi dengan udara, air dan juga dengan bahan-bahan lainnya yang mudah meledak atau terbakar.
- d. Kebakaran karena kesengajaan untuk tujuan tertentu, misalnya sabotase, mencari keuntungan ganti rugi klaim asuransi, hilangkan jejak kejahatan, tujuan taktis pertempuran dengan jalan bumi hangus.

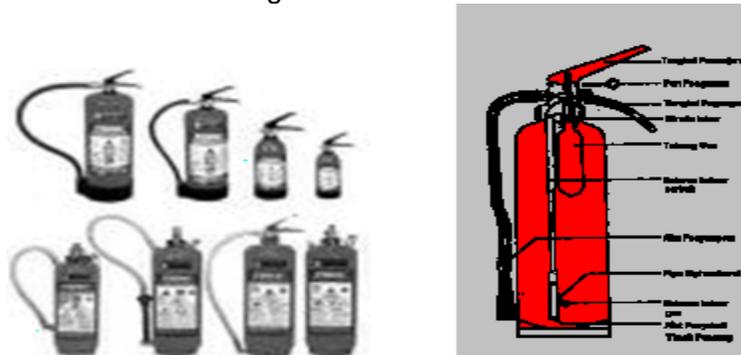
5. Peralatan pemadaman kebakaran

Untuk mencegah dan menanggulangi kebakaran perlu disediakan peralatan pemadam kebakaran yang sesuai dan cocok untuk bahan yang mungkin terbakar di tempat yang bersangkutan.

- a. Perlengkapan dan alat pemadam kebakaran sederhana
 - 1) Air, bahan alam yang melimpah, murah dan tidak ada akibat ikutan (*side effect*), sehingga air paling banyak dipakai untuk memadamkan kebakaran. Persediaan air dilakukan dengan cadangan bak-bak air dekat daerah bahaya, alat yang diperlukan berupa ember atau slang/pipa karet/plastik.
 - 2) Pasir, bahan yang dapat menutup benda terbakar sehingga udara tidak masuk sehingga api padam. Caranya dengan menimbunkan pada benda yang terbakar menggunakan sekop atau ember.

- 3) Karung goni, kain katun, atau selimut basah sangat efektif untuk menutup kebakaran dini pada api kompor atau kebakaran di rumah tangga, luasnya minimal 2 kali luas potensi api.
 - 4) Tangga, gantol dan lain-lain sejenis, dipergunakan untuk alat bantu penyelamatan dan pemadaman kebakaran.
- b. Alat Pemadam Api Ringan (APAR)
- APAR adalah alat yang ringan berupa tabung, mudah dilayani oleh satu orang untuk memadamkan api pada awal terjadinya kebakaran. Tabung APAR harus diisi ulang sesuai dengan jenis dan konstruksinya. Jenis APAR meliputi : jenis air (*water*), busa (*foam*), serbuk kering (*dry chemical*) gas halon dan gas CO₂, yang berfungsi untuk menyelimuti benda terbakar dari oksigen di sekitar bahan terbakar sehingga suplai oksigen terhenti. Zat keluar dari tabung karena dorongan gas bertekanan lebih besar dari tekanan diluar.

Konstruksi APAR sebagai berikut :



Gambar 3 30. Alat pemadam kebakaran.

- c. Alat pemadam kebakaran besar
- Alat-alat ini ada yang dilayani secara manual ada pula yang bekerja secara otomatis.
- 1) Sistem hidran mempergunakan air sebagai pemadam api. Terdiri dari pompa, saluran air, pilar hidran (di luar gedung), boks hidran (dalam gedung) berisi : slang landas, pipa kopel, pipa semprot dan kumparan slang.
 - 2) Sistem penyembur api (*sprinkler system*), kombinasi antara sistem isyarat alat pemadam kebakaran.
 - 3) Sistem pemadam dengan gas.



Gambar 3 31. Alat pemadam kebakaran besar.

6. Petunjuk pemilihan APAR

Pilih yang sesuai	Zat Kimia Kering (Dry Chemical)			CO ₂	Halon	Air	Zat Kimia Basah (Wet Chemical)	
	Multi Purpose	Sodium bicarbonat	Purple K	Carbon dioxide	Halon 1211	Water	Pump tank	Loaded Stream (Stored pressure d)
	Serba guna	NaHCO ₃		CO ₂		Air bertekanan	Tanki & pompa	Busa bertekanan
A	Ya	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Ya	Ya	Ya
B	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Ya
C	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak
Keterangan	Bekerja dengan cepat Disarankan tersedia pada gudang bahan bakar minyak dan gas, mobil serta bahan mudah terbakar lainnya			Bahan ini tidak meninggalkan bekas. Sesuai untuk alat elektronik dan gudang bahan makanan		Murah. Sesuai untuk bahan bangunan, rumah, gedung, sekolah, perkantoran dsb.		Sesuai untuk lab dan tempat bahan kimia
Petunjuk Pemakaian	Lepas pena kunci, genggam handel & arahkan moncong di bawah api			Lepas pena kunci, genggam handel & arahkan moncong ke sumber api		Lepas pena kunci, genggam handel & guyur bahan terbakar	Pegang moncong. Dipompa, guyur bahan terbakar	Lepas pena kunci, genggam handel & guyur bahan terbakar

Tabel 3 1. Pemilihan APAR

7. Karakteristik APAR :

- a. APAR jenis tertentu bukan merupakan pemadam untuk segala jenis kebakaran, oleh karena itu sebelum menggunakan APAR perlu diidentifikasi jenis bahan terbakar.
- b. APAR hanya ideal dioperasikan pada situasi tanpa angin kuat, APAR kimiawi ideal dioperasikan pada suhu kamar.
- c. Waktu ideal : 3 detik operasi, 10 detik berhenti, waktu maksimum terus menerus 8 detik.
- d. Bila telah dipakai harus diisi ulang.
- e. Harus diperiksa secara periodik, minimal 2 tahun sekali.

4. Pedoman Singkat Antisipasi dan Tindakan Pemadaman Kebakaran

1. Tempatkan APAR selalu pada tempat yang sudah ditentukan, mudah dijangkau dan mudah dilihat, tidak terlindung benda/perabot seperti lemari, rak buku, dsb. Beri tanda segitiga warna merah panjang sisi 35 cm.
2. Siagakan APAR selalu siap pakai.
3. Bila terjadi kebakaran kecil : bertindaklah dengan tenang, identifikasi bahan terbakar dan tentukan APAR yang dipakai.
4. Bila terjadi kebakaran besar : bertindaklah dengan tenang, beritahu orang lain untuk pengosongan lokasi, nyalakan alarm, hubungi petugas pemadam kebakaran.
5. Upayakan latihan secara periodik untuk dapat bertindak secara tepat dan tenang.

5. Fasilitas Penunjang

Keberhasilan pemadaman kebakaran juga ditentukan oleh keberadaan fasilitas penunjang yang memadai, antara lain :

1. *Fire alarm* secara otomatis akan mempercepat diketahuinya peristiwa kebakaran. Beberapa kebakaran terlambat diketahui karena tidak ada *fire alarm*, bila api terlanjur besar maka makin sulit memadamkannya.
2. Jalan bagi petugas, diperlukan untuk petugas yang datang menggunakan kendaraan pemadam kebakaran, kadang harus mondar-mandir/keluar masuk mengambil air, sehingga perlu jalan yang memadai, keras dan lebar, juga untuk keperluan evakuasi. Untuk itu diperlukan fasilitas :
 - a) Daun pintu dapat dibuka keluar
 - b) Pintu dapat dibuka dari dalam tanpa kunci
 - c) Lebar pintu dapat dilewati 40 orang/menit
 - d) Bangunan beton strukturnya harus mampu terbakar minimal 7 jam.

6. Pemeliharaan dan Penggunaan Alat-alat Perkakas

Pada dasarnya terdapat dua jenis pemeliharaan, yaitu :

1. Preventif (pencegahan kerusakan dan keausan)
2. Korektif (tindakan setelah timbulnya kerusakan)

Untuk pemeliharaan preventif, yang biasanya diutamakan, terdapat beberapa pedoman, yaitu :

1. Jagalah supaya perkakas-perkakas tangan dan mesin-mesin tetap dalam keadaan bersih.
2. Serahkanlah semua perkakas setelah dipakai, dalam keadaan bersih atau simpanlah dalam keadaan bersih, kalau itu merupakan kelengkapan mesin yang bersangkutan.
3. Periksalah alat-alat perkakas secara teratur akan kemungkinan terjadinya kerusakan-kerusakan.
4. Jangan membiarkan alat-alat bantu atau alat-alat ukur (kunci-kunci, mistar-mistar insut, mikrometer, dan sebagainya) berada di atas mesin yang sedang berjalan. Akibat yang mungkin terjadi :
 - a) Kecelakaan
 - b) Kerusakan perkakasnya
 - c) Kehancuran alat perkakasnya.
5. Lumasilah alat-alat perkakas secara teratur. Pelat-pelat kode dapat berguna sekali, ia menunjukkan setelah beberapa waktu minyak pelumasnya harus diperbaharui dan pelumasannya harus dilakukan, warnanya menunjukkan jenis pelumas apa yang harus digunakan (perhatikan petunjuk-petunjuk dari pegusaha pabriknya). Bak-bak minyak harus diisi sampai garis tandanya. Bersihkanlah ayakan-ayakan minyaknya pada waktu-waktu tertentu dan tukarlah saringan-saringannya.
6. Perbaiki atau gantilah perkakas yang rusak.
7. Jangan sekali-sekali menggunakan perkakas yang tumpul pada gesekan yang besar. Hal ini dapat berakibat terjadinya kehancuran bor, pahat, tap atau frais karena pembebanan yang besar pada poros-poros, bantalan-bantalan, batang-batang ulir dan mur-mur dari mesin-mesinnya.

Jangan lupa peraturan-peraturan keamanan. Ingatlah akan perlindungan dari bagian-bagian yang berputar, sambungan-sambungan listrik, bila perlu pakailah kaca mata pengaman. Usahakanlah supaya jalan-jalan terusan tidak terhalang oleh bahan, peti-peti, dan lainnya. Dan yang tidak kalah pentingnya adalah periksalah kotak penyimpanan obat-obatan secara teratur pula.



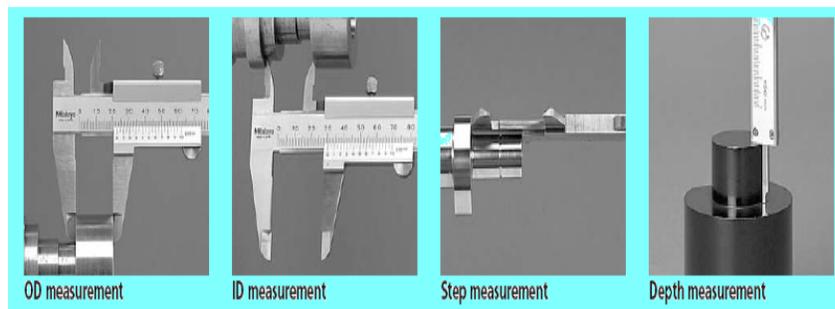
BAB 4
MEMAHAMI KAIDAH
PENGUKURAN

A. Alat Ukur

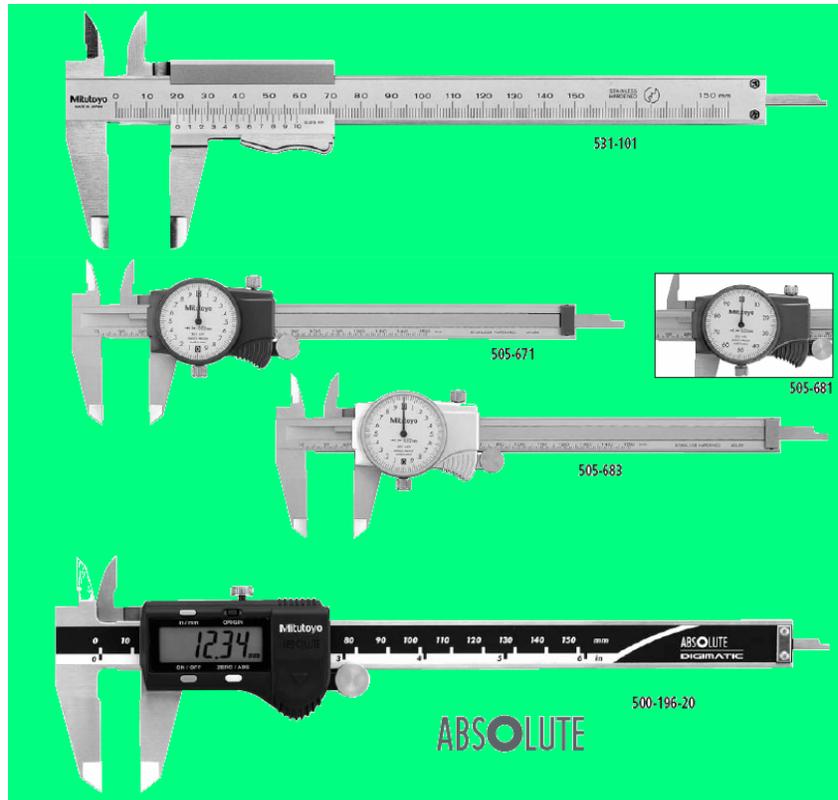
Mengukur adalah proses membandingkan ukuran (dimensi) yang tidak diketahui terhadap standar ukuran tertentu. Alat ukur yang baik merupakan kunci dari proses produksi massal. Tanpa alat ukur, elemen mesin tidak dapat dibuat cukup akurat untuk menjadi mampu tukar (*interchangeable*). Pada waktu merakit, komponen yang dirakit harus sesuai satu sama lain. Pada saat ini, alat ukur merupakan alat penting dalam proses pemesinan dari awal pembuatan sampai dengan kontrol kualitas di akhir produksi.

1. Jangka Sorong

Jangka sorong adalah alat ukur yang sering digunakan di bengkel mesin. Jangka sorong berfungsi sebagai alat ukur yang biasa dipakai operator mesin yang dapat mengukur panjang sampai dengan 200 mm, ketelitian 0,05 mm. Gambar 4.1. berikut adalah gambar jangka sorong yang dapat mengukur panjang dengan rahangnya, kedalaman dengan ekornya, lebar celah dengan sensor bagian atas. Jangka sorong tersebut memiliki skala ukur (*vernier scale*) dengan cara pembacaan tertentu. Ada juga jangka sorong yang dilengkapi jam ukur, atau dilengkapi penunjuk ukuran digital. Pengukuran menggunakan jangka sorong dilakukan dengan cara menyentuh sensor ukur pada benda kerja yang akan diukur, (lihat Gambar 4.1.). Beberapa macam jangka sorong dengan skala penunjuk pembacaan dapat dilihat pada Gambar 4.3.



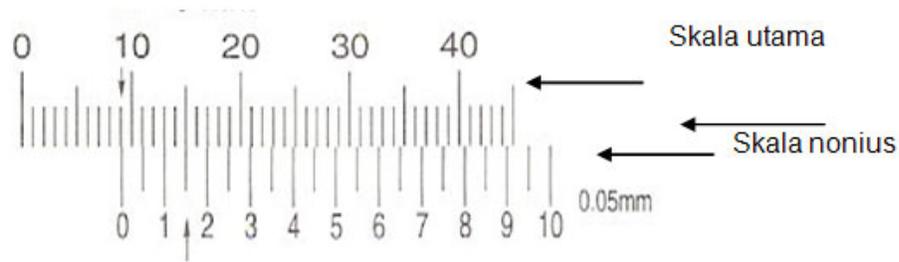
Gambar 4 1. Sensor jangka sorong yang dapat digunakan untuk mengukur berbagai posisi.



Gambar 4 2. Jangka sorong dengan penunjuk pembacaan nonius, jam ukur, dan digital.

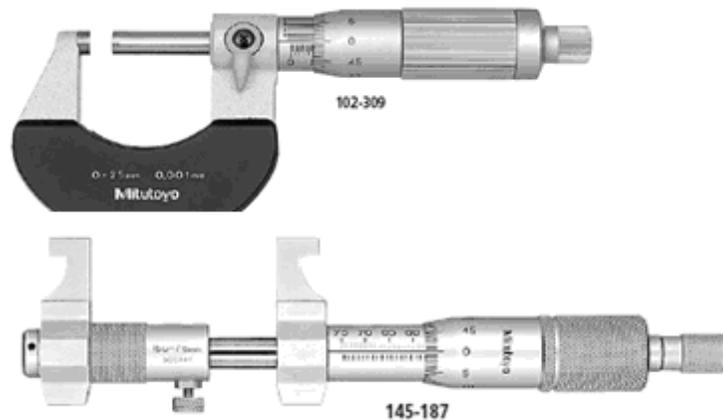
Pembacaan hasil pengukuran jangka sorong yang menggunakan jam ukur dilakukan dengan cara membaca skala utama ditambah jarak yang ditunjukkan oleh jam ukur. Untuk jangka sorong dengan penunjuk pembacaan digital, hasil pengukuran dapat langsung dibaca pada monitor digitalnya. Jangka sorong yang menggunakan skala nonius, cara pembacaan ukurannya secara singkat adalah sebagai berikut :

- Baca angka mm pada skala utama (pada Gambar 4.3. di bawah : 9 mm)
- Baca angka kelebihan ukuran dengan cara mencari garis skala utama yang segaris lurus dengan skala nonius (Gambar 4.3. di bawah : 0,15)
- Sehingga ukuran yang dimaksud 9,15 .



Gambar 4.3. Cara membaca skala jangka sorong ketelitian 0,05 mm.

2. Mikrometer

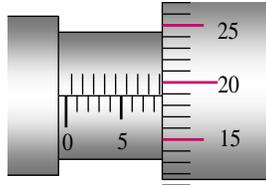


Gambar 4.4. Mikrometer luar, dan mikrometer dalam

Hasil pengukuran dengan menggunakan mikrometer (Gambar 4.4.) biasanya lebih presisi dari pada menggunakan jangka sorong. Akan tetapi jangkauan ukuran mikrometer lebih kecil, yaitu sekitar 25 mm. Mikrometer memiliki ketelitian sampai dengan 0,01 mm. Jangkauan ukur mikrometer adalah 0-25 mm, 25–50 mm, 50-75 mm, dan seterusnya dengan selang 25 mm. Cara membaca skala mikrometer secara singkat adalah sebagai berikut :

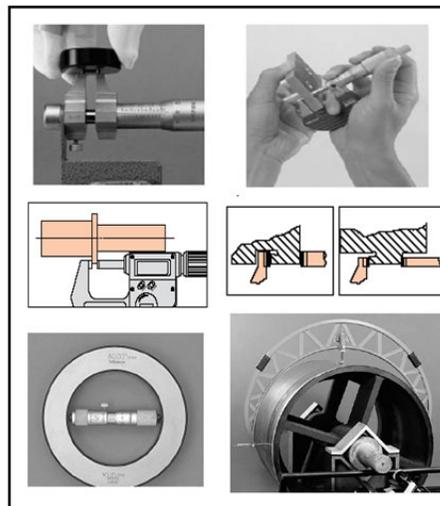
- Baca angka skala pada skala utama/*barrel scale* (pada Gambar 4.5. adalah 8,5 mm)
- Baca angka skala pada *thimble* (pada posisi 0,19 mm)

- Jumlahkan ukuran yang diperoleh (pada Gambar 1.6. adalah 8,69 mm).



Gambar 4 5. Cara membaca skala mikrometer.

Beberapa contoh penggunaan mikrometer untuk mengukur benda kerja dapat dilihat pada Gambar 4.7. Mikrometer dapat mengukur tebal, panjang, diameter dalam, hampir sama dengan jangka sorong. Untuk keperluan khusus mikrometer juga dibuat berbagai macam variasi, akan tetapi kepala mikrometer sebagai alat pengukur dan pembacaan hasil pengukuran tetap selalu digunakan. Beberapa mikrometer juga dilengkapi penunjuk pembacaan digital, untuk mengurangi kesalahan pembacaan hasil pengukuran.



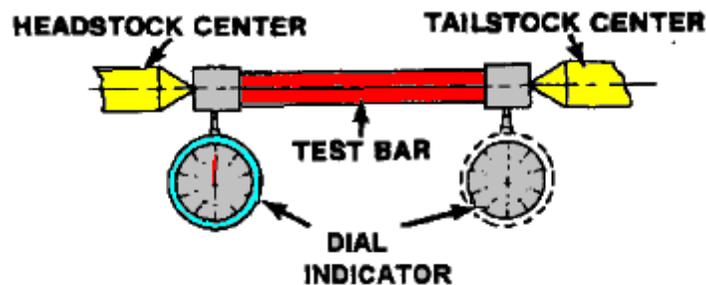
Gambar 4 6. Berbagai macam pengukuran yang bisa dilakukan dengan mikrometer : pengukuran jarak celah, tebal, diameter dalam, dan diameter luar.

3. Jam Ukur (Dial Indicator)

Jam ukur (*dial indicator*) adalah alat ukur pembanding (komparator). Alat ukur pembanding ini (Gambar 4.7.), digunakan oleh operator mesin perkakas untuk melakukan penyetelan mesin perkakas yaitu : pengecekan posisi ragum, posisi benda kerja, posisi senter/sumbu mesin perkakas (Gambar 4.8.), dan pengujian kualitas geometris mesin perkakas. Ketelitian ukur jam ukur yang biasa digunakan di bengkel adalah 0,01 mm.



Gambar 4.7. Jam ukur (*Dial Indicator*).



Gambar 4.8. Pengecekan sumbu mesin bubut dengan bantuan jam ukur.

4. Sistem Satuan

Sistem satuan yang digunakan pada mesin perkakas adalah sistem metris (*Metric system*) dan sistem imperial (*Imperial system/British system*). Buku terbitan USA dan England selalu

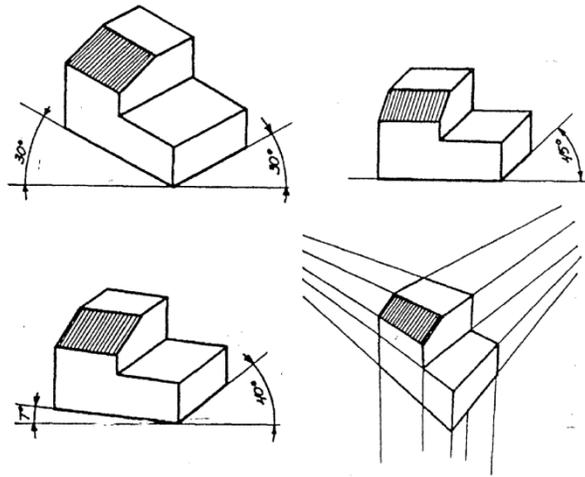
menggunakan satuan imperial, dan beberapa data pada buku ini juga menggunakan satuan imperial, maka untuk memudahkan perhitungan, berikut ditampilkan konversi satuan Imperial menjadi Metris (Tabel 4.1).

Mengubah	Dikalikan	Mengubah	Dikalikan
Panjang			
inches to millimeters	25,4	millimeters to inches	0,0393701
feet to meters	0,3048	meters to feet	3,28084
yards to meters	0,9144	meters to yards	1,09361
furlongs to kilometers	0,201168	kilometers to furlongs	4,97097
miles to kilometers	1,609344	kilometers to miles	0,621371
Luas			
square inches to square centimeters	6,4516	square centimeters to square inches	0,1550
square feet to square meters	0,092903	square meters to square feet	10,7639
square yards to square meters	0,836127	square meters to square yards	1,19599
square miles to square kilometers	2,589988	square kilometers to square miles	0,386102
acres to square meters	4046,856422	square meters to acres	0,000247
acres to hectares	0,404866	hectares to acres	2,469955
Volume			
cubic inches to cubic centimeters	16,387064	cubic centimeters to cubic inches	0,061024
cubic feet to cubic meters	0,028317	cubic meters to cubic feet	35,3147
cubic yards to cubic meters	0,764555	cubic meters to cubic yards	1,30795
cubic miles to cubic kilometers	4,1682	cubic kilometers to cubic miles	0,239912
fluid ounces (U.S.) to milliliters	29,5735	milliliters to fluid ounces (U.S.)	0,033814
fluid ounces (imperial) to milliliters	28,413063	milliliters to fluid ounces (imperial)	0,035195
pints (U.S.) to liters	0,473176	liters to pints (U.S.)	2,113377
pints (imperial) to liters	0,568261	liters to pints (imperial)	1,759754
quarts (U.S.) to liters	0,946353	liters to quarts (U.S.)	1,056688
quarts (imperial) to liters	1,136523	liters to quarts (imperial)	0,879877
gallons (U.S.) to liters	3,785412	liters to gallons (U.S.)	0,264172
gallons (imperial) to liters	4,54609	liters to gallons (imperial)	0,219969
Massa/Berat			
ounces to grams	28,349523	grams to ounces	0,035274
pounds to kilograms	0,453592	kilograms to pounds	2,20462
stone (14 lb) to kilograms	6,350293	kilograms to stone (14 lb)	0,157473
tons (U.S.) to kilograms	907,18474	kilograms to tons (U.S.)	0,001102
tons (imperial) to kilograms	1016,046909	kilograms to tons (imperial)	0,000984
tons (U.S.) to metric tons	0,907185	metric tons to tons (U.S.)	1,10231

tons (imperial) to metric tons	1,016047	metric tons to tons (imperial)	0,984207
Kecepatan			
miles per hour to kilometers per hour	1,609344	kilometers per hour to miles per hour	0,621371
feet per second to meters per second	0,3048	meters per second to feet per second	3,28084
Gaya			
pound-force to newton	4,44822	newton to pound-force	0,224809
kilogram-force to newton	9,80665	newton to kilogram-force	0,101972
Tekanan			
pound-force per square inch to kilopascals	6,89476	kilopascals to pound-force per square inch	0,145038
tons-force per square inch (imperial) to megapascals	15,4443	megapascals to tons-force per square inch (imperial)	0,064779
atmospheres to newtons per square centimeter	10,1325	newtons per square centimeter to atmospheres	0,098692
atmospheres to pound-force per square inch	14,695942	pound-force per square inch to atmospheres	0,068948
Energi			
calorie to joule	4,1868	joule to calorie	0,238846
watt-hour to joule	3.600	joule to watt-hour	0,000278
Usaha			
horsepower to kilowatts	0,7457	kilowatts to horsepower	1,34102
Konsumsi bahan bakar			
miles per gallon (U.S.) to kilometers per liter	0,4251	kilometers per liter to miles per gallon (U.S.)	2,3521
miles per gallon (imperial) to kilometers per liter	0,3540	kilometers per liter to miles per gallon (imperial)	2,824859
gallons per mile (U.S.) to liters per kilometer	2,3521	liters per kilometer to gallons per mile (U.S.)	0,4251
gallons per mile (imperial) to liters per kilometer	2,824859	liters per kilometer to gallons per mile (imperial)	0,3540

Microsoft ® Encarta ® Encyclopedia 2005. © 1993-2004 Microsoft Corporation. All rights reserved.

Tabel 4 1. Faktor konversi satuan imperial menjadi metris dan sebaliknya.



BAB 5

MEMAHAMI GAMBAR TEKNIK

A. Mengenal alat Menggambar Teknik

1. Kertas Gambar

a) Jenis Kertas

Berdasarkan jenis kertasnya, kertas gambar yang dapat digunakan untuk menggambar teknik adalah:

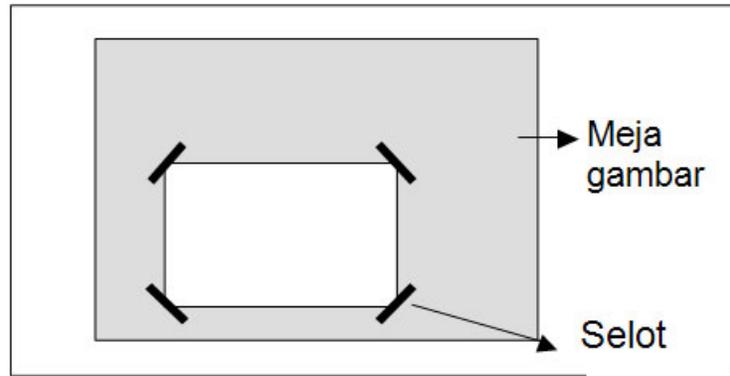
- 1) Kertas Padalarang
- 2) Kertas manila
- 3) Kertas Strimin
- 4) Kertas roti
- 5) Kertas Kalki

b) Ukuran Kertas

Ukuran gambar teknik sudah ditentukan berdasarkan standar. Ukuran pokok kertas gambar adalah A0. Ukuran A0 adalah 1 m² dengan perbandingan 2 : 1 untuk panjang : lebar. Ukuran A1 diperoleh dengan membagi dua ukuran panjang A0. Ukuran A2 diperoleh dengan membagi dua ukuran panjang A1. Demikian seterusnya. Ukuran kertas gambar dapat dilihat pada tabel 5.1. Sedangkan perbandingan ukuran kertas gambar dapat dilihat dari gambar 5.1.

Seri	Ukuran Kertas	Ukuran Garis Tepi	
		Kiri	Kanan
A0	1.189 x 841	20	10
A1	841 x 594	20	10
A2	594 x 420	20	10
A3	420 x 297	20	20
A4	297 x 210	15	5
A5	210 x 148	15	5

Tabel 5 1 Kertas gambar berdasarkan ukuran



Gambar 5 1. Cara penempelan kertas di atas meja gambar non magnetik

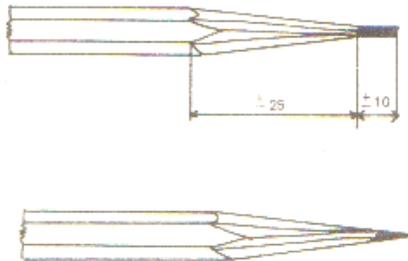
2. Pensil Gambar

Pensil adalah alat gambar yang paling banyak dipakai untuk latihan menggambar atau menggambar gambar teknik dasar. Pensil gambar terdiri dari batang pensil dan isi pensil.

c) Pensil Gambar Berdasarkan Bentuk

❖ Pensil Batang

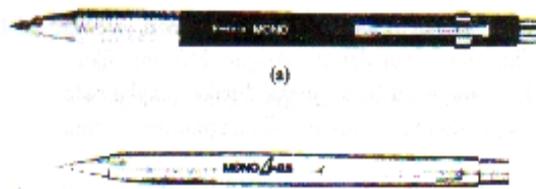
Pada pensil ini, antara isi dan batangnya menyatu. Untuk menggunakan pensil ini harus diraut terlebih dahulu. Habisnya isi pensil bersamaan dengan habisnya batang pensil. Gambar pensil batang dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5 2 Pensil batang

❖ Pensil mekanik

Pensil mekanik, antara batang dan isi pensil terpisah. Jika Isi pensil habis dapat diisi ulang. Batang pensil tetap tidak bisa habis. Pensil mekanik memiliki ukuran berdasarkan diameter mata pensil, misalnya 0.3 mm, 0.5 mm dan 1.0 mm. Gambar pensil mekanik dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5 3. Pensil mekanik

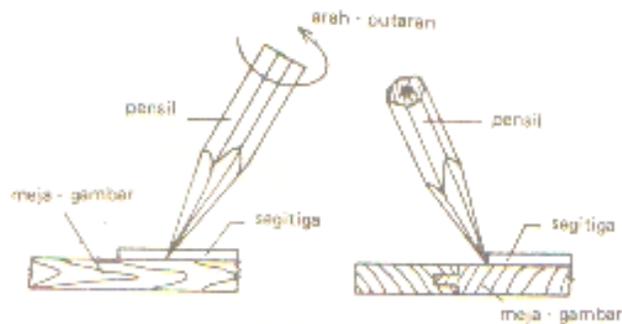
d) Pensil Gambar Berdasarkan Kekerasan

Berdasarkan kekerasannya pensil gambar dibagi menjadi pensil keras, sedang dan lunak.

Keras	Sedang	Lunak
4H	3H	2B
5H	2H	3B
6H	H	4B
7H	F	5B
8H	HB	6B
9H	B	7B

Tabel 5 2. Pensil berdasarkan kekerasannya

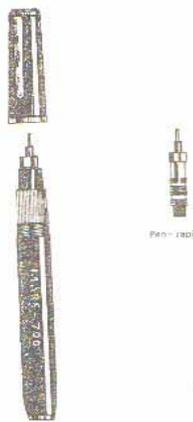
Untuk mendapatkan garis dengan ketebalan yang merata dari ujung ke ujung, maka kedudukan pensil sewaktu menarik garis harus dimiringkan 60° dan selama menarik garis sambil diputar dengan telunjuk dan ibu jari (lihat Gambar 5. 4.)



Gambar 5 4. Cara menarik garis

3. Rapido

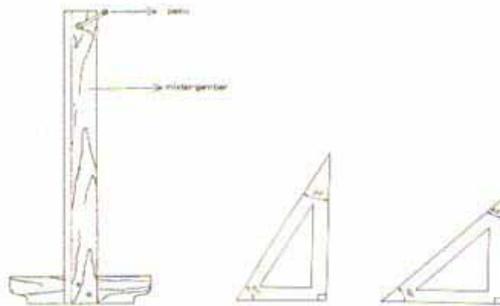
Penggunaan rapido untuk menggambar dengan teknik tinta dianggap lebih praktis dari pada dengan trekpen. Gambar rapido dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5. Rapido

4. Penggaris

Penggaris yang sering digunakan untuk menggambar teknik adalah penggaris –T dan penggaris segitiga.



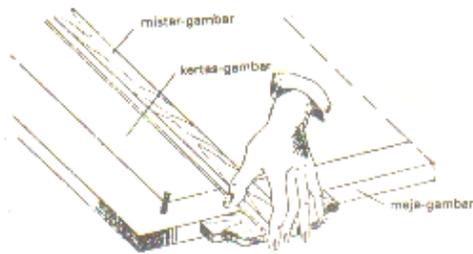
Gambar 5.6. Penggaris T dan sepasang penggaris segitiga.

a) Penggaris -T

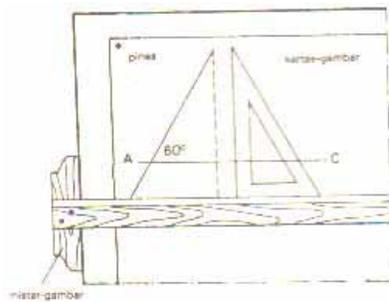
Penggaris T terdiri dari dua bagian, bagian mistar panjang dan bagian kepala berupa mistar pendek tanpa ukuran yang bertemu membentuk sudut 90° .

b) Penggaris Segitiga

Penggaris segitiga terdiri dari satu penggaris segitiga bersudut 45° , 90° , 45° dan satu buah penggaris bersudut 30° , 90° dan 60° . Sepasang penggaris segitiga ini digunakan untuk membuat garis-garis sejajar, sudut-sudut istimewa dan garis yang saling tegak lurus.



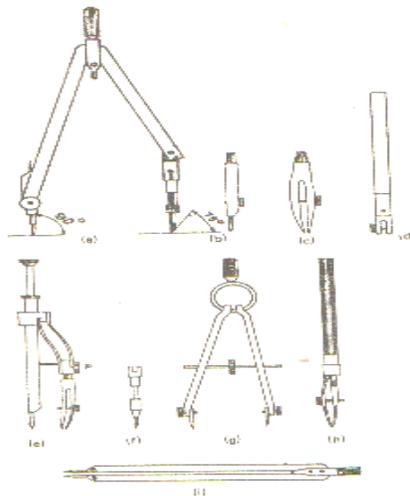
Gambar 5 7. Cara menggunakan penggaris-T



Gambar 5 8. Cara menggunakan penggaris segitiga

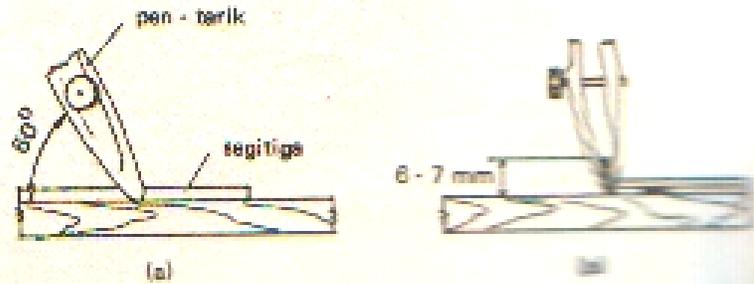
5. Jangka

Jangka adalah alat gambar yang digunakan untuk membuat lingkaran dengan cara menancapkan salah satu ujung batang pada kertas gambar sebagai pusat lingkaran dan yang lain berfungsi sebagai pensil untuk menggambar garis lingkarannya. Gambar 9 memperlihatkan beberapa jenis jangka.

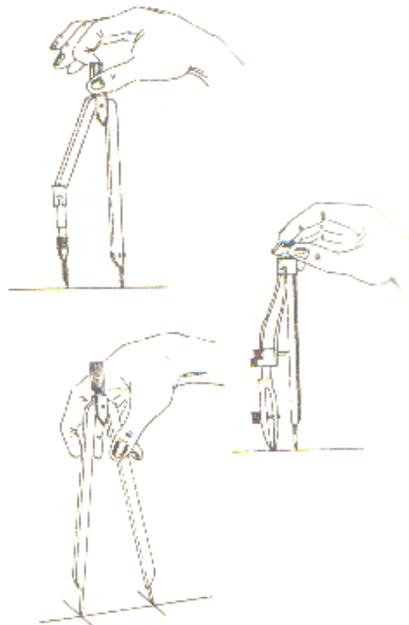


Gambar 5 9. Jenis jangka

Kedudukan pena tarik sewaktu menarik garis sebaiknya miring 60° terhadap meja gambar, seperti Gambar 5.10. cara menggunakan jangka ditunjukkan pada Gambar 5.11.



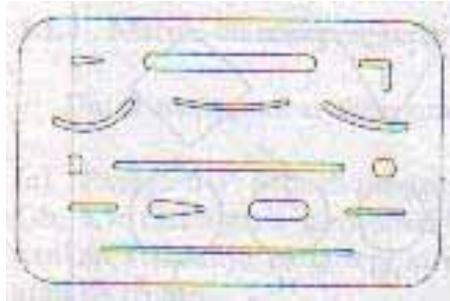
Gambar 5 10. Kedudukan pena tarik saat menarik garis serta Cara menggunakan jangka



Gambar 5 11. Membuat lingkaran besar dengan alat penyambung

6. Penghapus dan alat pelindung penghapus

Ada dua jenis penghapus, yaitu penghapus lunak dan penghapus keras. Penghapus lunak untuk menghapus gambar dari pensil dan penghapus keras untuk menghapus gambar dari tinta. Agar gambar yang akan dihapus tepat dan tidak menghilangkan gambar yang lain, maka digunakan plat pelindung penghapus seperti Gambar 5.13.



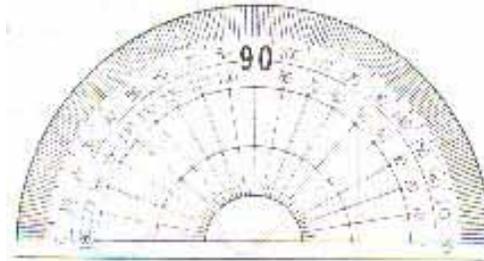
Gambar 5 12. Membuat lingkaran besar dengan alat penyambung

7. Alat-alat Penunjang lainnya

Ada beberapa alat penunjang gambar teknik lainnya yang kadang-kadang diperlukan didalam menggambar adalah :

e) Busur derajat

Busur derajat digunakan untuk mengukur dan membagi sudut. Lihat Gambar 5.14.



Gambar 5 13. Busur derajat

f) Sablon huruf dan angka

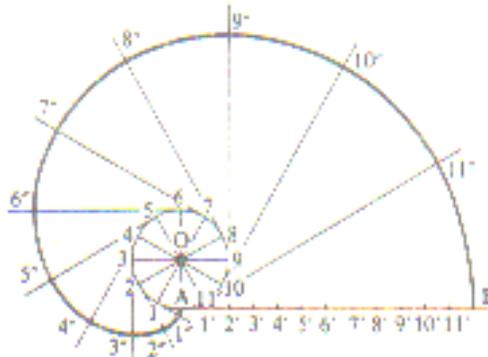
Sablon huruf dan angka adalah sebuah alat gambar yang digunakan untuk menggambar huruf dan angka, agar diperoleh tulisan yang rapi dan seragam dan mengikuti standar ISO.

g) Mal lengkung

Mal lengkung digunakan untuk membuat garis lengkung yang tidak dapat dibuat dengan jangka. Dalam satu set mal lengkung ada 3 jenis mal, lihat Gambar 5.15

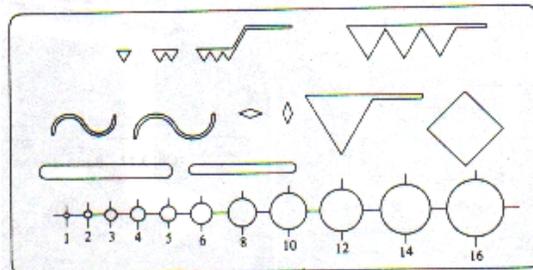


Gambar 5 14. Mal lengkung



Gambar 5 15. Contoh penggunaan mal lengkung

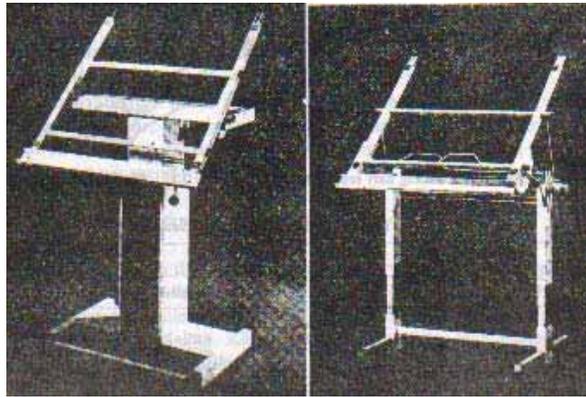
- h) Mal bentuk
 Untuk membuat gambar geometri dan simbol-simbol tertentu dengan cepat, maka digunakan mal bentuk.



Gambar 5 16. Mal bentuk geometri

8. Meja Gambar

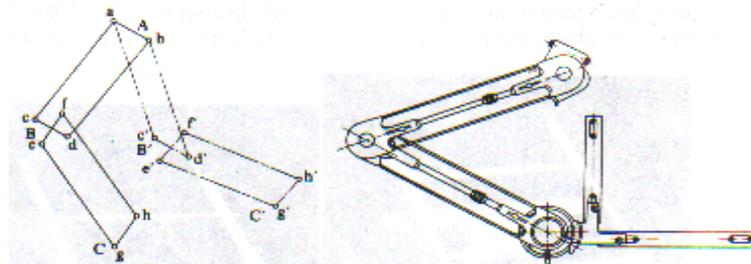
Meja gambar adalah meja yang digunakan sebagai alas menggambar. Meja gambar terdiri dari rangka meja gambar dan daun meja gambar. Tidak seperti meja biasa, meja gambar dapat diubah-ubah ketinggian dan kemiringan daun mejanya. Bahan daun meja ada bermacam-macam, yaitu : daun meja dari papan non magnetik, papan berlapis magnet dan kaca rayben



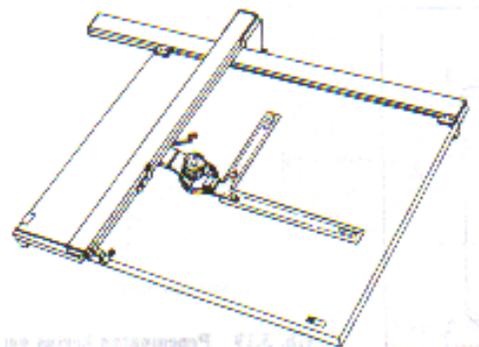
Gambar 5 17. Meja gambar

9. Mesin Gambar

Mesin gambar adalah mesin manual yang digunakan untuk memudahkan menggambar. Mesin gambar dapat menggantikan beberapa fungsi alat gambar lainnya seperti busur derajat, sepasang penggaris segitiga dan mistar T. Berdasarkan bentuknya ada dua jenis mesin gambar, yaitu: mesin gambar rol dan mesin gambar lengan.



Gambar 5 18. Mesin gambar lengan



Gambar 5 19. Mesin gambar rol

B. Lembar Kerja

1. Alat

- a. Meja gambar
- b. Pensil gambar
- c. Sepasang penggaris segitiga
- d. Penggaris panjang 50 cm atau 60 cm
- e. Jangka
- f. Mal huruf dan angka
- g. Mal bentuk
- h. Mal lengkung
- i. Penghapus
- j. Selotip
- k. *Cutter*

2. Bahan

Kertas manila A3

3. Kesehatan dan Keselamatan Kerja

- a. Hati-hati menggunakan peralatan yang tajam, yaitu: *cutter* dan jarum jangka.
- b. Gunakan selotip berbahan kertas.

4. Langkah Kerja

- a. Tempelkan kertas manila A3 di atas meja gambar dengan selotip.
- b. Gunakan sepasang penggaris segitiga untuk membuat garis-garis sejajar horisontal dan vertikal. Panjang dan jarak antar garis sembarang. Perhatikan arah penarikan garis.
- c. Buatlah sudut-sudut 15° , 30° , 45° , 60° , 75° dan 90° dengan sepasang penggaris segitiga. Perhatikan cara memegang penggarisnya.
- d. Gunakan jangka dengan benar untuk membuat lingkaran. Diameter lingkaran sembarang. Perhatikan dari mana mulai menarik garis dan mengakhirinya.
- e. Gunakan mal huruf-angka. Huruf dan angka yang di-mal sembarang. Perhatikan cara memegang mal dan cara menggesernya.
- f. Gunakan mal bentuk dan symbol. Cara menggunakan mal ini sama dengan cara menggunakan mal huruf-angka.
- g. Gunakan mal lengkung sesuai contoh pada lembar informasi. Tentukan dahulu titik-titik yang akan dihubungkan. Buat garis lengkungnya dengan mal lengkung. Geser-geser mal lengkung untuk mendapatkan bentuk yang paling tepat antara dua garis.

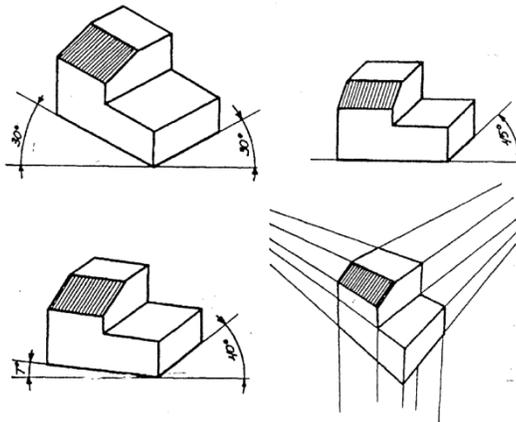
C. Membaca Gambar Teknik

1. Proyeksi Piktorial

Untuk menampilkan gambar-gambar tiga dimensi pada sebuah bidang dua dimensi, dapat kita lakukan dengan beberapa macam cara proyeksi sesuai dengan aturan rnenggambar. Ada beberapa macam cara proyeksi, antara lain:

1. Proyeksi piktorial dimensi
2. Proyeksi piktorial isometri
3. Proyeksi piktorial miring
4. Perspektif

Untuk membedakan masing-masing proyeksi tersebut, dapat kita lihat pada Gambar 5.21.



Gambar 5 20. Proyeksi piktorial

2. Proyeksi Isometris

c) Ciri Proyeksi Isometris

Untuk mengetahui apakah suatu gambar disajikan dalam bentuk proyeksi isometris, perlu kiranya kita mengetahui terlebih dahulu ciri dan syarat-syarat untuk membuat gambar dengan proyeksi tersebut. Adapun ciri-ciri gambar dengan proyeksi isometris tersebut adalah:

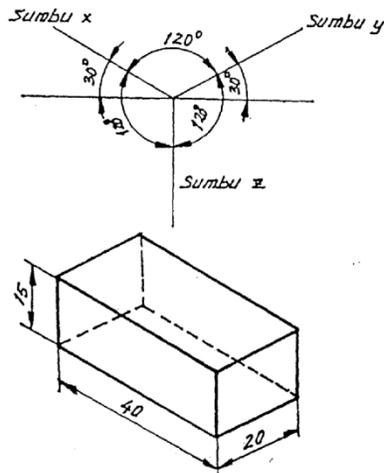
1) Ciri pada sumbu

- Sumbu x dan sumbu y mempunyai sudut 30° terhadap garis mendatar.
- Sudut antara sumbu satu terhadap sumbu lainnya 120° .

Untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar 5.22.

2) Ciri pada ukuran

Panjang gambar pada masing-masing sumbu sama dengan panjang benda yang digambarkan (lihat Gambar 5.22)



Gambar 5 21. Proyeksi isometris

d) Penyajian Proyeksi Isometris

Penyajian gambar dengan proyeksi isometris dapat dilakukan dengan kedudukan normal, terbalik atau horizontal.

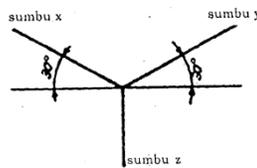
1) Proyeksi isometris dengan kedudukan normal.

Kedudukan normal mempunyai sumbu dengan sudut-sudut seperti tampak pada Gambar 5.23.

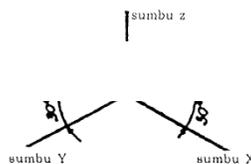
2) Proyeksi isometris dengan kedudukan terbalik.

Mengenai hal ini dapat dilaksanakan dengan dua cara yaitu:

- a. Memutar gambar dengan sudut 180° ke kanan dan kedudukan normal, sesuai dengan kedudukan sumbunya (lihat Gambar 5.23 berikut).

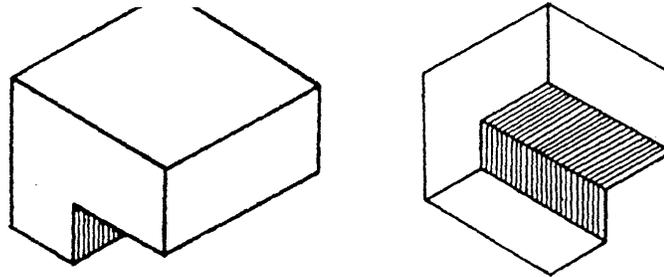


Gambar 4.4. Sumbu dalam kedudukan normal



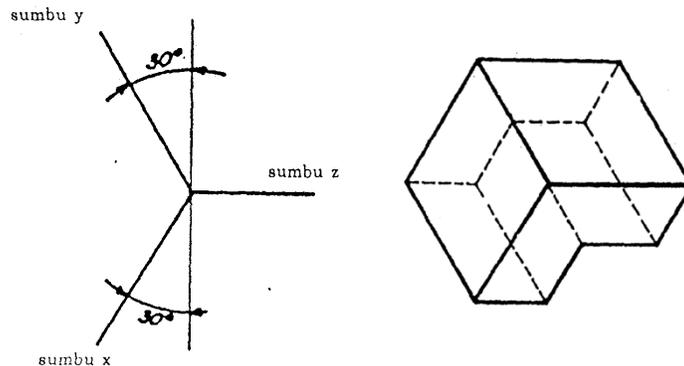
Gambar 5 22. Penyajian proyeksi isometris

- b. Mengubah kedudukan benda yang digambar dengan tujuan untuk memperlihatkan bagian bawah benda tersebut (lihat Gambar 5.24)



Gambar 5.23. Proyeksi isometris dengan kedudukan terbalik

- 3) Proyeksi isometris dengan kedudukan horizontal.
- Sebagaimana cara yang dilakukan untuk menggambar kedudukan proyeksi isometris terbalik, yaitu dengan memutar sumbu utama 180° dan sumbu normal, maka untuk kedudukan horizontal 270° ke kanan dan kedudukan sumbu normalnya (lihat Gambar 5.25)
 - Mengubah kedudukan benda, yaitu untuk memperlihatkan bagian samping kiri (yang tidak terlihat) sebagaimana terlihat pada Gambar 5.25.

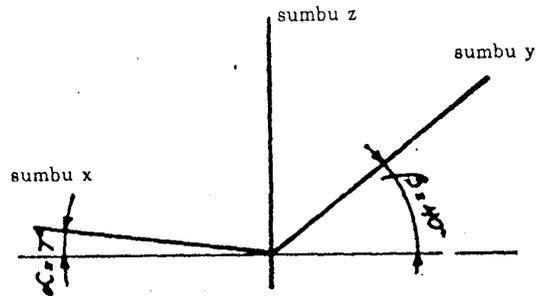


Gambar 5.24. Proyeksi isometris kedudukan horizontal

2. Proyeksi Dimetris

Proyeksi dimetris mempunyai ketentuan:

- Sumbu utama mempunyai sudut: $\alpha=7^\circ$ dan $\beta= 40^\circ$ (lihat Gambar 5.26)
- Perbandingan skala ukuran pada sumbu x = 1 : 1, pada sumbu y = 1 : 2, dan pada sumbu z 1 : 1.

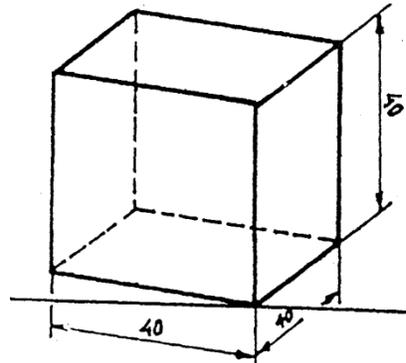


Gambar 5 25. Proyeksi dimetris

Gambar kubus yang di gambarkan dengan proyeksi dimetris di bawah ini, mempunyai sisi-sisi 40 mm.

Keterangan:

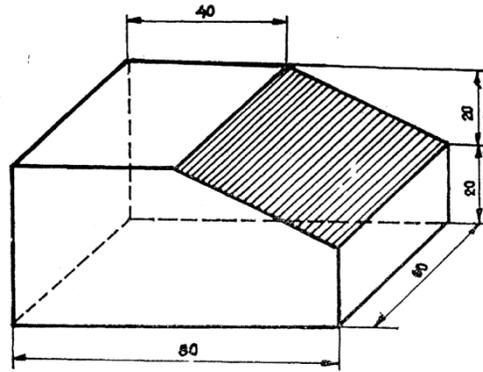
- Ukuran pada sumbu x digambar 40 mm
- Ukuran gambar pada sumbu y digambar 1/2 nya, yaitu 20 mm
- Ukuran pada sunbu z digambar 40 mm



Gambar 5 26. Kubus dengan proyeksi dimetris

3. Proyeksi Miring (sejajar)

Pada proyeksi miring, sumbu x berimpit dengan garis horizontal/mendatar dan sumbu y mempunyai sudut 45° dengan garis mendatar. Skala ukuran untuk proyeksi miring ini sama dengan skala pada proyeksi dimetris, yaitu skala pada sumbu x 1:1, pada sumbu y = 1 : 2, dan skala pada sumbu z = 1: 1 (ithat gambar di bawah ini)

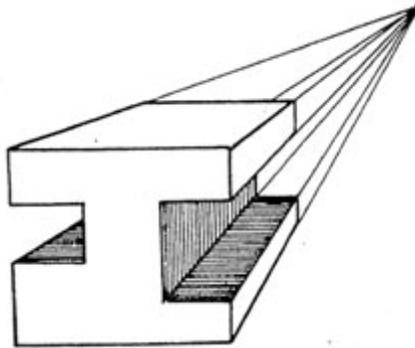


Gambar 5 27. Proyeksi miring

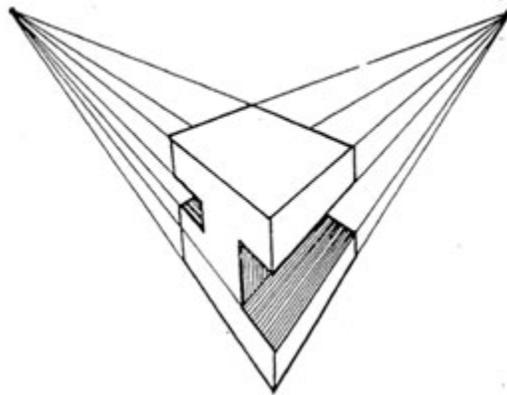
4. Gambar Perspektif

Dalam gambar teknik mesin, gambar perspektif jarang dipakai. Gambar perspektif dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

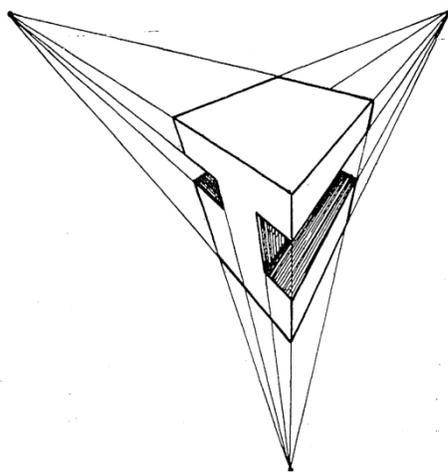
- a. perspektif dengan satu titik hilang.
- b. Perspektif dengan dua titik hilang.
- c. Perspektif dengan tiga titik hilang.



Gambar 5 28. Perspektif dengan satu titik hilang



Gambar 5 29. Perspektif dengan dua titik hilang



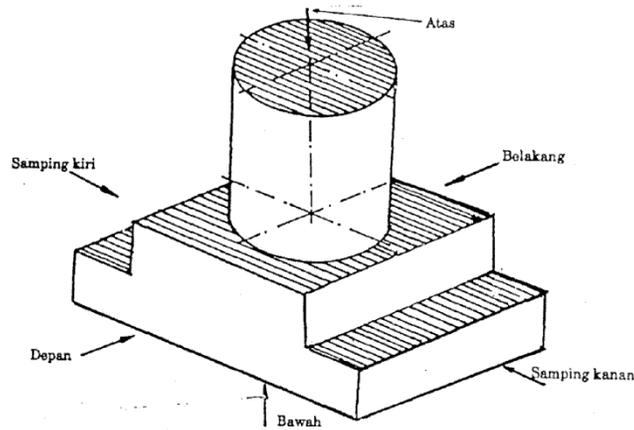
Gambar 5 30. Perspektif dengan tiga titik hilang

5. Macam-Macam Pandangan

Untuk memberikan informasi lengkap suatu benda tiga dimensi dengan gambar proyeksi ortogonal, biasanya memerlukan lebih dari satu bidang proyeksi.

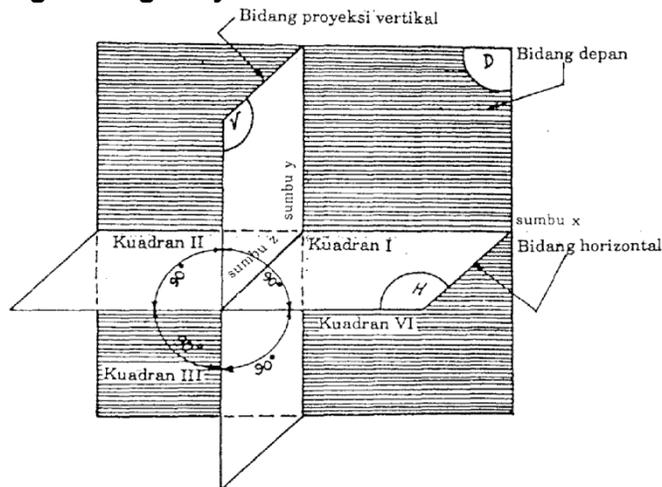
- a. Gambar proyeksi pada bidang proyeksi di depan benda disebut pandangan depan.
- b. Gambar proyeksi pada bidang proyeksi di atas benda disebut pandangan atas.
- c. Gambar proyeksi pada bidang proyeksi di sebelah kanan benda disebut pandangan samping kanan.

Demikian seterusnya.



Gambar 5 31. Macam-macam pandangan

6. Bidang-Bidang Proyeksi

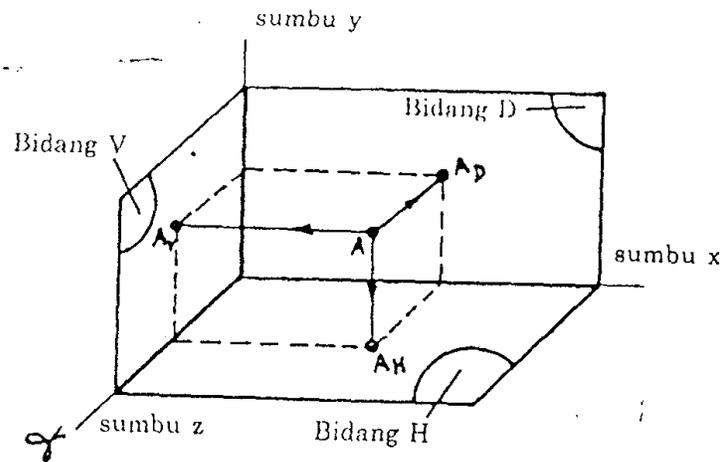


Gambar 5 32. Bidang proyeksi

Suatu ruang dibagi menjadi empat bagian yang dibatasi oleh bidang-bidang depan, bidang vertikal, dan bidang horizontal. Ruang yang dibatasi tersebut dikenal dengan sebutan kuadran. Ruang di atas bidang H, di depan bidang D, dan di samping kanan bidang V disebut kuadran I. Ruang yang berada di atas bidang H, di depan bidang D, dan disebelah kiri bidang V disebut kuadran II. Ruang disebelah kiri bidang V, di bawah bidang H, dan di depan bidang D disebut kuadran III. Ruang yang berada di bawah bidang H, di depan bidang D, dan di sebelah kanan bidang V disebut kuadran IV.

a) Proyeksi di Kuadran I (Proyeksi Eropa)

Bila suatu benda diletakkan di atas bidang horizontal, di depan bidang D, (depan) dan di sebelah kanan bidang V (vertikal) maka benda tersebut berada di kuadran I. jika benda yang terletak di kuadran I kita proyeksikan terhadap bidang-bidang H, V, dan D, maka akan didapat gambar/proyeksi pada kuadran I yang dikenal juga dengan nama proyeksi Eropa. Gambar 5.34 memperlihatkan titik yang terletak di kuadran I (lihat gambar 5.34).

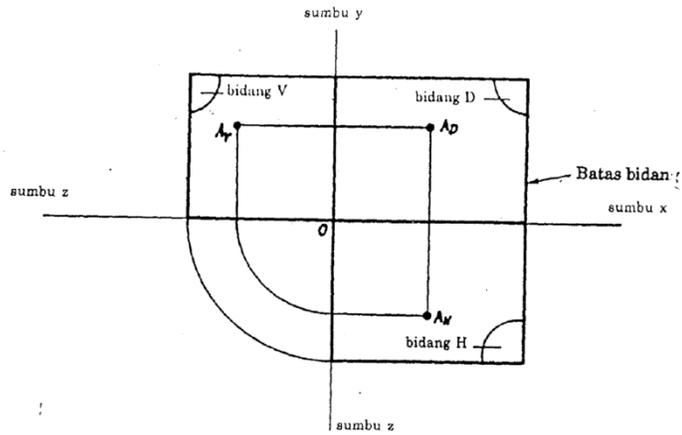


Gambar 5.33. Proyeksi di kuadran I

Keterangan:

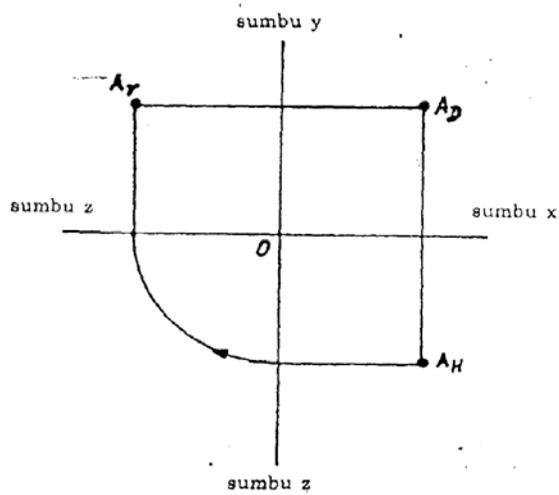
- A = titik kuadran-I
- A_D = proyeksi titik A di bidang D (depan)
- A_V = proyeksi titik A di bidang V (vertikal)
- A_H = proyeksi titik A di bidang H (horizontal)

Bila ketiga bidang saling tegak lurus tersebut dibuka, maka sumbu x dan y sebagai sumbu putarnya dan sumbu z merupakan sumbu yang dibuka/dipisah, seperti gambar berikut:

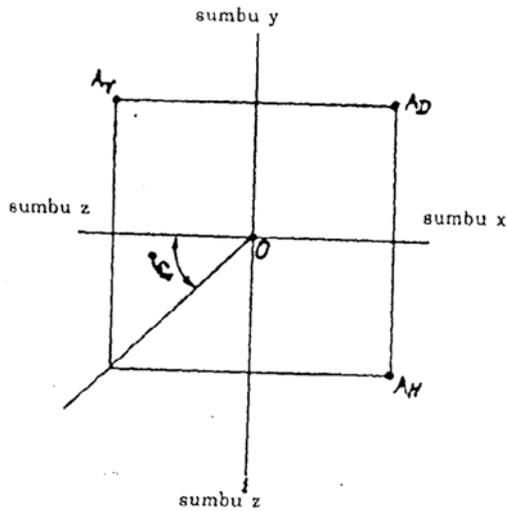


Gambar 5 34. Pembukaan objek gambar di kuadran I

Selanjutnya batas-batas bidang dihilangkan maka menjadi bentuk di bawah ini :

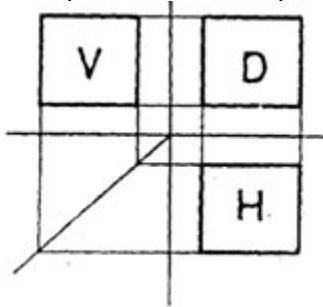


Gambar 5 35. Pemutaran dengan jangka

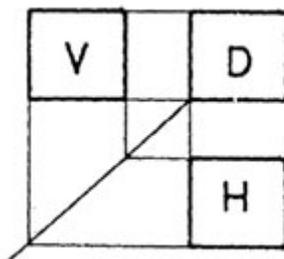


Gambar 5 36. Potongan garis yang bersudut 45°

Bila penempatan benda di kuadran I tidak teratur, maka untuk menempatkan sumbu dapat disederhanakan sesuai dengan ruang yang tersedia. Penyederhanaan dapat dilakukan seperti gambar berikut:



Gambar 5 37. Garis sumbu terpisah d

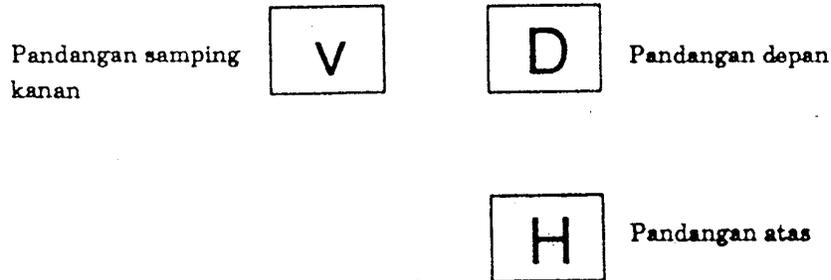


Gambar 5 38. Garis sumbu berimpit dengan gambar

❖ **Penampilan Gambar**

Untuk penampilan gambar berikutnya, garis sumbu dan garis bantu tidak diperlukan lagi (dihilangkan). Jadi yang nampak hanya

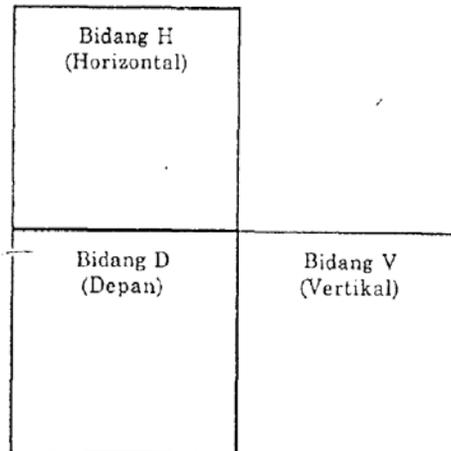
pandangannya saja (lihat gambar 5.40), perlu ditegaskan kembali bahwa untuk proyeksi di kuadran I (proyeksi Eropa), penempatan pandangan samping akan berada disebelah kiri pandangan depannya, sedangkan pandangan atas berada di bawah pandangan depannya.



Gambar 5 39. Pandangan proyeksi Eropa

b) Proyeksi di Kuadran III (Proyeksi Amerika)

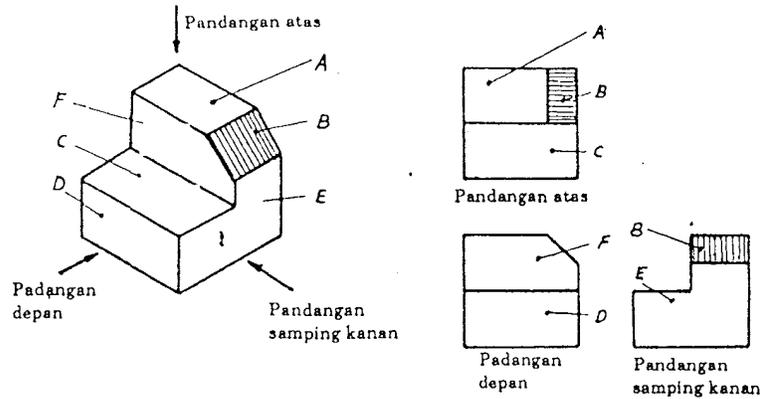
Bidang-bidang H, V. dan D untuk proyeksi di kuadran III (proyeksi Amerika) yang telah di buka adalah:



Gambar 5 40. Pandangan proyeksi Amerika

- Pada bidang H ditempatkan pandangan atas
- Pada bidang D ditempatkan pandangan depan
- Pada bidang V ditempatkan pandangan samping kanan

Contoh :



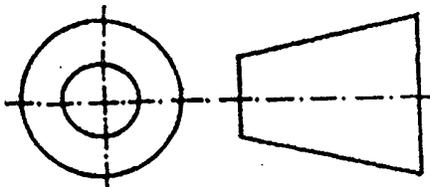
Gambar 5 41. Contoh pandangan proyeksi Amerika

7. Simbol Proyeksi dan Anak Panah

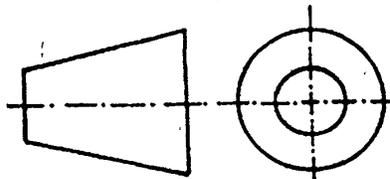
a) Simbol Proyeksi

Untuk membedakan gambar/proyeksi di kuadran I dan gambar/proyeksi di kuadran III, perlu diberi lambang proyeksi. Dalam standar ISO (ISO/DIS 128), telah ditetapkan bahwa cara kedua proyeksi boleh dipergunakan. Sedangkan untuk keseragaman ISO, gambar sebaiknya digambar menurut proyeksi sudut pertama (kuadran I atau kita kenal sebagai proyeksi Eropa).

Dalam satu buah gambar tidak diperkenankan terdapat gambar dengan menggunakan kedua gambar proyeksi secara bersamaan. Simbol proyeksi ditempatkan disisi kanan bawah kertas gambar. Simbol/lambang proyeksi tersebut adalah sebuah kerucut terpancung (lihat gambar).



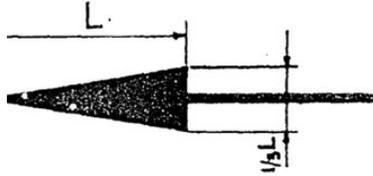
Gambar 5 42. Proyeksi Amerika



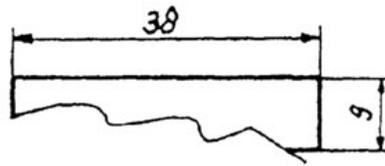
Gambar 5 43. Proyeksi Eropa

b) Anak Panah

Anak panah digunakan untuk menunjukkan batas ukuran dan tempat/posisi atau arah pemotongan sedangkan angka ukuran ditempatkan di atas garis ukur atau di sisi kiri garis ukur (lihat gambar 5.45).



Gambar 5 44. Anak Panah

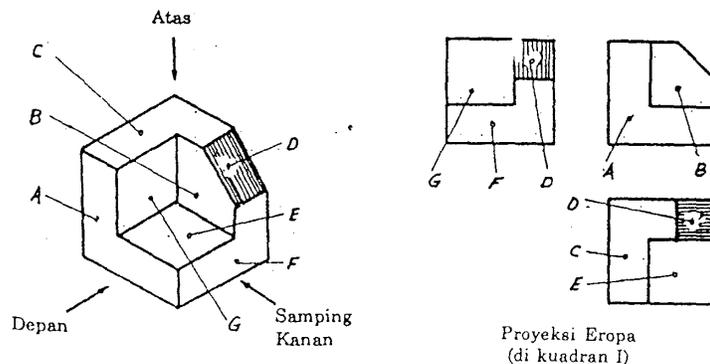


Gambar 5 45. Contoh penggambaran anak panah

8. Penentuan Pandangan

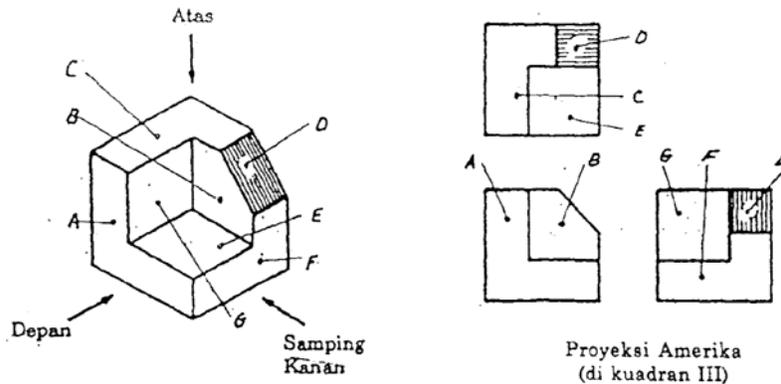
Untuk menempatkan pandangan atas atau pandangan samping dan pandangan depannya, terlebih dahulu kita harus menempatkan sistem proyeksi apa yang kita pakai, apakah proyeksi di kuadran I (Eropa) atukah proyeksi di kuadran III (Amerika)?. Setelah kita menempatkan sistem proyeksi yang kita pakai, barulah kita menempatkan pandangan dan objek yang kita gambar tersebut.

a) Menempatkan Pandangan Depan, Proyeksi Di Kuadran I (Eropa) Atas dan Samping Kanan Menurut



Gambar 5 46. Penerapan Proyeksi Eropa

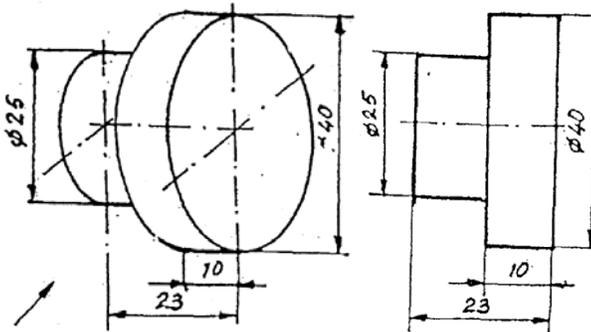
- b) Menentukan Pandangan Depan, Atas dan Samping Kanan Menurut Proyeksi Di Kuadran III (Amerika)



Gambar 5 47. Penerapan Proyeksi Amerika

- c) Penetapan Jumlah Pandangan

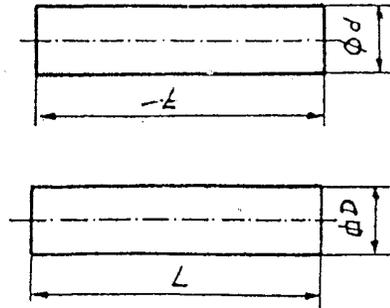
Jumlah pandangan dalam satu objek/gambar tidak semuanya harus digambar misal]nya untuk benda-benda bubutan sederhana, dengan satu pandangan saja yang dilengkapi dengan simbol (lingkaran) sudah cukup untuk memberikan informasi yang jelas. Lthat gambar 49 berikut:



Gambar 5 48. Gambar satu pandangan

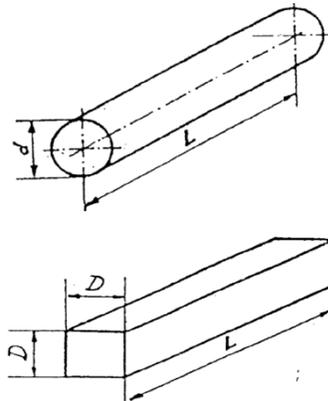
- d) Jenis-jenis Pandangan Utama

Gambar kerja yang digunakan sebagai alat komunikasi adalah gambar dalam bentuk pandangan-pandangan. Sebagai pandangan utamanya ialah pandangan depan, pandangan samping, dan pandangan atas. Dalam gambar kerja, tidak selamanya ketiga pandangan harus ditampilkan, tergantung dan kompleks/rumit atau sederhananya bentuk benda. Hal terpenting, gambar pandangan-pandangan ini harus dapat memberikan informasi yang jelas. Perhatikan Gambar 5.50 di bawah ini:



Gambar 5 49. Gambar pandangan

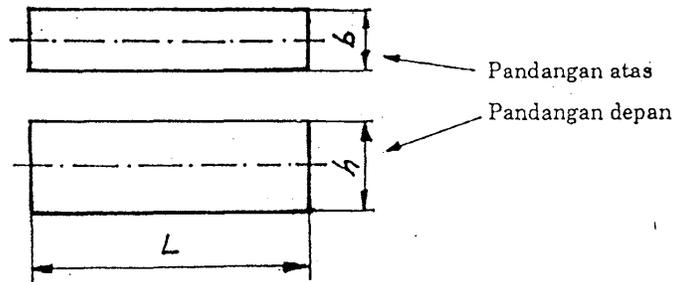
Kedua gambar di atas, walaupun hanya terdiri atas satu pandangan saja, dapat membedakan bentuk bendanya, yaitu dengan simbol/lambang O untuk bentuk lingkaran dan untuk bentuk bujur sangkar dan bentuk gambar piktorialnya adalah:



Gambar 5 50. Perbedaan bentuk benda dengan satu pandangan

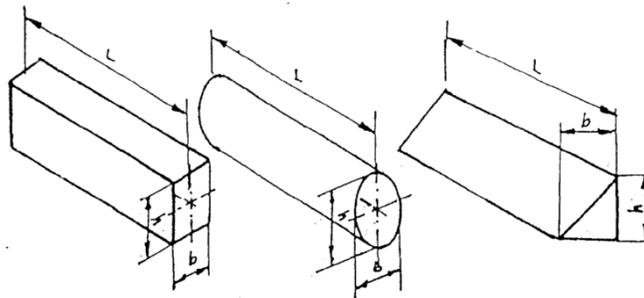
e) Pemelihan Pandangan Utama

Untuk memberikan informasi bentuk gambar, seharusnya kita pilih pandangan yang dapat mewakili bentuk benda (perhatikan Gambar 5.52) di bawah ini.



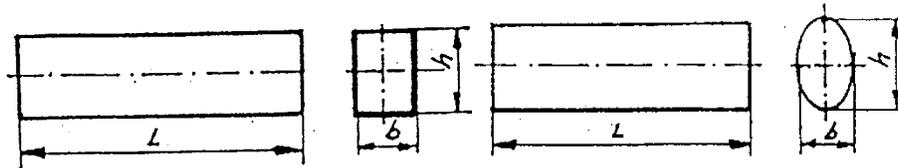
Gambar 5 51. Pemilihan pandangan utama

Pandangan/gambar di atas belum dapat memberikan informasi yang jelas. Oleh karena itu dalam memilih pandangan yang disajikan harus dapat mewakili bentuk benda (lihat Gambar 5.53). Gambar 5.53 adalah benda yang mempunyai pandangan atas dan pandangan depan yang sama seperti Gambar 5.52 di atas.



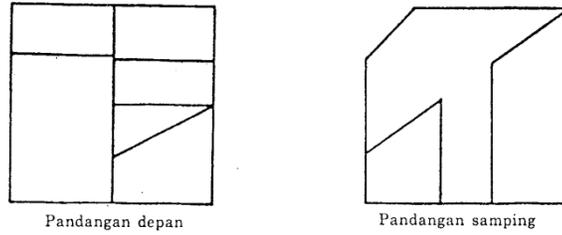
Gambar 5 52. Pandangan utama

Dari gambar piktorial (Gambar 5.53) di atas, yang dapat memberikafi informasi bentuk secara tepat dalam bentuk gambar pandangan adalah pandangan depan dengan pandangan sampingnya (lihat Gambar 54).



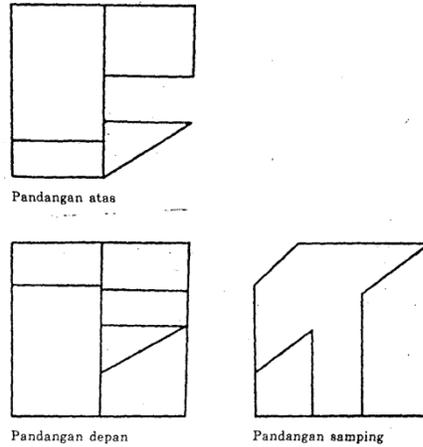
Gambar 5 53. Penentuan pandangan depan

Sebaliknya dua pandangan depan dan samping belum tentu dapat memberikan informasi yang maksimum (lihat Gambar 5.55 berikut).



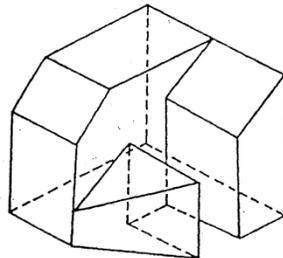
Gambar 5 54. Penggunaan dua pandangan

Dengan dua pandangan di atas, belum cukup memberikan informasi bentuk secara cepat dan tepat. Oleh karena itu, perlu satu pandangan lagi untuk kejelasan gambar tersebut: yaitu pandangan atas.



Gambar 5 55. Penggunaan tiga pandangan

Setelah dilengkapi dengan pandangan atasnya, barulah kita mendapatkan informasi bentuk yang lengkap dari Gambar 56.



Gambar 5 56. Bentuk benda dari hasil pandangan

9. Gambar Potongan

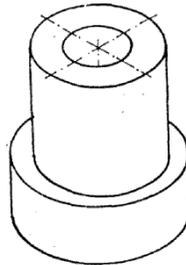
Untuk memberikan informasi yang lengkap dan gambar yang berongga atau berlubang perlu menampilkan gambar dengan teknik - menggambar yang tepat. Kadang-kadang gambar tampak lebih rumit karena adanya garis-garis gambar yang tidak kelihatan. Oleh karena itu garis-garis gores yang akan menimbulkan salah pengertian (salah informasi) perlu dihindari, yaitu dengan menunjukkan gambar potongan/ irisan.

a) Fungsi Gambar Potongan/Irisan

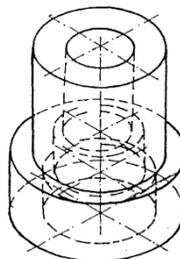
Gambar potongan atau irisan fungsinya untuk menjelaskan bagian-bagian gambar benda yang tidak kelihatan, misalnya dari benda yang dibor (baik yang dibor tembus maupun dibor tidak tembus) lubang-lubang pada flens atau pipa-pipa, rongga-rongga pada rumah katup, dan rongga-rongga pada blok mesin. Bentuk rongga tersebut perlu dilengkapi dengan penjelasan gambar potongan agar dapat memberikan ukuran atau informasi yang jelas dan tegas, sehingga terhindar dan kesalah pahaman membaca gambar.

b) Bentuk Potongan/Irisan

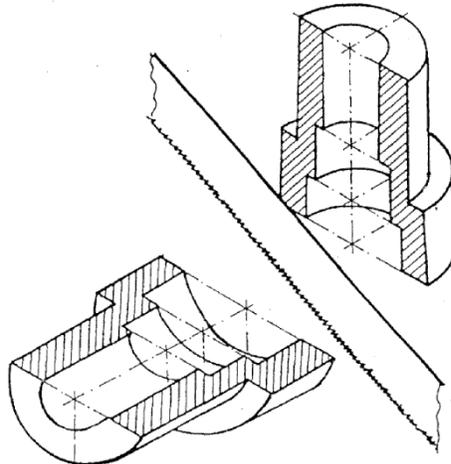
Gambar potongan atau irisan dapat dijelaskan dengan menggunakan pemisalan benda yang dipotong dengan gergaji (lihat Gambar 5.58).



Gambar 5 57. Gambar 5.58a



Gambar 5 58. gambar 5.58b



Gambar 5 59. Gambar 5.58c.

Keterangan:

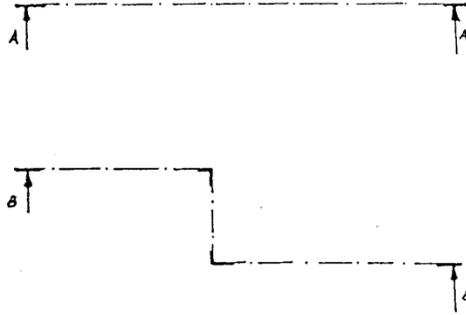
- Gambar 5.58b.** Memperlihatkan gambar lengkap dengan garis gores sebagai batas-batas garis yang tidak kelihatan. Dengan adanya garis-garis tersebut gambar kelihatan agak rumit.
- Gambar 5.58a.** Memperlihatkan gambar yang kurang jelas. Dalam hal ini kita tidak bisa memastikan apakah lubang tersebut merupakan lubang tembus atau tidak tembus, mempunyai lubang yang bertingkat atau rata. Sehingga setiap orang akan menafsirkan bentuk lubang yang berbeda, yang menyebabkan informasi kurang jelas.
- Gambar 5.58c.** Oleh karena Gambar 58a dan Gambar 58c menimbulkan keraguan dalam pembacaannya, maka gambar dapat dijelaskan dengan menggunakan pemisalan bahwa benda tersebut dipotong--dengan gergaji, sehingga bentuk rongga di dalamnya dapat terlihat dengan jelas dan tidak menimbulkan keraguan lagi dalam menentukan bentuk di bagian dalamnya.

Dengan gambar potongan atau irisan, seperti pada gambar 58c di atas, diperoleh ketegasan atau kejelasan tentang bentuk dan rongga sebelah dalam, sehingga informasi yang diberikan oleh gambar dapat efisien. Gambar potongan atau irisan harus diasir sesuai dengan batas garis pemotongannya.

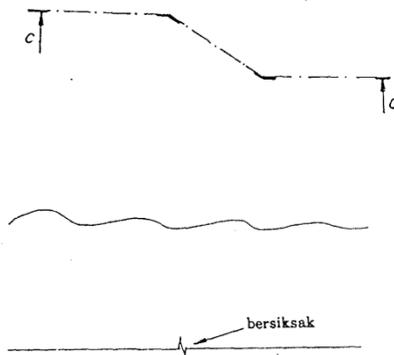
c) Tanda Pemotongan

Untuk menjelaskan gambar yang dipotong, perlu adanya tanda pemotongan yang sudah ditetapkan sesuai dengan aturan-aturan menggambar teknik. Tanda pemotongan ini terdiri atas:

- a. Tanda pemotongan dengan garis sumbu dan kedua ujungnya di tebalkan (lihat Gambar 5.59).
- b. Tanda pemotongan dengan garis tipis bergelombang bebas (lihat Gambar 5.60).
- c. Tanda pemotongan dengan garis tipis berzigzag (lihat Gambar 5.60).



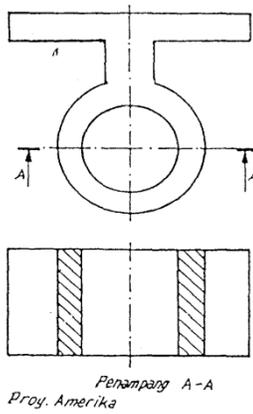
Gambar 5 60. Tanda pemotongan



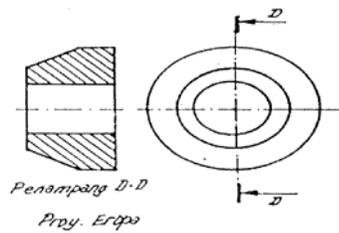
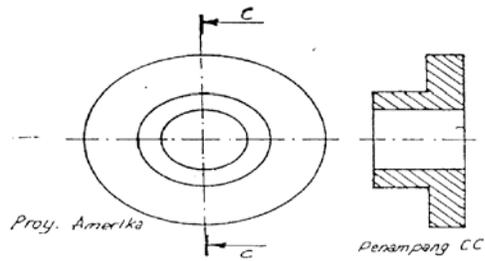
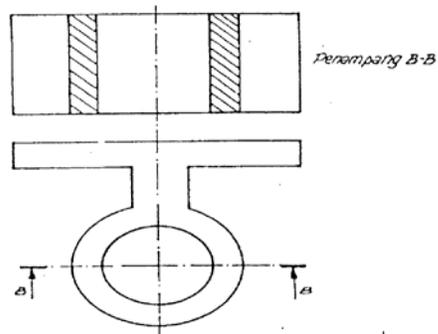
Gambar 5 61. Tanda pemotongan dengan gelombang dan zigzag

d) Menempatkan Gambar Penampang/Potongan

Untuk menempatkan gambar penampang atau gambar potongan, kita perlu memperhatikan penempatan gambar potongan tersebut sesuai dengan proyeksi yang akan kita gunakan, apakah proyeksi di kuadran I (Eropa) atau proyeksi di kuadran III (Amerika). Untuk lebih jelasnya, perhatikan Gambar 5.61.



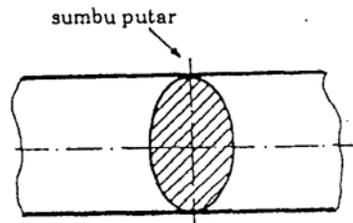
Gambar 5 62. Penempatan gambar potongan (1)



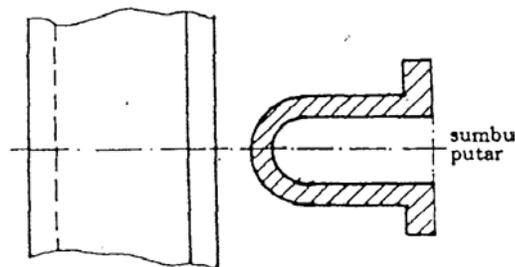
Gambar 5 63. Penempatan gambar potongan (2)

Jika proyeksi yang digunakan adalah proyeksi Amerika, maka gambar penampang potongannya diletakkan/berada di belakang arah anak panahnya. Jika proyeksi yang digunakan proyeksi Eropa maka penempatan gambar potongannya berada di depan arah anak panahnya.

Selain ditempatkan sesuai dengan proyeksi yang digunakan, penampang potong dapat juga diputar ditempat (penampang putar) seperti tampak pada Gambar 5.62a, atau dengan dipotong dan diputar kemudian dipindahkan ketempat lain segaris dengan sumbunya seperti tampak pada Gambar 5.62b.



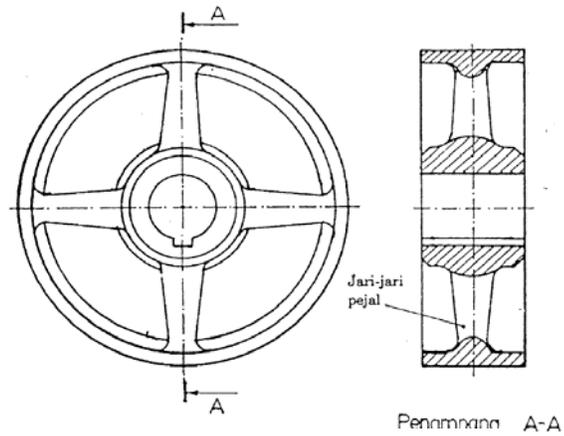
Gambar 5.62a. Penempatan potongan dengan diputar



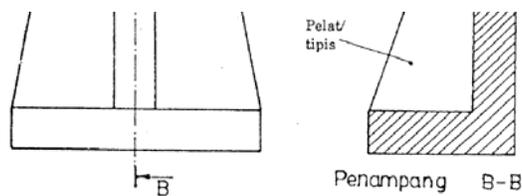
Gambar 5.62b. Penempatan potongan dengan diputar dan dipindah

e) Benda-benda yang Tidak Boleh Dipotong

Benda-benda yang tidak boleh dipotong yaitu benda-benda pejal, misal : poros pejal, jari-jari pejal dan sebagainya (lihat Gambar 5.63a). benda-benda tipis, misal: pelat-pelat penguat padaudukan poros dan pelat penguat pada flens (lihat Gambar 5.63b). Bagian-bagian yang tidak boleh dipotong tersebut yaitu bagian-bagian yang tidak diarsir.



Gambar 5.63a. Potongan jari-jari pejal



Gambar 5.63b. Potongan dudukan poros

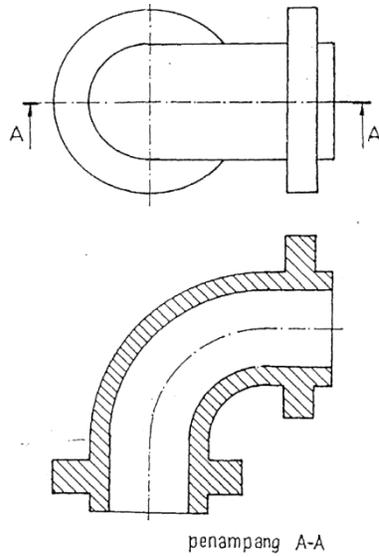
f) Jenis-jenis Gambar Potongan

Jenis-jenis gambar potongan/ irisan terdiri atas :

- Gambar potongan penuh
- Gambar potongan separuh
- Gambar potongan sebagian/setempat atau lokal
- Gambar potongan putar
- Gambar potongan bercabang atau meloncat

1. Gambar Potongan Penuh

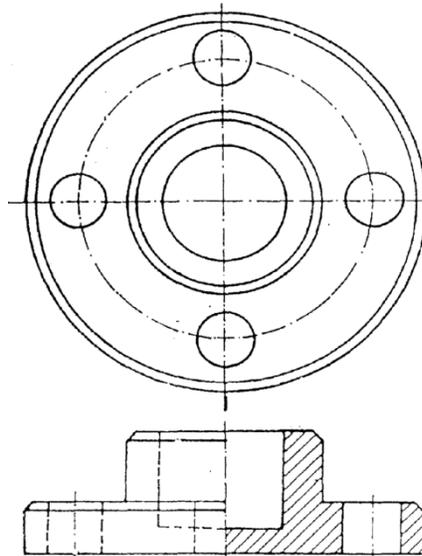
Perhatikan contoh gambar potongan penuh pada Gambar 5.64 berikut :



Gambar 5.64. Potongan penuh

2. Gambar Potongan Separuh

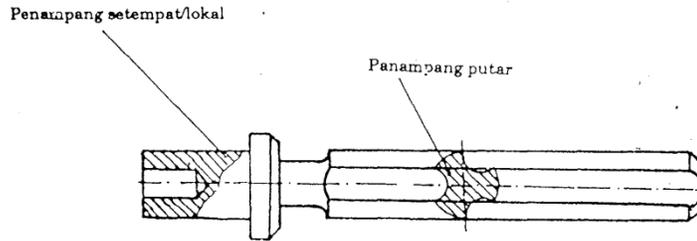
Perhatikan contoh gambar potongan pada Gambar 5.65 berikut :



Gambar 5.65. Potongan separuh

3. Gambar Potongan Sebagian

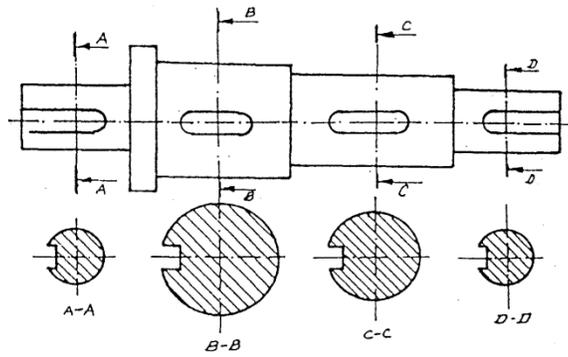
Gambar potongan sebagian disebut juga potongan lokal atau potongan setempat (lihat contoh Gambar 5.66).



Gambar 5.66. Potongan sebagian

4. Gambar Potongan Putar

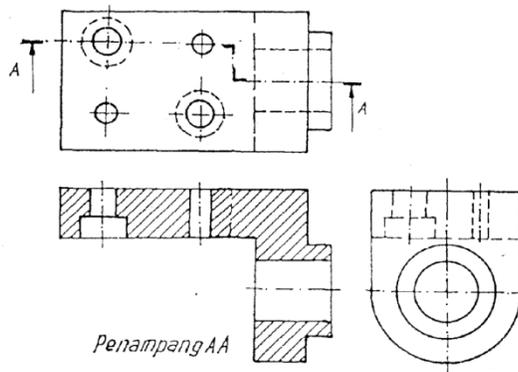
Gambar potongan putar dapat diputar setempat seperti tampak pada Gambar 5.62a atau dapat juga penempatan potongannya seperti pada Gambar 5.62b.



Gambar 5.67. Potongan putar

5. Gambar Potongan Bercabang atau Meloncat

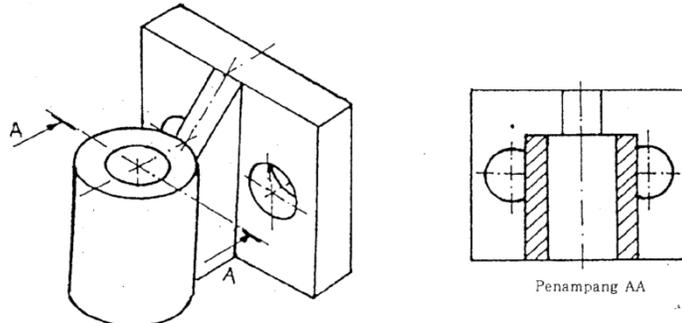
Perhatikan contoh Gambar 5.68 berikut.



Gambar 5.68. Potongan bercabang atau meloncat

10. Garis Arsiran

Untuk membedakan gambar proyeksi yang dipotong dengan gambar pandangan, maka gambar potongan/ irisan perlu diarsir. Arsir yaitu garis-garis miring tipis yang dibatasi oleh garis-garis batas pemotongan. Lihat Gambar 5.69 di bawah.



Gambar 5.69. Contoh penggunaan arsiran

a) Macam-macam Arsiran

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada gambar yang diarsir antara lain:

1. sudut dan ketebalan garis arsiran
2. bidang atau pengarsiran pada bidang yang luas
3. pengarsiran bidang yang berdampingan
4. pengarsiran benda-benda tipis
5. peletakan angka ukuran pada gambar yang diarsir
6. macam-macam garis arsiran yang disesuaikan dengan bendanya.

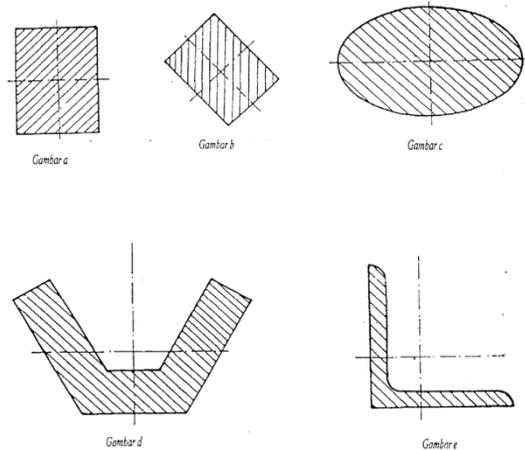
1. Sudut dan Ketebalan Garis Arsiran

Sudut arsiran yang dibuat adalah 45° terhadap garis sumbu utamanya, atau 45° terhadap garis batas gambar, sedangkan ketebalan arsiran digunakan garis tipis dengan perbandingan ketebalan sebagai berikut (lihat tabel 5.3).

Tabel 5.3. Macam-macam ketebalan garis

Macam Garis	Ketebalan Garis (dalam mm)		
	1,0	0,7	0,5
Garis gambar/tepi	1,0	0,7	0,5
Garis ukur/bantu	0,7	0,5	0,35
Garis tipis (arsir)	0,5	0,35	0,25

Dari tabel di atas kita dapat menentukan ketebalan garis arsiran yang disesuaikan dengan garis gambarnya. Jika garis tepi/gambar mempunyai ketebalan 0,5 mm maka garis-garis arsirnya dibuat setebal 0,25 mm. Sudut dan ketebalan garis arsiran dapat dilihat pada gambar berikut.

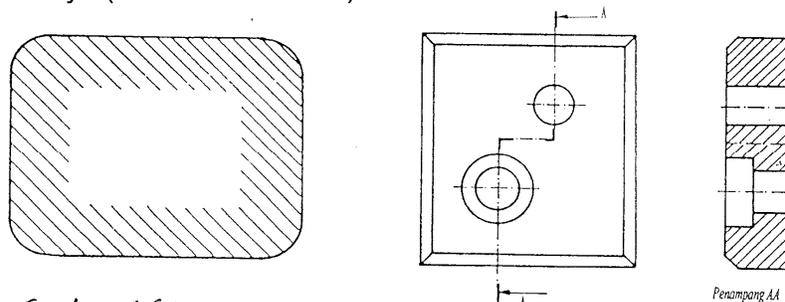


Gambar 5.70. Sudut ketebalan garis arsiran

b) Penggarisan Pada Bidang yang Luas dan Bidang Berdampingan

Untuk potongan benda yang luas, arsiran pada bidang potongnya dilaksanakan pada garis tepi garis-garis batasnya (lihat Gambar 5.71).

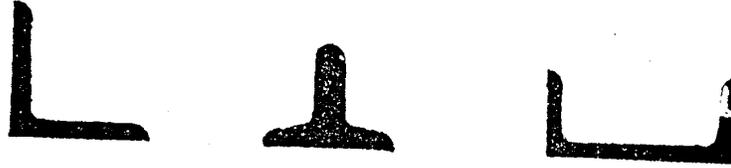
Untuk pemotongan meloncat atau pemotongan bercabang, ada bidang-bidang potong yang berdampingan, maka batas-batas bidang yang berdampingan tersebut harus dibatasi oleh garis gores bertitik (sumbu) dan pengarsirannya harus turun atau naik dan ujung arsiran yang lainnya (lihat Gambar 5.71).



Gambar 5.71. Arsiran pada bidang luas dan bidang berdampingan

c) Pengarsiran Benda-benda Tipis

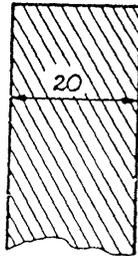
Untuk gambar potongan benda-benda tipis atau profil-profil tipis maka pengarsirannya dibuat dengan cara dilabur (lihat Gambar 5.72).



Gambar 5.72. Arsiran benda tipis

d) Angka Ukuran dan Arsiran

Jika angka ukuran terletak pada arsiran (karena tidak dapat dihindari), maka angka ukurannya jangan diarsir (lihat Gambar 5.73).

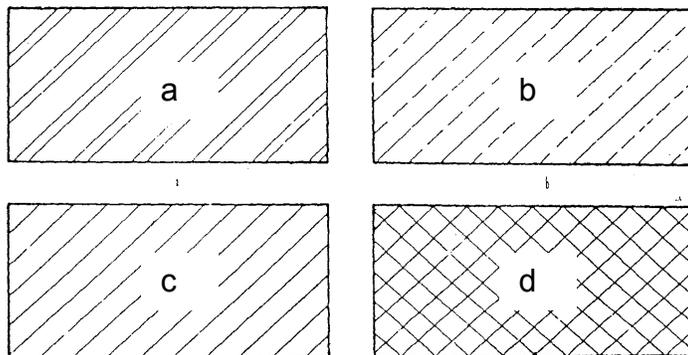


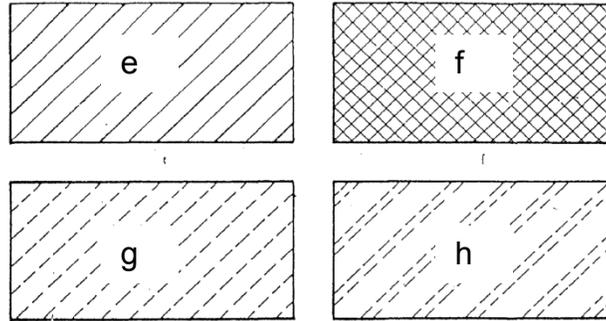
Gambar 5.73. Angka ukuran dan arsiran

e) Macam-macam Arsiran

f)

Perhatikan Gambar 5.74 berikut ini.





Gambar 5.74. Macam-macam arsiran

Keterangan:

- a = Besi tuang
- b = Aluminium dan panduannya
- c = Baja dan baja istimewa
- d = Besi tuang yang dapat ditempa
- e = Baja cair
- f = Logam putih
- g = Paduan tembaga tuang
- h = Seng, air raksa

11. Ukuran Pada Gambar Kerja

Sesuai dengan standar ISO (ISO/DIS) 128, telah ditetapkan bahwa gambar proyeksi di Kuadran I dan gambar proyeksi di Kuadran III dapat digunakan sebagai gambar kerja, dengan ketentuan kedua macam proyeksi tersebut tidak boleh dilakukan/dipakai secara bersama-sama dalam satu gambar kerja.

Gambar kerja adalah gambar pandangan-pandangan, potongan/irisan dengan memperhatikan kaidah-kaidah proyeksi, baik proyeksi di kuadran I (Eropa) maupun proyeksi di kuadran III (Amerika). Gambar kerja harus memberikan informasi bentuk benda secara lengkap. Oleh karena itu, ukuran pada gambar kerja harus dicantumkan secara lengkap.

a) Ketentuan-ketentuan Dasar Pencatuman Ukuran

Agar tidak menimbulkan keraguan di dalam membaca gambar, maka pada gambar kerja harus dicantumkan ukuran dengan aturan-aturan menggambar yang telah ditetapkan, ketentuan-ketentuan tersebut meliputi ketentuan:

- Menarik garis ukur dan garis bantu
- Menggambar anak panah
- Menetapkan jarak antara garis ukur
- Menetapkan angka ukuran

1. Menarik Garis ukur dan Garis Bantu

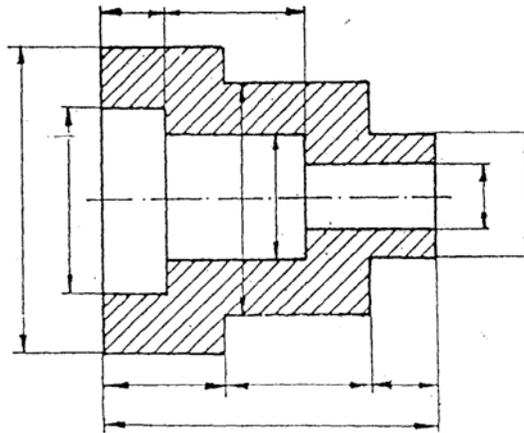
Garis ukur dan garis bantu dibuat dengan garis tipis perbandingan ketebalan antara garis gambar dan garis ukur/bantu lihat Tabel 4.

Tabel 5.4. Perbandingan ketebalan garis bantu dengan garis gambar

Macam Garis	Ukuran (mm)		
	1	0,7	0,5
Garis gambar/tepi	1	0,7	0,5
Garis ukur/bantu	0,5	0,35	0,25

Contoh:

Perhatikan Gambar 5.75 berikut.



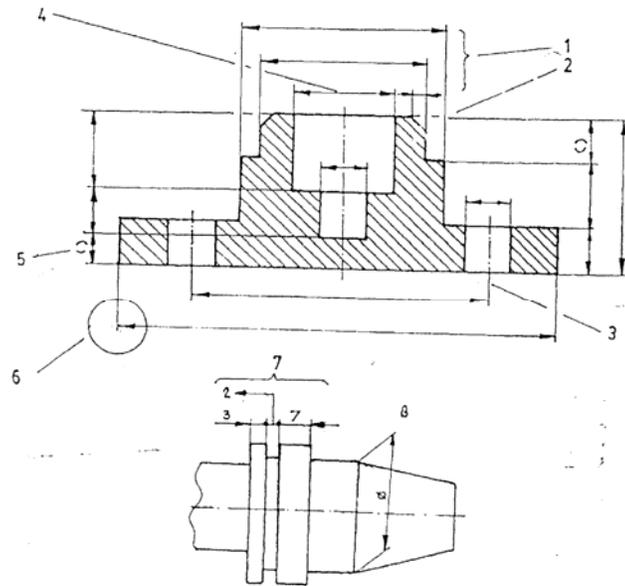
Gambar 5.75. Cara penarikan garis dan ketebalannya

2. Menetapkan Jarak antara Garis Ukur

Jika garis ukur terdiri atas garis-garis ukur yang sejajar, maka jarak antara garis ukur yang satu dengan garis ukur lainnya harus sama. Selain itu perlu diperhatikan pula garis ukur jangan sampai berpotongan dengan garis bantu, kecuali terpaksa. Garis gambar tidak boleh digunakan sebagai garis ukur. Garis sumbu boleh digunakan sebagai garis bantu, tetapi tidak boleh digunakan langsung sebagai garis ukur.

Untuk menempatkan garis ukur yang sejajar, ukuran terkecil ditempatkan pada bagian dalam dan ukuran besar ditempatkan di bagian luar. Hal ini untuk menghindari perpotongan antara garis ukur dan garis bantu. Jika terdapat perpotongan garis bantu dengan garis ukur, garis bantu diperpanjang 1 mm dan ujung anak panahnya.

Garis ukur pada umumnya tegak lurus terhadap garis bantu, tetapi pada keadaan tertentu garis bantu boleh dibuat miring sejajar/paralel. Sebagai contoh, dapat dilihat pada gambar berikut.



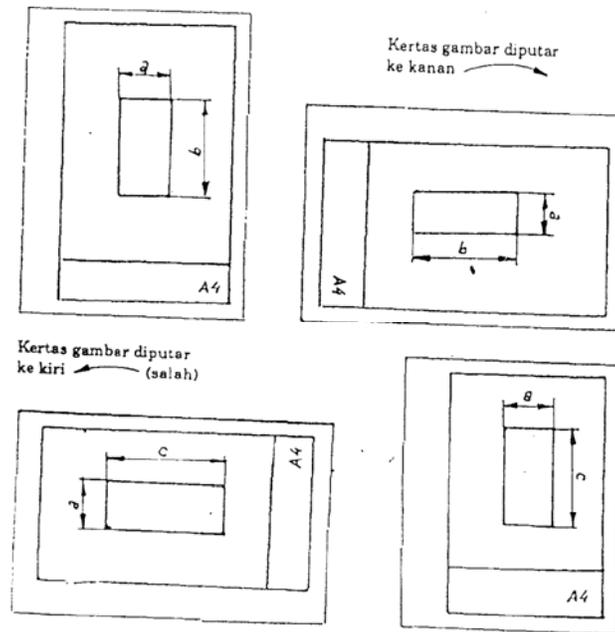
Gambar 5.76. Jarak antara garis ukur

Keterangan:

1. Garis ukur yang sejajar
2. Garis bantu yang berpotongan (tidak dapat dihindarkan)
3. Garis sumbu yang digunakan secara tidak langsung sebagai garis bantu
4. Garis ukur yang terkecil (ditempatkan di dalam)
5. Garis ukur tambahan (pelengkap)
6. Perpanjangan garis bantu dilebihkan ± 1 mm dan garis ukurnya/ujung anak panahnya
7. Penempatan garis ukur yang sempit
8. Garis bantu yang paralel (jika diperlukan)

12. Penulisan Angka Ukuran

Penulisan angka ukuran ditempatkan di tengah-tengah bagian atas garis ukurnya, atau di tengah-tengah sebelah kiri garis ukurnya. Untuk kertas gambar berukuran kecil maka penulisan angka ukuran pada garis ukur harus tegak, kertas gambarnya dapat diputar ke kanan, sehingga penulisan dan pembacaannya tidak terhalik. Angka ukuran harus dapat dibaca dari bawah atau dari sisi kanan garis ukurnya. (lihat Gambar 5.77).



Gambar 5.77. Penulisan angka ukuran

Jika kertas gambar diputar ke kiri, akan menghasilkan angka ukuran yang terbalik. Ukuran (c) pada gambar di atas adalah penulisan angka ukuran yang terbalik.

a) Klasifikasi Pencatuman Ukuran

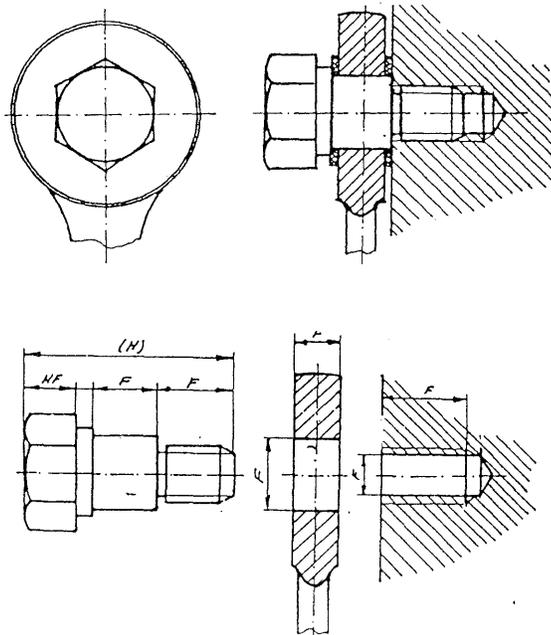
Benda-benda yang diukur mempunyai bentuk yang bermacam-macam, fungsi, kualitas, atau pengerjaan yang khusus. Oleh karena itu pencatuman ukuran diklasifikasikan menjadi:

- Pengukuran dengan dimensi fungsional
- Pengukuran dengan dimensi nonfungsional
- Pengukuran dengan dimensi tambahan
- Pengukuran dengan kemiringan atau ketirusan
- Pengukuran dengan bagian yang dikerjakan khusus
- Pengukuran dengan kesimetrian

1. Pengukuran dengan dimensi fungsional, nonfungsional dan ukuran tambahan

Jika suatu benda terdiri atas bagian-bagian (bagian yang dirakit), maka ukuran bagian yang satu dengan lainnya mempunyai fungsi yang sama, sehingga satu sama lain mempunyai ukuran yang berpasangan dan pencatuman ukurannya sebagai fungsi yang berpasangan. Jika benda kerja yang di gambar berdiri sendiri, tetapi dalam sistem pengeijaannya terhadap, maka digambar sesuai dengan ukurannya dan pencatuman ukurannya sebagai fungsi pengerjaan.

Ukuran-ukuran yang tidak berfungsi disebut ukuran nonfungsional. Untuk melengkapi ukuran, dalam hal ini supaya tidak menimbulkan kecacauan dalam membaca gambar terutama dalam jumlah ukuran total, maka ukuran pada gambar dilengkapi dengan ukuran tambahan. Ukuran tambahan ini harus ditempatkan di antara dua kurung atau di dalam kurung (lihat Gambar 5.78 berikut).



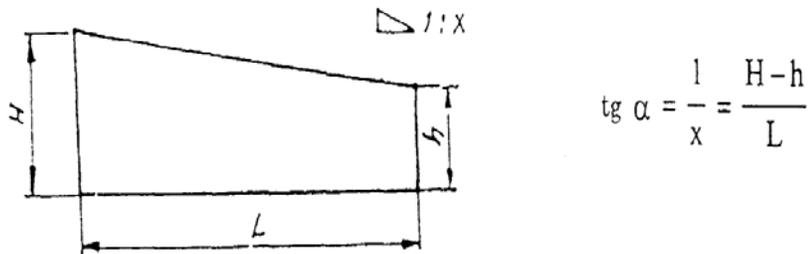
Gambar 5.78. Ukuran tambahan

Keterangan:

- F = dimensi fungsional
- NJF = dimensi nonfungsional
- H = dimensi tambahan

2. Pengukuran Ketirusan

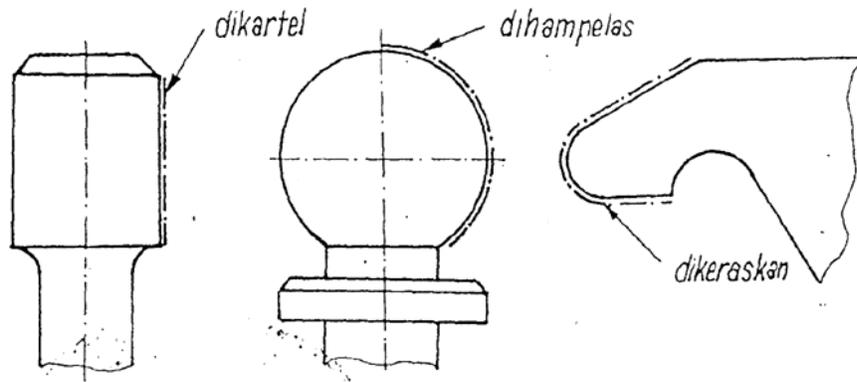
Untuk mencatatkan ukuran benda yang mempunyai bentuk miring, ukuran kemiringannya dicantumkan dengan harga tangen sudutnya.



Gambar 5.79. Pengukuran ketirusan

3. Penunjukan Ukuran pada bagian yang dikerjakan khusus

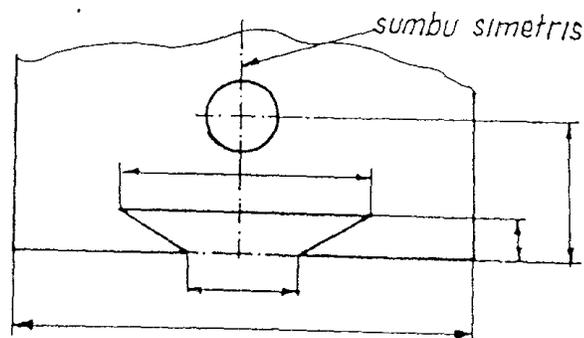
Untuk memberikan keterangan gambar pada benda-benda yang dikerjakan khusus, misalnya dikartel pada bagian tertentu atau dihaluskan dengan ampelas halus, maka pada bagian yang dikerjakan khusus tadi gambar luarnya diberi garis tebal bertitik (lihat Gambar 5.80).



Gambar 5.80. Penunjukan ukuran pengerjaan khusus

4. Pemberian ukuran pada bagian-bagian yang simetris.

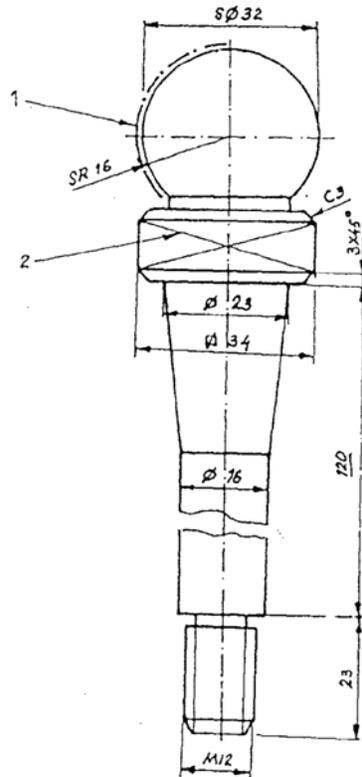
Untuk memberikan ukuran-ukuran pada gambar-gambar simetris, jarak antara tepi dan sumbu simetrisnya tidak dicantumkan (lihat Gambar 5.81).



Gambar 5.81. Penunjukan ukuran pada bagian yang simetris

b) Pencatuman Simbol-simbol Ukuran

Untuk benda-benda dengan bentuk tertentu, ukurannya dicantumkan disertai simbol bentuknya: misal benda-benda yang berbentuk silinder, bujur sangkar, bola dan pingulan (*Chamfer*). Lihat Gambar 5.82 berikut.



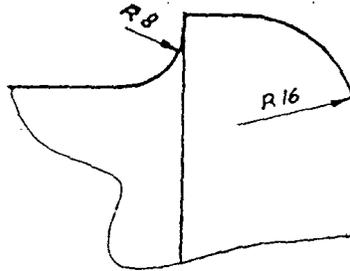
Gambar 5.82. Pencantuman simbol-simbol ukuran

Keterangan:

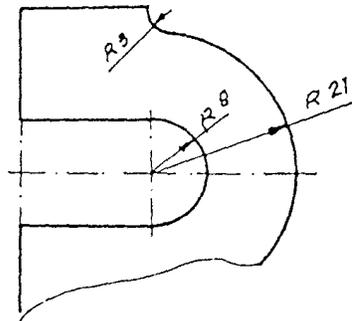
- 50 = Diameter bola dengan ukuran 32 mm
- SR 16 = Jari-jari bola dengan ukuran 16 mm
- C3 = Chamfer atau pinggulan dengan ukuran 3 x 45
- 023 = Simbol ukuran silinder, dengan ukuran 23 mm
- 34 = Simbol ukuran bujur sangkar, dengan ukuran sisinya 34 mm
- 120 = Simbol ukuran tidak menurut skala yang sebenarnya
- M12 = Simbol ukuran ulir dengan jenis ulir metris dan diameter luarnya 12 mm
- 2 = (Silang/cros dengan garis tipis) ; simbol bidang rata
- 1 = (Strip titik tebal) ; simbol bagian yang dikerjakan khusus

a. Penunjukan ukuran jari-jari

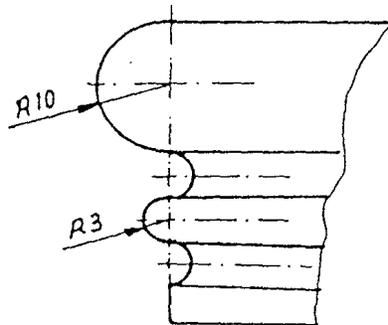
Untuk menunjukkan ukuran jari-jari, dapat digambarkan dengan garis ukur dimulai dari titik pusat sampai busur lingkarannya. Sebagai simbol dari jari-jari tersebut, diberi tanda huruf "R" (lihat Gambar 5.83 berikut).



Gambar 5.83. Pengukuran jari-jari



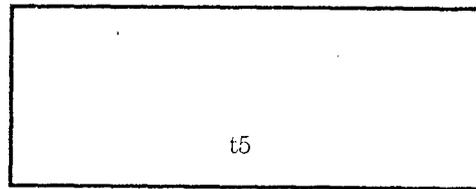
Gambar 5.84. Penempatan anak panah dan ukuran di dalam lingkaran



Gambar 5.85. Penempatan anak panah dan ukuran di luar lingkaran

13. Pengukuran Ketebalan

Pengukuran benda-benda tipis, seperti pengukuran pada pelat ukuran tebalnya dapat dilengkapi dengan simbol “t” sebagai singkatan dan “thicknees” yang secara kebetulan artinya tebal (juga berhuruf awal “t”). Penunjukan ukurannya lihat Gambar 5.86 berikut :



Gambar 5.86. Penunjukan ukuran

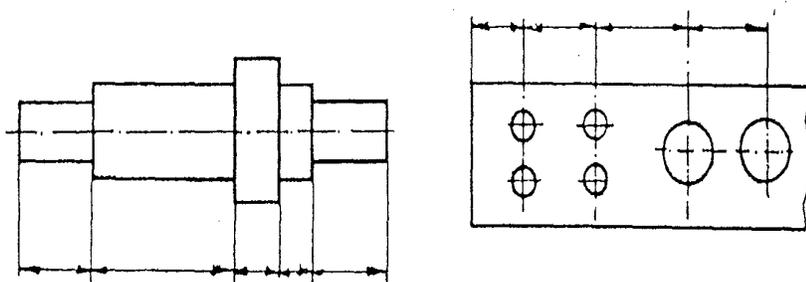
a) Jenis-jenis Penulisan Ukuran

Penulisan ukuran pada gambar kerja, menurut jenisnya terdiri atas;

- Ukuran berantai
- Ukuran paralel (sejajar)
- Ukuran kombinasi
- Ukuran berimpit
- Ukuran koordinat
- Ukuran yang berjarak sama
- Ukuran terhadap bidang referensi

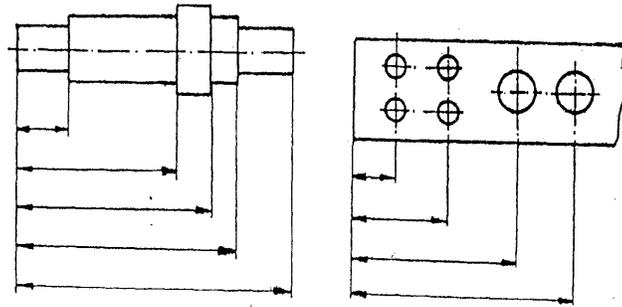
1. Ukuran berantai

Percantuman ukuran secara berantai ini ada kelebihan dari kekurangannya. Kelebihannya adalah mempercepat pembuatan gambar kerja, sedangkan kekurangannya adalah dapat mengumpulkan toleransi yang semakin besar, sehingga pekerjaan tidak teliti. Oleh karena itu pencantuman ukuran secara berantai ini pada umumnya dilakukan pada pekerjaan-pekerjaan yang tidak memerlukan ketelitian yang tinggi. Lihat Gambar 5.87.



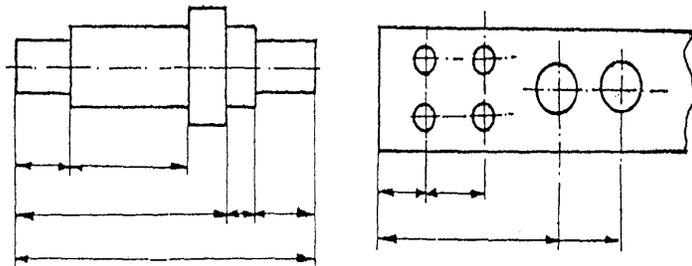
Gambar 5.87. Ukuran berantai

2. Ukuran paralel (sejajar)



Gambar 5.88. Ukuran sejajar

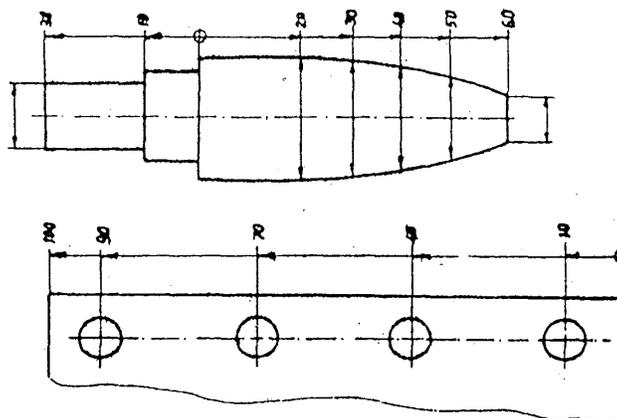
3. Ukuran kombinasi



Gambar 5.89. Ukuran kombinasi

4. Ukuran berimpit

Ukuran berimpit yaitu pengukuran dengan garis-garis ukur yang ditumpangkan (berimpit) satu sama lain. Ukuran berimpit ini dapat dibuat jika tidak menimbulkan kesalahan pemahaman dalam membacanya (lihat Gambar 5.90).

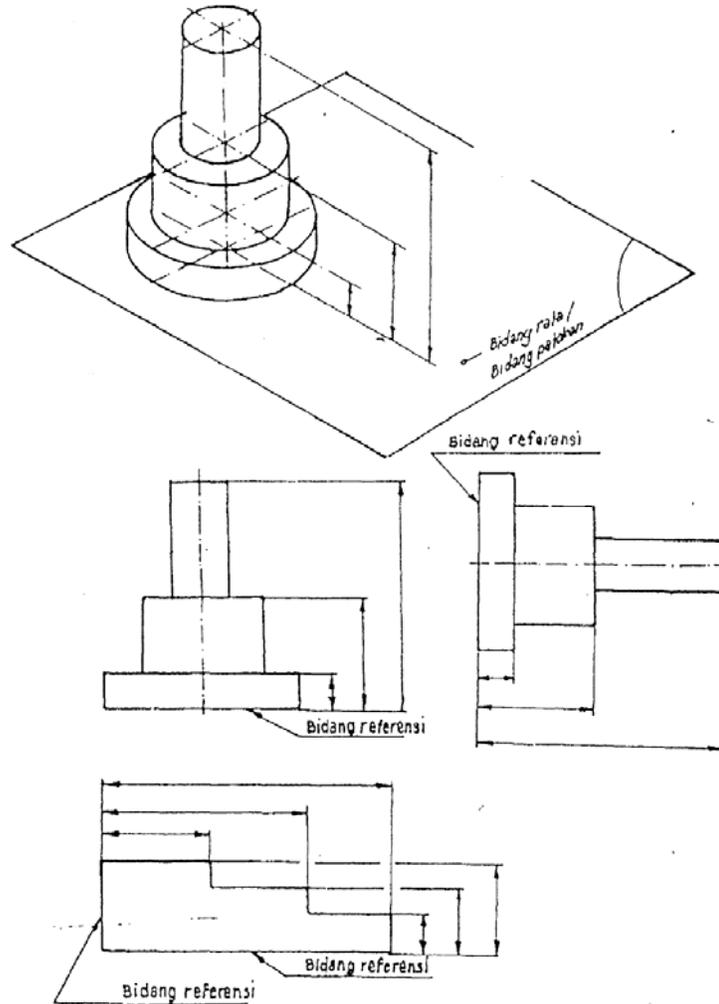


Gambar 5.90. Ukuran berimpit

Pada pengukuran berimpit ini, titik pangkal sebagai batas ukuran/patokan ukuran (bidang referensi)nya harus dibuat lingkaran, dan angka ukurannya harus diletakkan dekat anak panah sesuai dengan penunjukan ukurannya.

5. Pengukuran terhadap bidang 'referensi

Bidang referensi adalah bidang batas ukuran yang digunakan sebagai jatokan pengukur Contoh : pengukuran benda kerja bubutan terhadap bidang datar/rata (lihat Gambar 5.91).

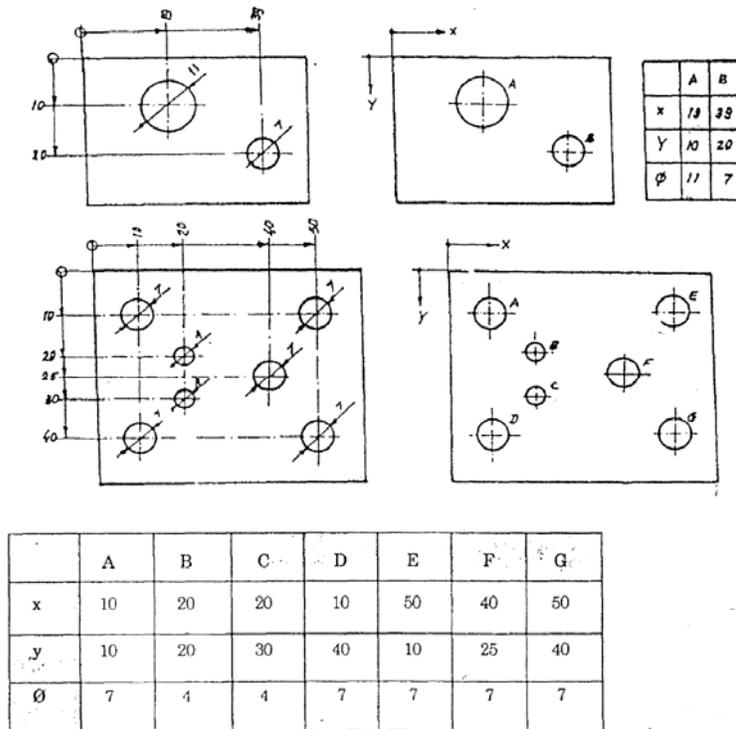


Gambar 5.91. Pengukuran berimpit

6. Perigukuran koordinat

Jika pengukuran berimpit dilakukan dengan dua arah, yaitu penunjukan ukuran ke arah sumbu x dan penunjukan ukuran ke arah

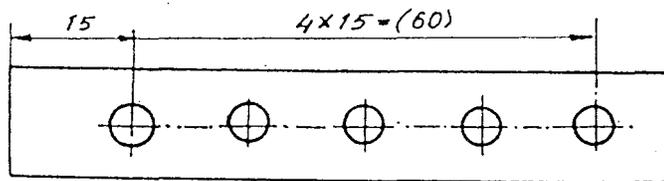
sumbu y dengan bidang referensinya di 0, maka akan didapat pengukuran "koordinat" (lihat Gambar 5.92).



Gambar 5.92. Pengukuran koordinat

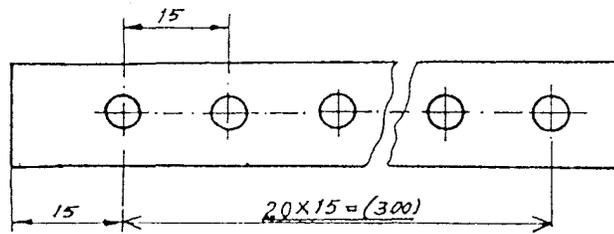
7. Pengukuran yang berjarak sama

Untuk memberikan ukuran pada bagian yang berjarak sama, penunjukan ukurannya dapat dilaksanakan sebagai berikut (lihat Gambar 5.93).



Gambar 5.93. Pengukuran berjarak sama

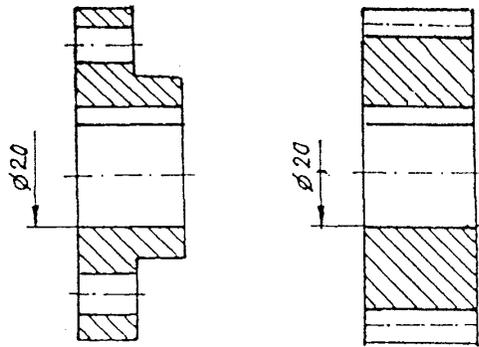
Untuk menghindari kesalahan/keraguan didalam membaca gambarnya, dapat dituliskan dalam satu ukurannya (lihat Gambar 5.94).



Gambar 5.94. Pengukuran berjarak sama

8. Pengukuran alur pasak

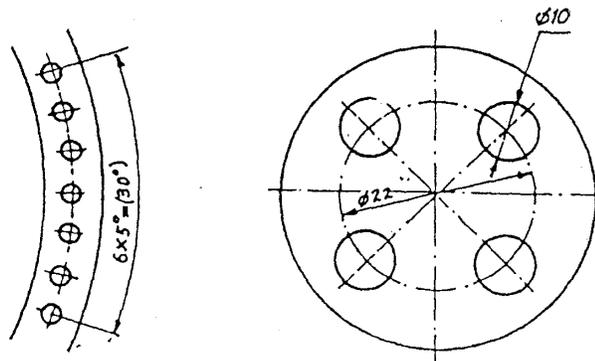
Jika kita memberikan ukuran diameter pada penampang/potongan yang beralur pasak, misalnya pada kopling, roda gigi, atau alur pasak pada puli, maka penunjukan ukuran diameternya seperti tampak pada Gambar 5.95.



Gambar 5.95. Pengukuran alur pasak

9. Pengukuran pada lubang

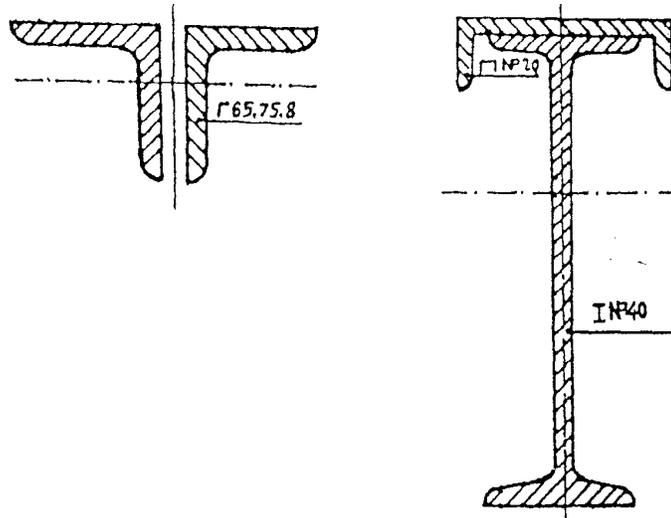
Untuk memberikan ukuran pada lubang yang berjarak sama, dapat dilakukan seperti tampak pada Gambar 5.96 berikut.



Gambar 5.96. Pengukuran pada lubang

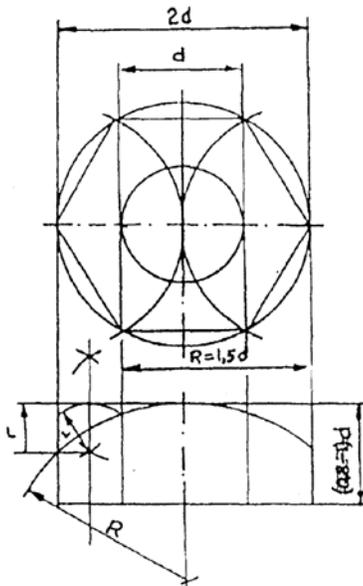
10. Pengukuran profil

Untuk memberikan ukuran pada profil-profil yang telah distandar, dapat dilakukan seperti tampak pada Gambar 5.97 berikut.

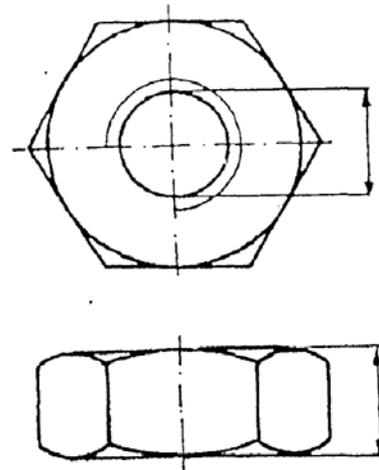


Gambar 5.97. Pengukuran profil

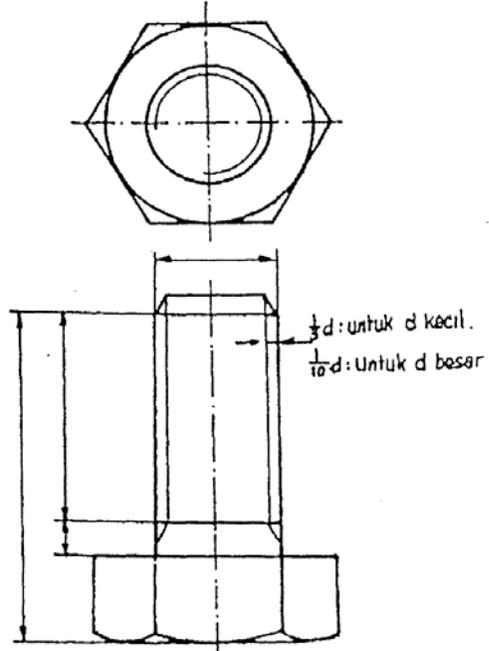
11. Cara membuat gambar mur dan baut, serta pengukurannya.



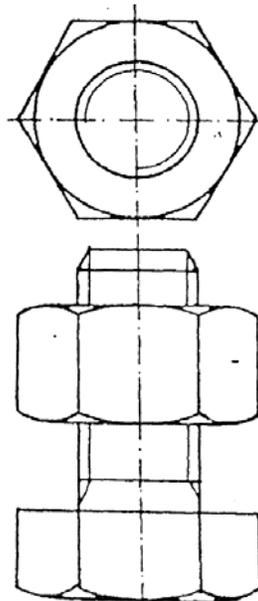
Gambar 5.98.
Pembuatan gambar mur



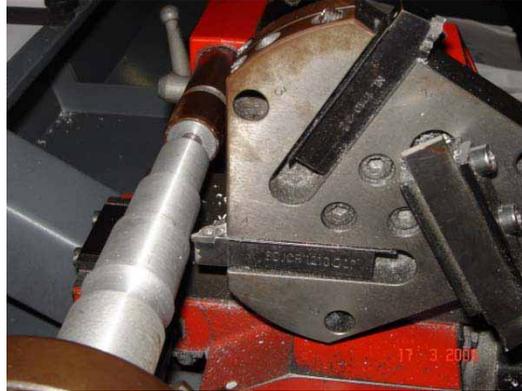
Gambar 5.99.
Pengukuran mur



Gambar 5.100. Pembuatan gambar baut



Gambar 5.101. Pembuatan gambar mur dan baut



BAB 6

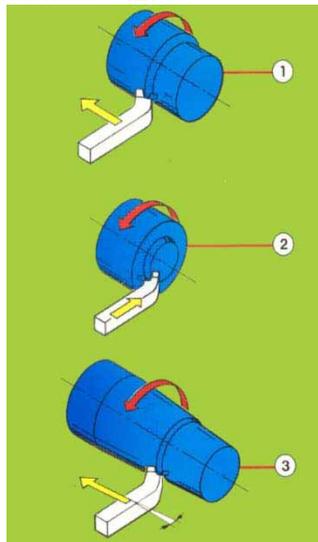
MENGENAL PROSES BUBUT (TURNING)

Proses bubut adalah proses pemesinan untuk menghasilkan bagian-bagian mesin berbentuk silindris yang dikerjakan dengan menggunakan Mesin Bubut. Prinsip dasarnya dapat didefinisikan sebagai proses pemesinan permukaan luar benda silindris atau bubut rata :

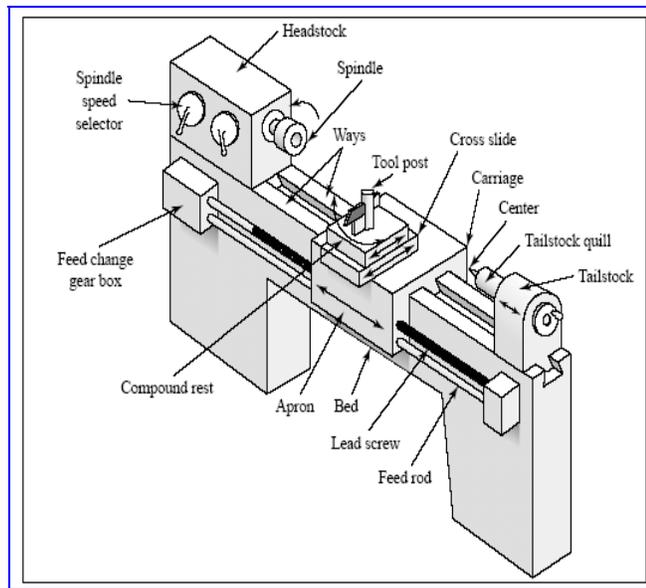
- Dengan benda kerja yang berputar
- Dengan satu pahat bermata potong tunggal (*with a single-point cutting tool*)
- Dengan gerakan pahat sejajar terhadap sumbu benda kerja pada jarak tertentu sehingga akan membuang permukaan luar benda kerja (lihat Gambar 6.1 no. 1).

Proses bubut permukaan (*surface turning*, Gambar 6.1 no. 2) adalah proses bubut yang identik dengan proses bubut rata, tetapi arah gerakan pemakanan tegak lurus terhadap sumbu benda kerja. Proses bubut tirus (*taper turning*, Gambar 6.1 no. 3) sebenarnya identik dengan proses bubut rata di atas, hanya jalannya pahat membentuk sudut tertentu terhadap sumbu benda kerja. Demikian juga proses bubut kontur, dilakukan dengan cara memvariasi kedalaman potong, sehingga menghasilkan bentuk yang diinginkan.

Walaupun proses bubut secara khusus menggunakan pahat bermata potong tunggal, tetapi proses bubut bermata potong jamak tetap termasuk proses bubut juga, karena pada dasarnya setiap pahat bekerja sendiri-sendiri. Selain itu proses pengaturan (*setting*) pahatnya tetap dilakukan satu persatu. Gambar skematis Mesin Bubut dan bagian-bagiannya dijelaskan pada Gambar 6.2.



Gambar 6 1. (1) Proses bubut rata, (2) bubut permukaan, dan (3) bubut tirus.



Gambar 6 2. Gambar skematis Mesin Bubut dan nama bagian-bagiannya.

A. Parameter yang Dapat Diatur pada Mesin Bubut

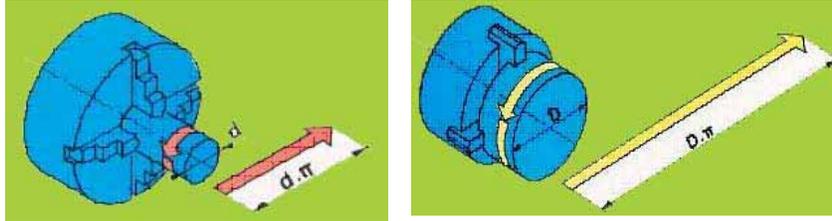
Tiga parameter utama pada setiap proses bubut adalah kecepatan putar spindel (*speed*), gerak makan (*feed*) dan kedalaman potong (*depth of cut*). Faktor yang lain seperti bahan benda kerja dan jenis pahat sebenarnya juga memiliki pengaruh yang cukup besar, tetapi tiga parameter di atas adalah bagian yang bisa diatur oleh operator langsung pada Mesin Bubut.

Kecepatan putar, n (*speed*), selalu dihubungkan dengan sumbu utama (spindel) dan benda kerja. Kecepatan putar dinotasikan sebagai putaran per menit (*rotations per minute, rpm*). Akan tetapi yang diutamakan dalam proses bubut adalah kecepatan potong (*cutting speed* atau v) atau kecepatan benda kerja dilalui oleh pahat/keliling benda kerja (lihat Gambar 6.3). Secara sederhana kecepatan potong dapat digambarkan sebagai keliling benda kerja dikalikan dengan kecepatan putar atau :

$$v = \frac{\pi d n}{1000} \dots\dots\dots(6.1)$$

Di mana :

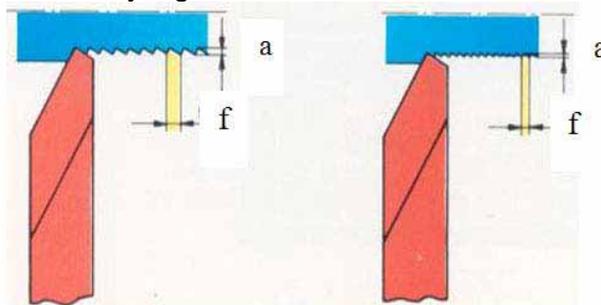
- v = kecepatan potong (m/menit)
- d = diameter benda kerja (mm)
- n = putaran benda kerja (putaran/menit)



Gambar 6 3. Panjang permukaan benda kerja yang dilalui pahat setiap putaran.

Dengan demikian kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda kerja. Selain kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda kerja faktor bahan benda kerja dan bahan pahat sangat menentukan harga kecepatan potong. Pada dasarnya pada waktu proses bubut kecepatan potong ditentukan berdasarkan bahan benda kerja dan pahat. Harga kecepatan potong sudah tertentu, misalnya untuk benda kerja *Mild Steel* dengan pahat dari HSS, kecepatan potongnya antara 20 sampai 30 m/menit.

Gerak makan, f (feed), adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali (Gambar 6.4.), sehingga satuan f adalah mm/putaran. Gerak makan ditentukan berdasarkan kekuatan mesin, material benda kerja, material pahat, bentuk pahat, dan terutama kehalusan permukaan yang diinginkan. Gerak makan biasanya ditentukan dalam hubungannya dengan kedalaman potong a . Gerak makan tersebut berharga sekitar $1/3$ sampai $1/20$ a , atau sesuai dengan kehalusan permukaan yang dikehendaki.

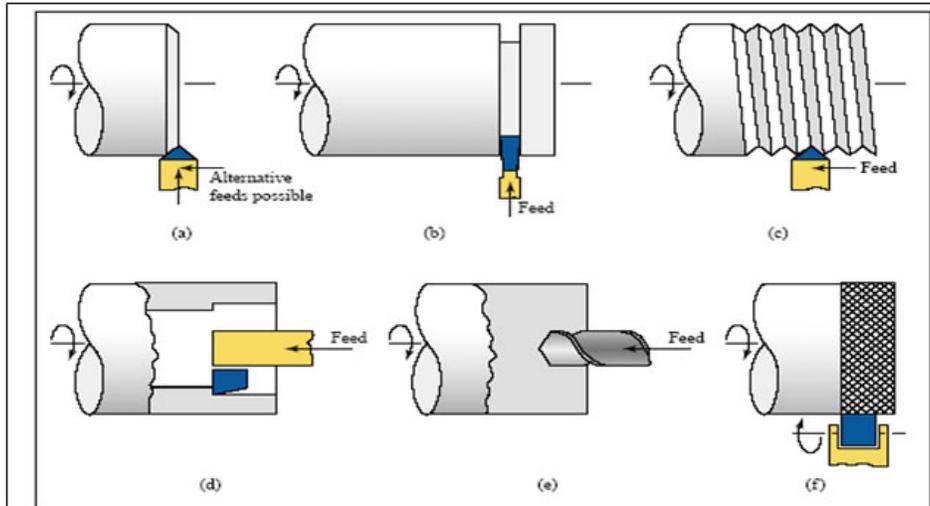


Gambar 6 4. Gerak makan (f) dan kedalaman potong (a).

Kedalaman potong a (depth of cut), adalah tebal bagian benda kerja yang dibuang dari benda kerja, atau jarak antara permukaan yang dipotong terhadap permukaan yang belum terpotong (lihat Gambar 6.4.). Ketika pahat memotong sedalam a , maka diameter benda kerja akan

berkurang 2a, karena bagian permukaan benda kerja yang dipotong ada di dua sisi, akibat dari benda kerja yang berputar.

Beberapa proses pemesinan selain proses bubut pada Gambar 6.1., pada Mesin Bubut dapat juga dilakukan proses pemesinan yang lain, yaitu bubut dalam (*internal turning*), proses pembuatan lubang dengan mata bor (*drilling*), proses memperbesar lubang (*boring*), pembuatan ulir (*thread cutting*), dan pembuatan alur (*grooving/parting-off*). Proses tersebut dilakukan di Mesin Bubut dengan bantuan/tambahan peralatan lain agar proses pemesinan bisa dilakukan (lihat Gambar 6.5.).

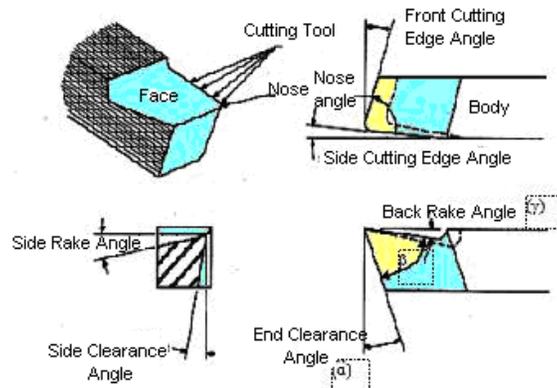


Gambar 6 5. Proses pemesinan yang dapat dilakukan pada Mesin Bubut : (a) pembubutan pinggul (*chamfering*), (b) pembubutan alur (*parting-off*), (c) pembubutan ulir (*threading*), (d) pembubutan lubang (*boring*), (e) pembuatan lubang (*drilling*), dan (f) pembuatan kartel (*knurling*).

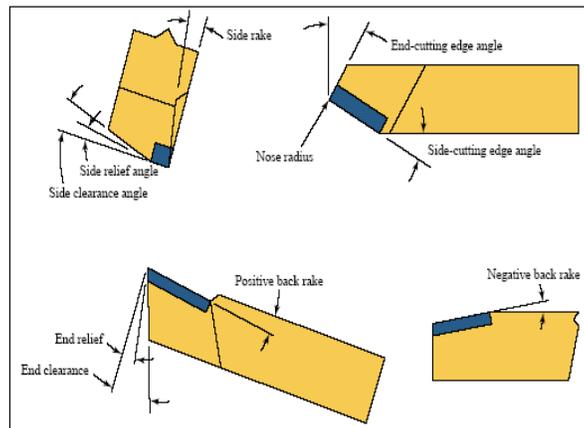
B. Geometri Pahat Bubut

Geometri/bentuk pahat bubut terutama tergantung pada material benda kerja dan material pahat. Terminologi standar ditunjukkan pada Gambar 6.6. Untuk pahat bubut bermata potong tunggal, sudut pahat yang paling pokok adalah sudut beram (*rake angle*), sudut bebas (*clearance angle*), dan sudut sisi potong (*cutting edge angle*). Sudut-sudut pahat HSS dibentuk dengan cara diasah menggunakan mesin gerinda pahat (*Tool Grinder Machine*). Sedangkan bila pahat tersebut adalah pahat sisipan (*insert*) yang dipasang pada tempat pahatnya, geometri pahat dapat dilihat pada Gambar 6.7. Selain geometri pahat tersebut pahat bubut bisa juga diidentifikasi berdasarkan letak sisi

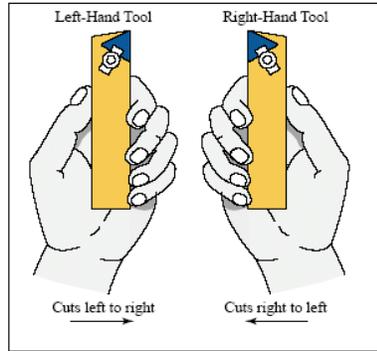
potong (*cutting edge*) yaitu pahat tangan kanan (*Right-hand tools*) dan pahat tangan kiri (*Left-hand tools*), lihat Gambar 6.8.



Gambar 6 6. Geometri pahat bubut HSS (Pahat diasah dengan mesin gerinda pahat).

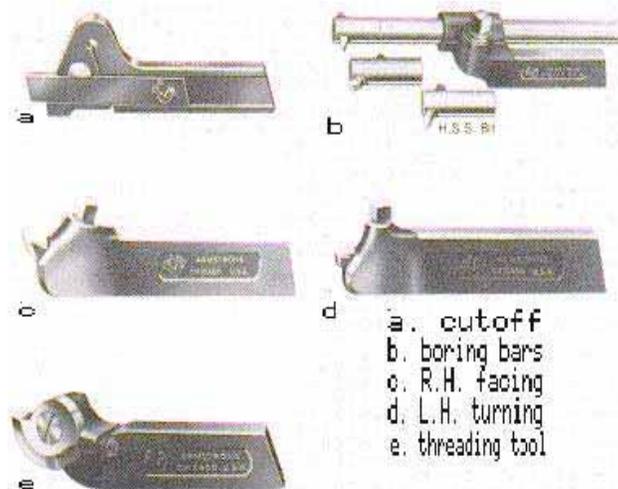


Gambar 6 7. Geometri pahat bubut sisipan (*insert*).

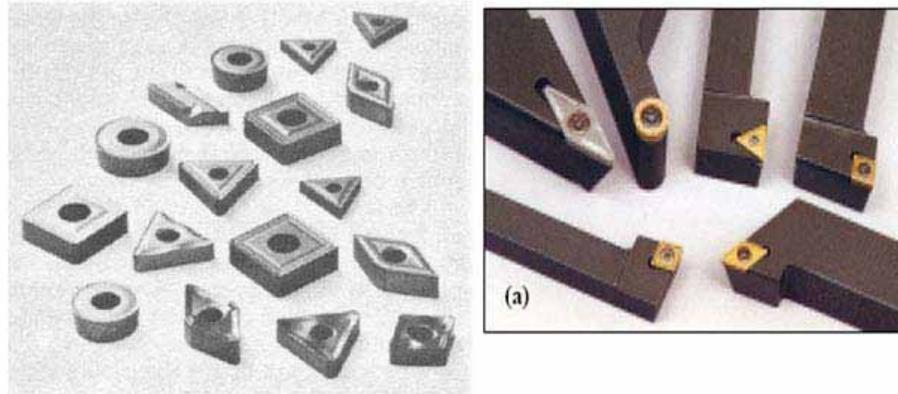


Gambar 6 8. Pahat tangan kanan dan pahat tangan kiri.

Pahat bubut di atas apabila digunakan untuk proses membubut biasanya dipasang pada pemegang pahat (*tool holder*). Pemegang pahat tersebut digunakan untuk memegang pahat dari HSS dengan ujung pahat diusahakan sependek mungkin agar tidak terjadi getaran pada waktu digunakan untuk membubut (lihat Gambar 6.9). Untuk pahat yang berbentuk sisipan (*inserts*), pahat tersebut dipasang pada tempat pahat yang sesuai, (lihat Gambar 6.10).



Gambar 6 9. Pemegang pahat HSS : (a) pahat alur, (b) pahat dalam, (c) pahat rata kanan, (d) pahat rata kiri, dan (e) pahat ulir.

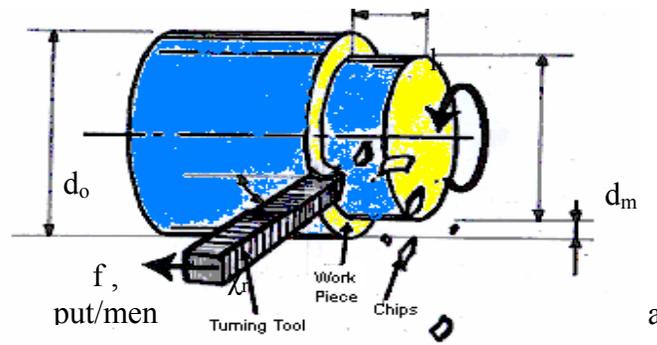


Gambar 6 10. Pahat bubut sisipan (*inserts*), dan pahat sisipan yang dipasang pada pemegang pahat (*tool holders*).

Bentuk dan pengkodean pahat sisipan serta pemegang pahatnya sudah distandarkan oleh ISO. Standar ISO untuk pahat sisipan dapat dilihat pada Lampiran, dan pengkodean pemegang pahat dapat dilihat juga pada Lampiran.

C. Perencanaan dan Perhitungan Proses Bubut

Elemen dasar proses bubut dapat dihitung/dianalisa dengan menggunakan rumus-rumus dan Gambar 6.11. berikut :



Gambar 6 11. Gambar skematis proses bubut.

Keterangan :

Benda Kerja :

d_o = diameter mula (mm)

d_m = diameter akhir (mm)

l_t = panjang pemotongan (mm)

Pahat :

χ_r = sudut potong utama/sudut masuk
 Mesin Bubut :
 a = kedalaman potong (mm)
 f = gerak makan (mm/putaran)
 n = putaran poros utama (putaran/menit)

1) Kecepatan potong :

$$v = \frac{\pi d n}{1000}; m / menit \dots \dots \dots (6.2)$$

d = diameter rata-rata benda kerja ($(d_o + d_m) / 2$) (mm)
 n = putaran poros utama (put/menit)
 $\pi = 3,14$

2) Kecepatan makan

$$v_f = f \cdot n; mm / menit \dots \dots \dots (6.3)$$

3) Waktu pemotongan

$$t_c = \frac{l_t}{v_f}; menit \dots \dots \dots (6.4)$$

4) Kecepatan penghasilan beram

$$Z = A \cdot v; cm^3 / menit \dots \dots \dots (6.5)$$

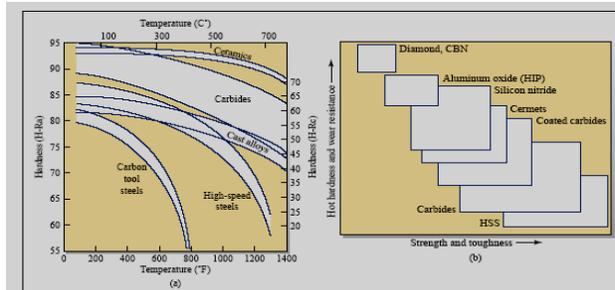
di mana : $A = a \cdot f \text{ mm}^2$

Perencanaan proses bubut tidak hanya menghitung elemen dasar proses bubut, tetapi juga meliputi penentuan/pemilihan material pahat berdasarkan material benda kerja, pemilihan mesin, penentuan cara pencekaman, penentuan langkah kerja/langkah penyayatan dari awal benda kerja sampai terbentuk benda kerja jadi, penentuan cara pengukuran dan alat ukur yang digunakan.

1. Material Pahat

Pahat yang baik harus memiliki sifat-sifat tertentu, sehingga nantinya dapat menghasilkan produk yang berkualitas baik (ukuran tepat) dan ekonomis (waktu yang diperlukan pendek). Kekerasan dan kekuatan pahat harus tetap bertahan meskipun pada temperatur tinggi, sifat ini dinamakan *Hot Hardness*. Ketangguhan (*toughness*) dari pahat diperlukan, sehingga pahat tidak akan pecah atau retak terutama pada saat melakukan pemotongan dengan beban kejut. Ketahanan aus sangat dibutuhkan yaitu ketahanan pahat melakukan pemotongan tanpa terjadi keausan yang cepat.

Penentuan material pahat didasarkan pada jenis material benda kerja dan kondisi pemotongan (pengasaran, adanya beban kejut, penghalusan). Material pahat yang ada ialah baja karbon sampai dengan keramik dan intan. Sifat *hot hardness* dari beberapa material pahat ditunjukkan pada Gambar 6.12.



Gambar 6.12. (a) Kekerasan dari beberapa macam material pahat sebagai fungsi dari temperatur, (b) jangkauan sifat material pahat.

Material pahat dari baja karbon (baja dengan kandungan karbon 1,05%) pada saat ini sudah jarang digunakan untuk proses pemesinan, karena bahan ini tidak tahan panas (melunak pada suhu 300-500° F). Baja karbon ini sekarang hanya digunakan untuk kikir, bilah gergaji, dan pahat tangan.

Material pahat dari HSS (*High Speed Steel*) dapat dipilih jenis M atau T. Jenis M berarti pahat HSS yang mengandung unsur *Molibdenum*, dan jenis T berarti pahat HSS yang mengandung unsur *Tungsten*. Beberapa jenis HSS dapat dilihat pada Tabel 6.1.

Jenis HSS	Standart AISI
HSS Konvensional	
• Molibdenum HSS	M1, M2, M7, M10
• Tungsten HSS	T1, T2
HSS Spesial	
• Cobald added HSS	M33, M36, T4, T5, T6
• High Vanadium HSS	M3-1, M3-2, M4, T15
• High Hardness Co HSS	M41, M42, M43, M44, M45, M46
• Cast HSS	
• Powdered HSS	
• Coated HSS	

Tabel 6 1. Jenis pahat HSS

Pahat dari HSS biasanya dipilih jika pada proses pemesinan sering terjadi beban kejut, atau proses pemesinan yang sering dilakukan interupsi (terputus-putus). Hal tersebut misalnya membubut benda segi empat menjadi silinder, membubut bahan benda kerja hasil proses penuangan, membubut eksentris (proses pengasarannya).

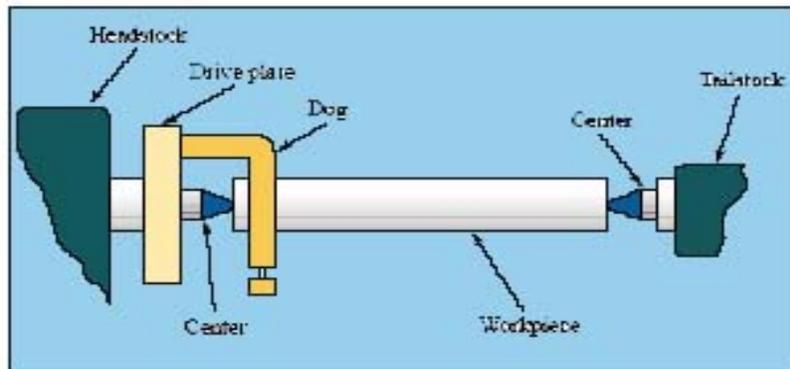
Pahat dari karbida dibagi dalam dua kelompok tergantung penggunaannya. Bila digunakan untuk benda kerja besi tuang yang tidak liat dinamakan *cast iron cutting grade*. Pahat jenis ini diberi kode huruf K (atau C1 sampai C4) dan kode warna merah. Apabila digunakan untuk menyayat baja yang liat dinamakan *steel cutting grade*. Pahat jenis ini diberi kode huruf P (atau C5 sampai C8) dan kode warna biru. Selain kedua jenis tersebut ada pahat karbida yang diberi kode huruf M, dan kode warna kuning. Pahat karbida ini digunakan untuk menyayat berbagai jenis baja, besi tuang dan non ferro yang mempunyai sifat mampu mesin yang baik. Contoh pahat karbida untuk menyayat berbagai bahan dapat dilihat pada Tabel 6.2.

Classification Number	Materials to be Machined	Machining Operation	Type of Carbide	Characteristics Of		Typical Properties	
				Cut	Carbide	Hardness H-Ra	Transverse Rupture Strength (MPa)
C-1	Cast iron, nonferrous metals, and nonmetallic materials requiring abrasion resistance	Roughing cuts	Wear-resistant grades; generally straight WC-Co with varying grain sizes	Increasing cutting speed	Increasing hardness and wear resistance	89.0	2,400
C-2		General purpose					
C-3		Finishing					
C-4		Precision boring and fine finishing					
C-5	Steels and steel-alloys requiring crater and deformation resistance	Roughing cuts	Crater-resistant grades; various WWC-Co compositions with TiC and/or TaC alloys	Increasing cutting speed	Increasing hardness and wear resistance	91.0	2,070
C-6		General purpose					
C-7		Finishing					
C-8		Precision boring and fine finishing					

Tabel 6 2. Contoh penggolongan pahat jenis karbida dan penggunaannya.

2. Pemilihan Mesin

Pertimbangan pemilihan mesin pada proses bubut adalah berdasarkan dimensi benda kerja yang akan dikerjakan. Ketika memilih mesin perlu dipertimbangkan kapasitas kerja mesin yang meliputi diameter maksimal benda kerja yang bisa dikerjakan oleh mesin, dan panjang benda kerja yang bisa dikerjakan. Ukuran Mesin Bubut diketahui dari diameter benda kerja maksimal yang bisa dikerjakan (*swing over the bed*), dan panjang meja Mesin Bubut (*length of the bed*). Panjang meja Mesin Bubut diukur jarak dari *headstock* sampai ujung meja. Sedangkan panjang maksimal benda kerja adalah panjang meja dikurangi jarak yang digunakan kepala tetap dan kepala lepas.

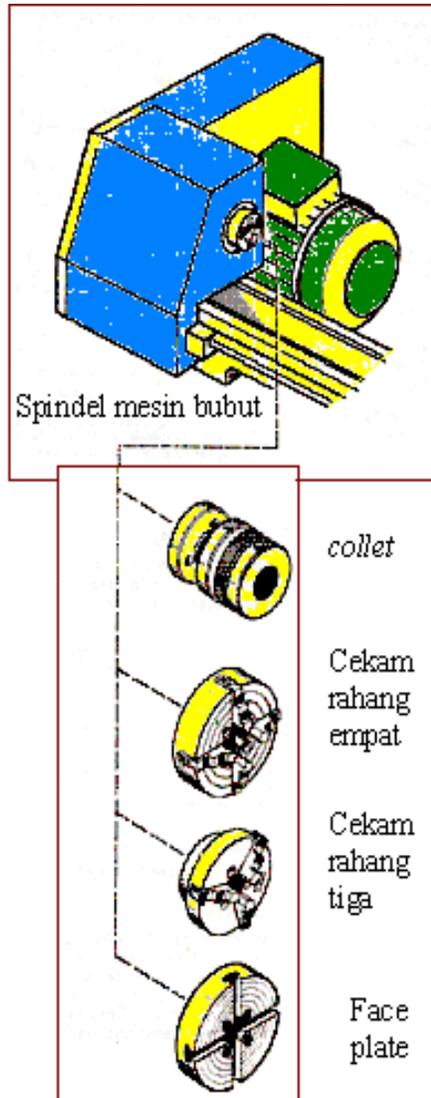


Gambar 6 13. Benda kerja dipasang di antara dua senter.

Beberapa jenis Mesin Bubut manual dengan satu pahat sampai dengan Mesin Bubut CNC dapat dipilih untuk proses pemesinan (Lihat Lampiran 1). Pemilihan Mesin Bubut yang digunakan untuk proses pemesinan bisa juga dilakukan dengan cara memilih mesin yang ada di bengkel (*workshop*). Dengan pertimbangan awal diameter maksimal benda kerja yang bisa dikerjakan oleh mesin yang ada.

3. Pencekaman Benda Kerja

Setelah langkah pemilihan mesin tersebut di atas, dipilih juga alat dan cara pencekaman/pemasangan benda kerja. Pencekaman/pemegangan benda kerja pada Mesin Bubut bisa digunakan beberapa cara. Cara yang pertama adalah benda kerja tidak dicekam, tetapi menggunakan dua senter dan pembawa. Dalam hal ini, benda kerja harus ada lubang senternya di kedua sisi benda kerja, (lihat Gambar 6.13.).



Gambar 6.14. Alat pengecam/ pemegang benda kerja proses bubut.

untuk mencekam benda kerja silindris yang relatif panjang, hendaknya digunakan juga senter jalan yang dipasang pada kepala lepas, agar benda kerja tidak tertekan, (lihat Gambar 6.15).

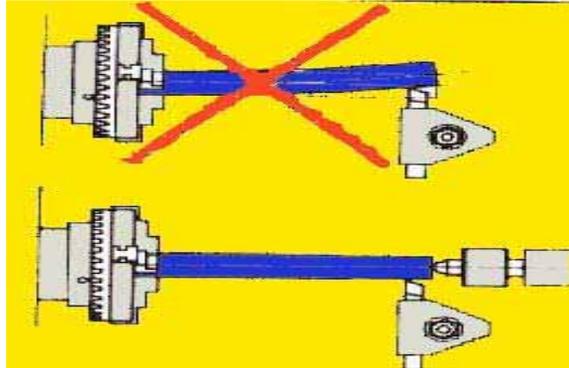
Penggunaan cekam rahang tiga atau cekam rahang empat, apabila kurang hati-hati akan menyebabkan permukaan benda kerja terluka. Hal tersebut terjadi misalnya pada waktu proses bubut dengan kedalaman potong yang besar, karena gaya pengecaman tidak mampu menahan beban yang tinggi, sehingga benda kerja tergelincir atau selip.

Cara kedua yaitu dengan menggunakan alat pengecam (Gambar 6.14.). Alat pengecam yang bisa digunakan adalah :

- a. **Collet**, digunakan untuk mencekam benda kerja berbentuk silindris dengan ukuran sesuai diameter *collet*. Pengekaman dengan cara ini tidak akan meninggalkan bekas pada permukaan benda kerja.
- b. **Cekam rahang empat** (untuk benda kerja tidak silindris) . Alat pengecam ini masing-masing rahangnya bisa diatur sendiri-sendiri, sehingga mudah dalam mencekam benda kerja yang tidak silindris.
- c. **Cekam rahang tiga** (untuk benda silindris). Alat pengecam ini tiga buah rahangnya bergerak bersama-sama menuju sumbu cekam apabila salah satu rahangnya digerakkan.
- d. **Face plate**, digunakan untuk menjepit benda kerja pada suatu permukaan plat dengan baut pengikat yang dipasang pada alur T.

Pemilihan cara pengecaman tersebut di atas, sangat menentukan hasil proses bubut. Pemilihan alat pengecam yang tepat akan menghasilkan produk yang sesuai dengan kualitas geometris yang dituntut oleh gambar kerja. Misalnya apabila memilih cekam rahang tiga

Hal ini perlu diperhatikan terutama pada proses *finishing*, proses pemotongan ulir, dan proses pembuatan alur.



Gambar 6 15. Benda kerja yang relatif panjang dipegang oleh cekam rahang tiga dan didukung oleh senter putar

Beberapa contoh proses bubut, dengan cara pengekaman yang berbeda-beda dapat dilihat pada Gambar 6.16.

4. Penentuan Langkah Kerja

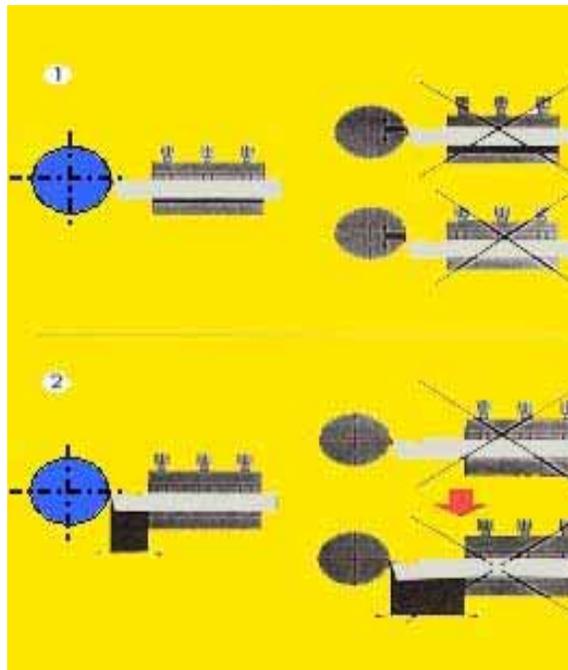
Langkah kerja dalam proses bubut meliputi persiapan bahan benda kerja, *setting* mesin, pemasangan pahat, penentuan jenis pemotongan (bubut lurus, permukaan, profil, alur, ulir), penentuan kondisi pemotongan, perhitungan waktu pemotongan, dan pemeriksaan hasil berdasarkan gambar kerja. Hal tersebut dikerjakan untuk setiap tahap (jenis pahat tertentu).



Gambar 6 16. Beberapa contoh proses bubut dengan cara pengekaman/pemegangan benda kerja yang berbeda-beda.

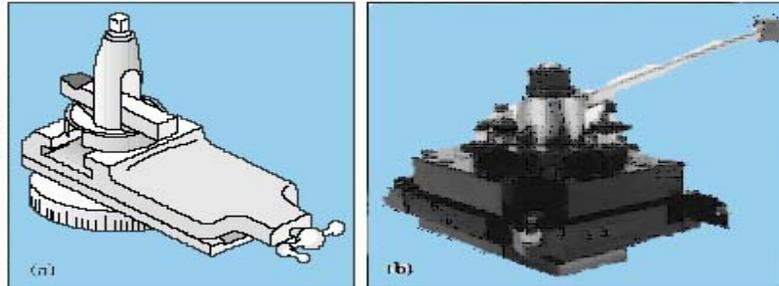
Bahan benda kerja yang dipilih biasanya sudah ditentukan pada gambar kerja baik material maupun dimensi awal benda kerja. Penyiapan (*setting*) mesin dilakukan dengan cara memeriksa semua eretan mesin, putaran spindel, posisi kepala lepas, alat pencekam benda kerja, pemegangan pahat, dan posisi kepala lepas. Usahakan posisi sumbu kerja kepala tetap (spindel) dengan kepala lepas pada satu garis untuk pembubutan lurus, sehingga hasil pembubutan tidak tirus.

Pemasangan pahat dilakukan dengan cara menjepit pahat pada rumah pahat (*tool post*). Usahakan bagian pahat yang menonjol tidak terlalu panjang, supaya tidak terjadi getaran pada pahat ketika proses pemotongan dilakukan. Posisi ujung pahat harus pada sumbu kerja Mesin Bubut, atau pada sumbu benda kerja yang dikerjakan. Posisi ujung pahat yang terlalu rendah tidak direkomendasi, karena menyebabkan benda kerja terangkat, dan proses pemotongan tidak efektif, (lihat Gambar 6.17).



Gambar 6 17. Pemasangan pahat.

Pahat bubut bisa dipasang pada tempat pahat tunggal, atau pada tempat pahat yang berisi empat buah pahat (*quick change indexing square turret*). Apabila pengerjaan pembubutan hanya memerlukan satu macam pahat lebih baik digunakan tempat pahat tunggal. Apabila pahat yang digunakan dalam proses pemesinan lebih dari satu, misalnya pahat rata, pahat alur, pahat ulir, maka sebaiknya digunakan tempat pahat yang bisa dipasang sampai empat pahat. Pengaturannya sekaligus sebelum proses pembubutan, sehingga proses penggantian pahat bisa dilakukan dengan cepat (*quick change*).



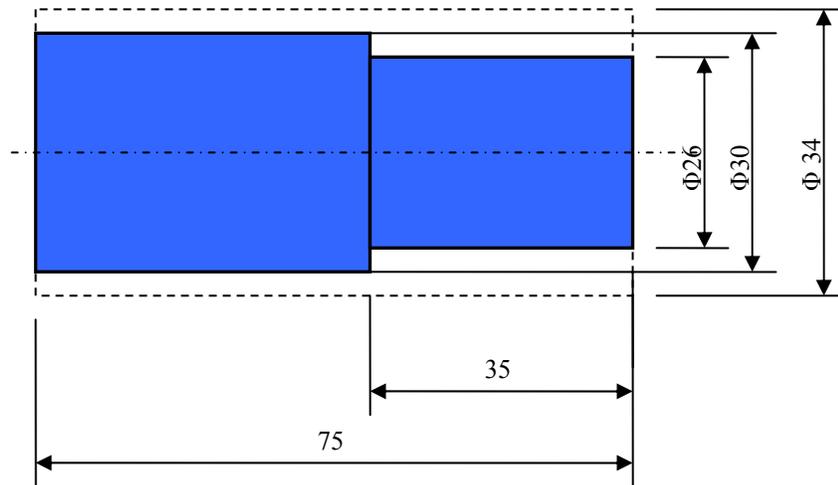
Gambar 6 18. Tempat pahat (*tool post*) : (a) untuk pahat tunggal, (b) untuk empat pahat.

5. Perencanaan Proses Membubut Lurus

Proses membubut lurus adalah menyayat benda kerja dengan gerak pahat sejajar dengan sumbu benda kerja. Perencanaan proses penyayatan benda kerja dilakukan dengan cara menentukan arah gerakan pahat , kemudian menghitung elemen dasar proses bubut sesuai dengan rumus 6.2. sampai dengan rumus 6.5.

Contoh :

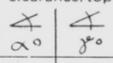
Akan dibuat benda kerja dari bahan *Mild Steel* (ST. 37) seperti Gambar 6.19 berikut.



Gambar 6 19. Gambar benda kerja yang akan dibuat.

Perencanaan proses bubut :

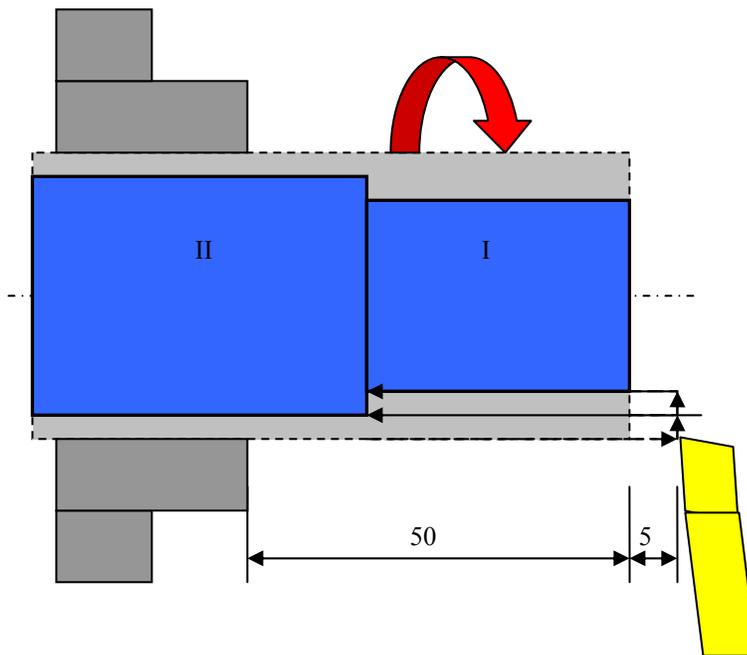
- a. Material benda kerja : *Mild Steel* (ST. 37), dia. 34 mm x 75 mm
- b. Material pahat : HSS atau Pahat Karbida jenis P10, pahat kanan. Dengan geometri pahat dan kondisi pemotongan dipilih dari Tabel 6.3. (Tabel yang direkomendasikan oleh produsen Mesin Bubut) :
 - $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 14^\circ$, $v = 34$ m/menit (HSS)
 - $\alpha = 5^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, $v = 170$ m/menit (Pahat karbida sisipan)
- c. Mesin yang digunakan : Mesin Bubut dengan kapasitas diameter lebih dari 1 inchi.
- d. Pencekam benda kerja : Cekam rahang tiga.
- e. Benda kerja dikerjakan Bagian I terlebih dulu, kemudian dibalik untuk mengerjakan Bagian II (Gambar 6.20).

Workpiece material	Tensile strength in kp/mm ²	1) Tool	Cutting angle clearance/top 		Feed in mm/rev.				Coolant and Lubricant	
					0,1	0,2	0,4	0,8	Roughing	Finishing
					cutting speed v m/min					
Steel St 34, St 37, St 42	up to 50.	SS S ₁	8 5	14 10		60 236	45 200	34 170	E	E or P
St 50, St 60	50...70	SS S ₁	8 5	14 10	240	44 205	32 175	24 145	E	E or P
St 70	70...85	SS S ₁	8 5	14 10	200	32 170	24 132	18 106	E	E or P
Cast steel	50...70	SS S ₁	8 5	10 6	118	34 100	25 85	19 71	E	dry
Alloyed steel	85...100	SS S ₁	8 5	10 6	150	24 118	17 95	12 75	E	E or P
Mn-Steel, Cr-Ni-steel, Cr-Mo-steel	100...140	SS S ₁	8 5	6 6	95	16 75	11 60	8 50	E	E or P
other alloyed steels	140...180	SS S ₁	8 5	6 6	60	9,5 48	6 38	6 32	E	E or P
Tool steel	150...180	SS S ₁	8 5	6 6	50	40 32	27 27	27 27	E	Colza oil or P
C. I.20, C. I.25	hardness Brinell 200...250	SS H ₁	8 5	0 0	106	32 90	18 75	13 63	dry or E	dry
Copper alloys	hardness Brinell 80...120	SS G ₁	8 5	0 6		125 600	85 530	56 450	dry, E or L	dry
Cast bronze		SS G ₁	8 5	0 6	355	63 280	53 236	43 200	E or L	dry
Light alloys aluminium		SS G ₁	12 12	30 30	400 1320	300 1120	200 950	118 850	E or P soap spi-rit	E or P soap spi-rit
Aluminium alloys (11...13%Si)		SS G ₁	12 12	18 18	100 224	67 190	45 160	30 140	E	Oil S II or P
Magnesium alloys*		SS G ₁	8 5	6 6	1000 1800	900 1500	800 1250	750 1060	dry or with non-combustible oil	dry or with non-combustible oil
Platics and hard rubber		SS G ₁	12 12	10 10	300	280	250	224	dry	dry
Bakelite, Novotext, Pertinax hard plastic		SS G ₁	12 12	14 14	280	212	170	132	dry	dry

Tabel 6.3. Penentuan jenis pahat, geometri pahat, v, dan f (EMCO).

- f. Pemasangan pahat : Menggunakan tempat pahat tunggal (*tool post*) yang tersedia di mesin, panjang ujung pahat dari *tool post* sekitar 10 sampai dengan 15 mm, sudut masuk $\chi_r = 93^\circ$.

- g. Data untuk elemen dasar :
- untuk pahat HSS : $v = 34$ m/menit; $f = 0,1$ mm/put., $a = 2$ mm.
 - untuk pahat karbida : $v = 170$ m/menit; $f = 0,1$ mm/put., $a = 2$ mm.
- h. Bahan benda kerja telah disiapkan (panjang bahan sudah sesuai dengan gambar), kedua permukaan telah dihaluskan.
- i. Perhitungan elemen dasar berdasarkan rumus 2.2 – 2.5 dan gambar rencana jalannya pahat adalah sebagai berikut (perhitungan dilakukan dengan *software spreadsheet*) :

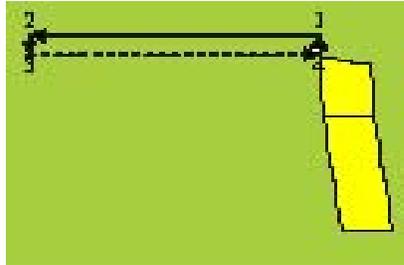


Gambar 6 20. Gambar rencana pencekaman, penyayatan, dan lintasan pahat.

Keterangan :

- 1) Benda kerja dicekam pada Bagian II, sehingga bagian yang menonjol sekitar 50 mm.
- 2) Penyayatan dilakukan 2 kali dengan kedalaman potong $a_1 = 2$ mm dan $a_2 = 2$ mm. Pemotongan pertama sebagai pemotongan pengasaran (*roughing*) dan pemotongan kedua sebagai pemotongan *finishing*.
- 3) Panjang pemotongan total adalah panjang benda kerja yang dipotong ditambah panjang awalan (sekitar 5 mm) dan panjang lintasan keluar pahat (sama dengan kedalaman potong) . Gerakan pahat dijelaskan seperti Gambar 6. 21 :

- a) Gerakan pahat dari titik 4 ke titik 1 adalah gerak maju dengan cepat (*rapid*)
- b) Gerakan pahat dari titik 1 ke titik 2 adalah gerakan penyayatan dengan $f = 0,1$ mm/putaran
- c) Gerakan pahat dari titik 2 ke titik 3 adalah gerakan penyayatan dengan $f = 0,1$ mm/putaran
- d) Gerakan pahat dari titik 3 ke titik 4 adalah gerakan cepat (dikerjakan dengan memutar eretan memanjang).



Gambar 6 21. Gambar rencana gerakan dan lintasan pahat.

Setelah rencana jalannya pahat tersebut di atas kemudian dilakukan perhitungan elemen dasar pemesinannya. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6.4.

a. Perhitungan elemen dasar proses bubut (untuk pahat HSS)

$v=$	34 mm/menit
$f=$	0,1 mm/putaran
$a=$	4 mm
$a1=$	2 mm
$a2=$	2 mm
$a3=$.. mm
$d_o=$	34 mm
$dm1=$	30 mm
$dm2=$	26 mm
$l_t=$	42 mm

Proses	n (rpm)	V_f (mm/menit)	t_c (menit)	Z (cm^3 /menit)
Bubut rata a1	338,38	33,84	1,24	6,80
Bubut rata a2	386,72	38,67	1,09	6,80

b. Perhitungan elemen dasar proses bubut (untuk pahat Karbida P10)

$v=$	170 mm/menit
$f=$	0,1 mm/putaran
$a=$	4 mm

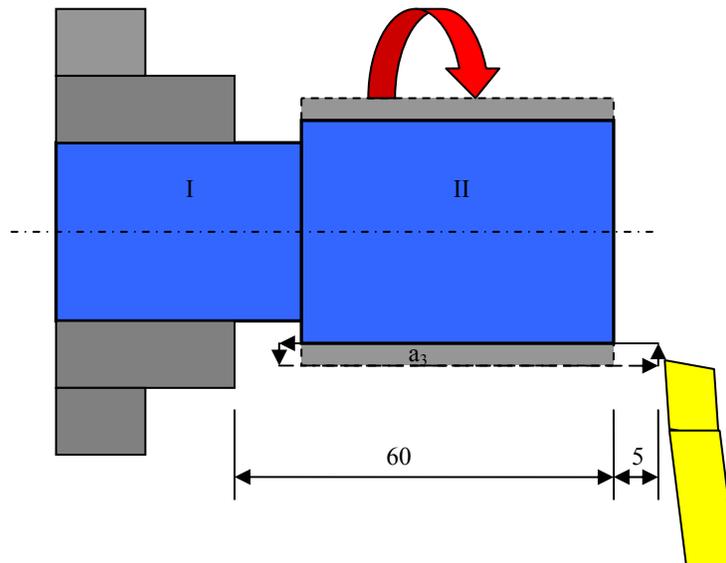
$a_1 = 2$ mm
 $a_2 = 2$ mm
 $a_3 = ..$ mm
 $d_o = 34$ mm
 $d_{m1} = 30$ mm
 $d_{m2} = 26$ mm
 $l_i = 42$ mm

Proses	n (rpm)	V_f (mm/menit)	t_c (menit)	Z (cm ³ /menit)
Bubut rata a1	1691,88	169,19	0,25	34,00
Bubut rata a2	1933,58	193,36	0,22	34,00

Tabel 6 4. Hasil perhitungan elemen dasar pemesinan Bagian I.

Bagian II :

Benda kerja dibalik, sehingga bagian I menjadi bagian yang dicekam seperti terlihat pada Gambar 6.22. Lintasan pahat sama dengan lintasan pahat pada Gambar 6.21. hanya panjang penyayatannya berbeda, yaitu (50+5+2) mm.



Gambar 6 22. Gambar rencana pencekaman, penyayatan, dan lintasan pahat.

Hasil perhitungan elemen dasar pemesinan dapat dilihat pada Tabel 6.5 berikut ini :

Perhitungan elemen dasar proses bubut (untuk pahat HSS)

v=	34	mm/menit
f=	0,1	mm/putaran
a=	2	mm
a1=	..	mm
a2=	..	mm
a3=	2	mm
d _o =	34	mm
dm1=	30	mm
dm2=	..	mm
l _i =	57	mm

Proses	n (rpm)	V _f (mm/menit)	t _c (menit)	Z(cm ³ /menit)
Bubut rata a3	338,38	33,84	1,68	6,80

Perhitungan elemen dasar proses bubut (untuk pahat Karbida)

v=	170	mm/menit
f=	0,1	mm/putaran
a=	2	mm
a1=	..	mm
a2=	..	mm
a3=	2	mm
d _o =	34	mm
dm1=	30	mm
dm2=	..	mm
l _i =	57	mm

Proses	n (rpm)	V _f (mm/menit)	t _c (menit)	Z(cm ³ /menit)
Bubut rata a3	1691,88	169,19	0,34	34,00

Tabel 6.5. Hasil perhitungan elemen dasar pemesinan Bagian II.

Catatan :

- 1) Pada prakteknya parameter pemotongan terutama putaran spindel (n) dipilih dari putaran spindel yang tersedia di Mesin Bubut tidak seperti hasil perhitungan dengan rumus di atas. Kalau putaran spindel hasil perhitungan tidak ada yang sama (hampir sama) dengan tabel putaran spindel di mesin sebaiknya dipilih putaran spindel di bawah putaran spindel hasil perhitungan.
- 2) Apabila parameter pemotongan n diubah, maka elemen dasar pemesinan yang lain berubah juga.
- 3) Waktu yang diperlukan untuk membuat benda kerja jadi bukanlah jumlah waktu pemotongan (t_c) keseluruhan dari tabel perhitungan di

atas (Tabel 6.4 dan Tabel 6.5). Waktu pembuatan benda kerja harus ditambah waktu non produktif yaitu :

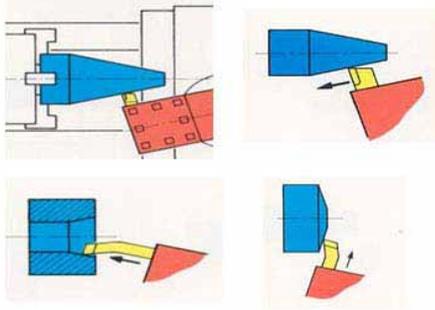
- a) waktu penyiapan mesin/pahat
 - b) waktu penyiapan bahan benda kerja (dengan mesin gergaji, dan Mesin Bubut yang disetel khusus untuk membuat bahan benda kerja)
 - c) waktu pemasangan benda kerja
 - d) waktu pengecekan ukuran benda kerja
 - e) waktu yang diperlukan pahat untuk mundur (*retract*)
 - f) waktu yang diperlukan untuk melepas benda kerja
 - g) waktu yang diperlukan untuk mengantarkan benda kerja (dari bagian penyiapan benda kerja ke mesin).
- 4) Tidak ada rumus baku untuk menentukan waktu non produktif. Waktu non produktif diperoleh dengan mencatat waktu yang diperlukan untuk masing-masing waktu non produktif tersebut.
 - 5) Untuk benda kerja tunggal waktu penyelesaian benda kerja lebih lama dari pada pembuatan massal (waktu rata-rata per produk), karena waktu penyiapan mesin tidak dilakukan untuk setiap benda kerja yang dikerjakan.
 - 6) Untuk proses bubut rata dalam, perhitungan elemen dasar pada prinsipnya sama dengan bubut luar, tetapi pada bubut dalam diameter awal (d_o) lebih kecil dari pada diameter akhir (d_m).
 - 7) Apabila diinginkan pencekaman hanya sekali tanpa membalik benda kerja, maka bahan benda kerja dibuat lebih panjang sekitar 30 mm. Akan tetapi hal tersebut akan menyebabkan pemborosan bahan benda kerja jika membuat benda kerja dalam jumlah banyak.
 - 8) Apabila benda kerja dikerjakan dengan dua senter (*setting* seperti Gambar 6.13), maka benda kerja harus diberi lubang senter pada kedua ujungnya. Dengan demikian waktu ditambah dengan waktu pembuatan lubang senter.
 - 9) Pahat karbida lebih produktif dari pada pahat HSS.

6. Perencanaan Proses Membubut Tirus

Benda kerja berbentuk tirus (*taper*) dihasilkan pada proses bubut apabila gerakan pahat membentuk sudut tertentu terhadap sumbu benda kerja. Cara membuat benda tirus ada beberapa macam :

- a. Dengan memiringkan eretan atas pada sudut tertentu (Gambar 6.23), gerakan pahat (pemakanan) dilakukan secara manual (memutar *handle* eretan atas).
- b. Pengerjaan dengan cara ini memakan waktu cukup lama, karena gerakan pahat kembali relatif lama (ulir eretan atas kisarnya lebih kecil dari pada ulir *transportir*).

- c. Dengan alat bantu tirus (*taper attachment*), pembuatan tirus dengan alat ini adalah untuk benda yang memiliki sudut tirus relatif kecil (sudut sampai dengan $\pm 9^\circ$). Pembuatan tirus lebih cepat karena gerakan pemakanan (*feeding*) bisa dilakukan otomatis (Gambar 6.24).

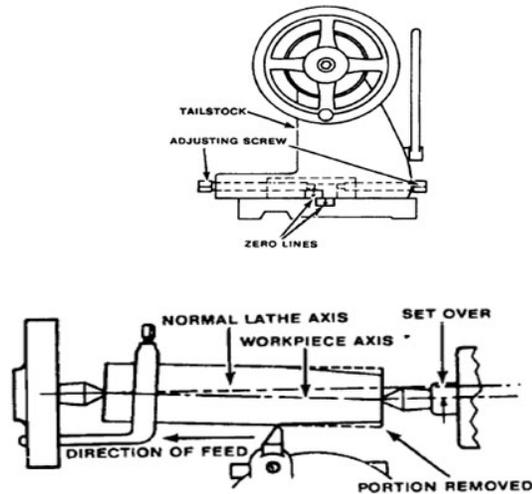


Gambar 6 23. Proses membubut tirus luar dan tirus dalam dengan memiringkan eretan atas, gerakan penyayatan ditunjukkan oleh anak panah.



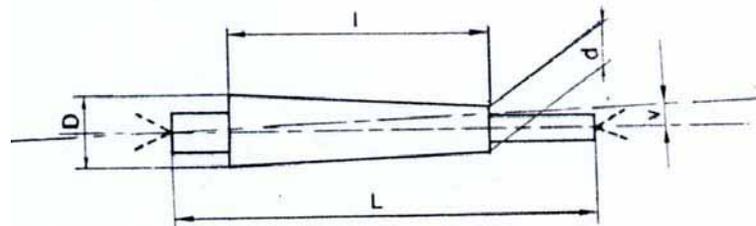
Gambar 6 24. Proses membubut tirus luar dengan bantuan alat bantu tirus (*taper attachment*).

- d. Dengan menggeser kepala lepas (*tail stock*), dengan cara ini proses pembubutan tirus dilakukan sama dengan proses membubut lurus dengan bantuan dua senter. Benda kerja tirus terbentuk karena sumbu kepala lepas tidak sejajar dengan sumbu kepala tetap (Gambar 6.25.). Untuk cara ini sebaiknya hanya untuk sudut tirus yang sangat kecil, karena apabila sudut tirus besar bisa merusak senter jalan yang dipasang pada kepala lepas.



Gambar 6 25. Bagian kepala lepas yang bisa digeser, dan pembubutan tirus dengan kepala lepas yang digeser.

Perhitungan pergeseran kepala lepas pada pembubutan tirus dijelaskan dengan gambar dan rumus berikut.



Gambar 6 26. Gambar benda kerja tirus dan notasi yang digunakan.

Pergeseran kepala lepas (x) pada Gambar 6.26 di atas dapat dihitung dengan rumus :

$$x = \frac{D-d}{2l} \cdot L \dots \dots \dots (6.6)$$

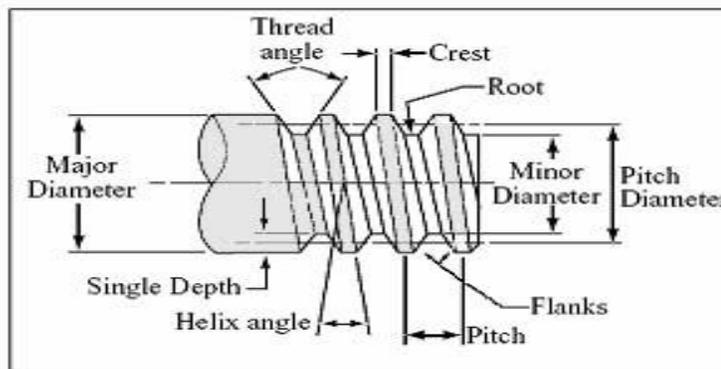
Di mana :

- D = diameter mayor (terbesar) (mm)
- d = diameter minor (terkecil) (mm)
- l = panjang bagian tirus (mm)
- L = panjang benda kerja seluruhnya (mm)

Penentuan pahat, perhitungan elemen pemesinan, dan penentuan langkah kerja/jalannya pahat untuk pembuatan benda kerja tirus sama dengan perencanaan proses bubut lurus. Perbedaannya ada pada perhitungan waktu pemesinan untuk pembuatan tirus dengan cara menggeser sudut eretan atas. Hal ini terjadi karena gerakan pahat dilakukan secara manual sehingga rumus waktu pemesinan (t_c) tidak dapat digunakan.

7. Perencanaan Proses Membubut Ulir

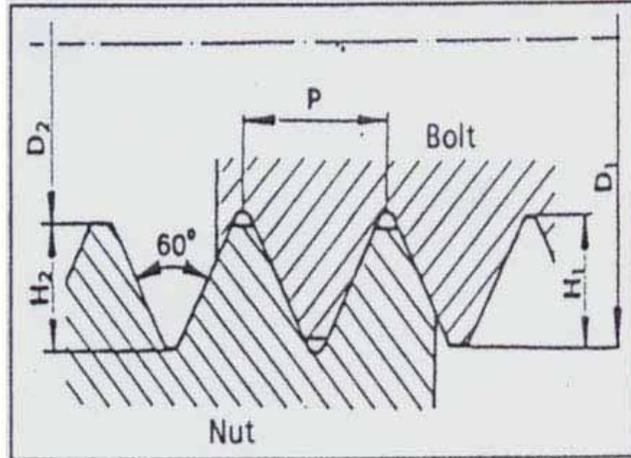
Proses pembuatan ulir bisa dilakukan pada Mesin Bubut. Pada Mesin Bubut konvensional (manual) proses pembuatan ulir kurang efisien, karena pengulangan pemotongan harus dikendalikan secara manual, sehingga proses pembubutan lama dan hasilnya kurang presisi. Dengan Mesin Bubut yang dikendalikan CNC proses pembubutan ulir menjadi sangat efisien dan efektif, karena sangat memungkinkan membuat ulir dengan kisar (*pitch*) yang sangat bervariasi dalam waktu relatif cepat dan hasilnya presisi. Nama-nama bagian ulir segi tiga dapat dilihat pada Gambar 6.27.



Gambar 6 27. Nama-nama bagian ulir.

Ulir segi tiga tersebut bisa berupa ulir tunggal atau ulir ganda. Pahat yang digunakan untuk membuat ulir segi tiga ini adalah pahat ulir yang sudut ujung pahatnya sama dengan sudut ulir atau setengah sudut ulir. Untuk ulir Metris sudut ulir adalah 60° , sedangkan ulir *Whitworth* sudut

ulir 55° . Identifikasi ulir biasanya ditentukan berdasarkan diameter mayor dan kisar ulir (Tabel 6.6.). Misalnya ulir M5x0,8 berarti ulir metris dengan diameter mayor 5 mm dan kisar (*pitch*) 0,8 mm.



Thread designation	Pitch P	Bolt		Nut	
		Nominal diameter D ₁	Thread height H ₁	Core diameter D ₂	Thread height H ₂
M3	0,5	3,00	0,337	2,459	0,285
M3,5	0,6	3,50	0,416	2,850	0,355
M4	0,7	4,00	0,490	3,242	0,414
M4,5	0,75	4,50	0,529	3,688	0,448
M5	0,8	5,00	0,551	4,134	0,479
M6	1,0	6,00	0,717	4,917	0,609
M8	1,25	8,00	0,907	6,647	0,771
M10	1,5	10,00	1,100	8,376	0,934
M12	1,75	12,00	1,285	10,106	1,098
M14	2,0			11,835	1,257
M16	2,0			13,835	1,257

Tabel 6 6. Dimensi ulir Metris.

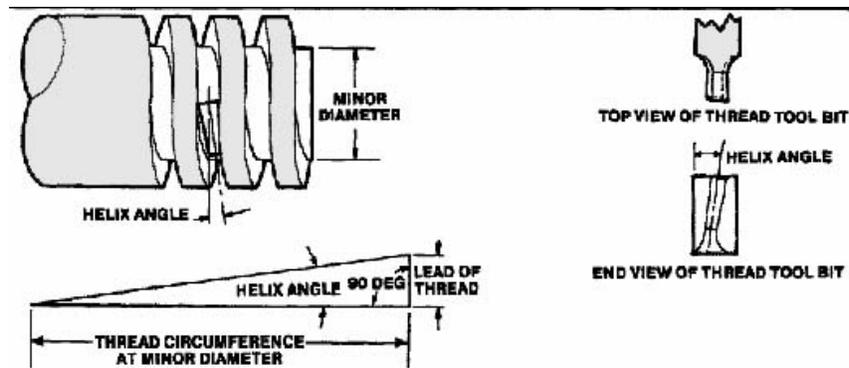
Selain ulir Metris pada Mesin Bubut bisa juga dibuat ulir *Whitworth* (sudut ulir 55°). Identifikasi ulir ini ditentukan oleh diameter mayor ulir dan jumlah ulir tiap inchi (Tabel 6.7.). Misalnya untuk ulir *Whitworth* 3/8" jumlah ulir tiap inchi adalah 16 (kisarnya 0,0625"). Ulir ini biasanya digunakan untuk membuat ulir pada pipa (mencegah kebocoran fluida).

Thread designation	Turns per inch	Pitch P	Bolt		Nut	
			Nominal diameter D ₁	Thread height H ₁	Core diameter D ₂	Thread height H ₂
.112 (4)	40	0,0250	0,1120	0,0174	0,0813	0,0147
.125 (5)	40	0,0250	0,1250	0,0174	0,0943	0,0147
.138 (6)	32	0,0313	0,1380	0,0243	0,0997	0,0188
.164 (8)	32	0,0313	0,1640	0,0243	0,1257	0,0188
.190 (10)	24	0,0417	0,1900	0,0330	0,1389	0,0252
.216 (12)	24	0,0417	0,2160	0,0330	0,1649	0,0252
1/4	20	0,0500	0,2500	0,0386	0,1887	0,0309
5/16	18	0,0556	0,3125	0,0447	0,2443	0,0346
3/8	16	0,0625	0,3750	0,0502	0,2983	0,0391
7/16	14	0,0714	0,4375	0,0577	0,3499	0,0449
1/2	13	0,0769			0,4056	0,0485
9/16	12	0,0833			0,4603	0,0526
5/8	11	0,0909			0,5135	0,0576

1" = 25,4 mm

Tabel 6.7. Dimensi ulir *Whitworth*.

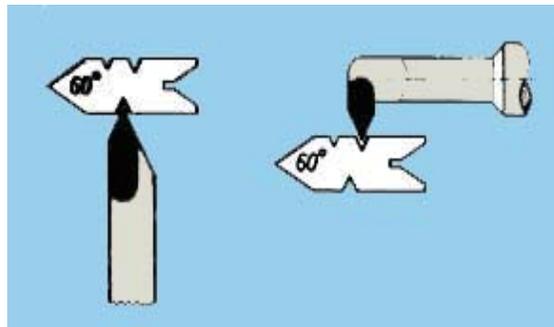
Selain ulir segi tiga, pada Mesin Bubut bisa juga dibuat ulir segi empat (Gambar 6.28). Ulir segi empat ini biasanya digunakan untuk ulir daya. Dimensi utama dari ulir segi empat pada dasarnya sama dengan ulir segi tiga yaitu : diameter mayor, diameter minor, kisar (*pitch*), dan sudut helix. Pahat yang digunakan untuk membuat ulir segi empat adalah pahat yang dibentuk (diasah) menyesuaikan bentuk alur ulir segi empat dengan pertimbangan sudut helix ulir. Pahat ini biasanya dibuat dari HSS atau pahat sisipan dari bahan karbida.



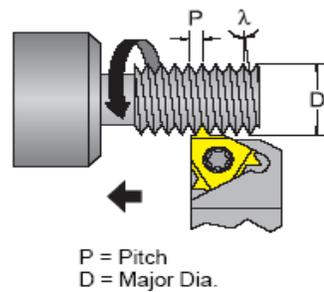
Gambar 6 28. Ulir segi empat.

a. Pahat ulir

Pada proses pembuatan ulir dengan menggunakan Mesin Bubut manual pertama-tama yang harus diperhatikan adalah sudut pahat. Pada Gambar 6.29. ditunjukkan bentuk pahat ulir metris dan alat untuk mengecek besarnya sudut tersebut (60°). Pahat ulir pada gambar tersebut adalah pahat ulir luar dan pahat ulir dalam. Selain pahat terbuat dari HSS pahat ulir yang berupa sisipan ada yang terbuat dari bahan karbida (Gambar 6.30).

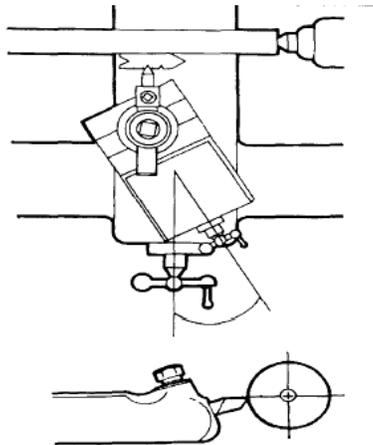


Gambar 6 29. Pahat ulir metris dan mal ulir untuk ulir luar dan ulir dalam.



Gambar 6 30. Proses pembuatan ulir luar dengan pahat sisipan.

Setelah pahat dipilih, kemudian dilakukan *setting* posisi pahat terhadap benda kerja. *Setting* ini dilakukan terutama untuk mengecek posisi ujung pahat bubut terhadap sumbu.



Gambar 6 31. *Setting* pahat bubut untuk proses pembuatan ulir luar.

Setelah itu dicek posisi pahat terhadap permukaan benda kerja, supaya diperoleh sudut ulir yang simetris terhadap sumbu yang tegak lurus terhadap sumbu benda kerja (Gambar 6.31).

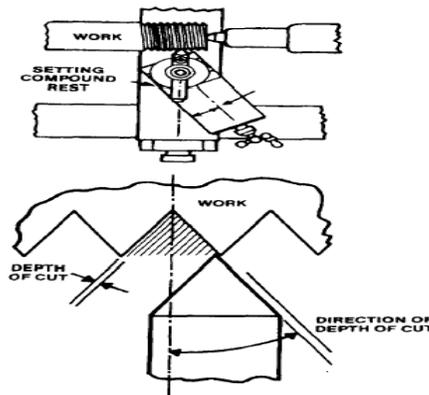
Parameter pemesinan untuk proses bubut ulir berbeda dengan bubut rata. Hal tersebut terjadi karena pada proses pembuatan ulir harga gerak makan (f) adalah kisar (*pitch*) ulir tersebut, sehingga putaran spindel tidak terlalu tinggi (secara kasar sekitar setengah dari putaran spindel untuk proses bubut rata). Perbandingan harga kecepatan potong untuk proses bubut rata (*stright turning*) dan proses bubut ulit (*threading*) dapat dilihat pada Tabel 6.8.

MATERIAL	STRAIGHT TURNING SPEED		THREADING SPEED	
	FEET PER MINUTE	METERS PER MINUTE	FEET PER MINUTE	METERS PER MINUTE
LOW-CARBON STEEL	80-100	24.4-30.5	35-40	10.7-12.2
MEDIUM-CARBON STEEL	60-80	18.3-24.4	25-30	7.6-9.1
HIGH-CARBON STEEL	35-40	10.7-12.2	15-20	4.6-6.1
STAINLESS STEEL	40-50	12.2-15.2	15-20	4.6-6.1
ALUMINUM AND ITS ALLOYS	200-300	61.0-91.4	50-80	15.2-18.3
ORDINARY BRASS AND BRONZE	100-200	30.5-61.0	40-50	12.2-15.2
HIGH-TENSILE BRONZE	40-60	12.2-18.3	20-25	6.1-7.6
CAST IRON	50-80	15.2-24.4	20-25	6.1-7.6
COPPER	60-80	18.3-24.4	20-25	6.1-7.6

NOTE: Speeds for carbide-tipped bits can be 2 to 3 times the speed recommended for high-speed steel

Tabel 6 8. Kecepatan potong proses bubut rata dan proses bubut ulir untuk pahat HSS.

b. Langkah penyayatan ulir



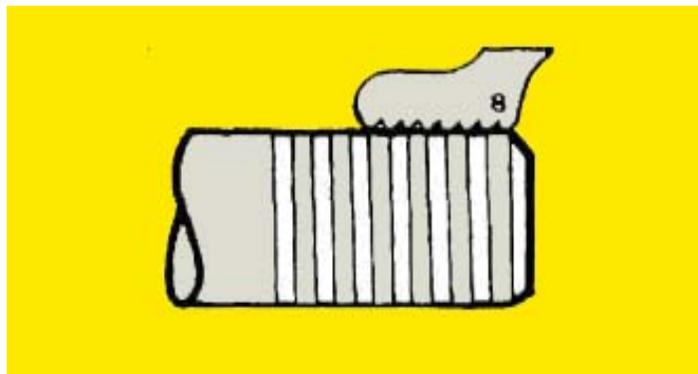
Gambar 6 32. Eretan atas diatur menyudut terhadap sumbu tegak lurus benda kerja dan arah pemakanan pahat bubut.

Supaya dihasilkan ulir yang halus permukaannya perlu dihindari kedalaman potong yang relatif besar. Walaupun kedalaman ulir kecil (misalnya untuk ulir M10x1,5, dalamnya ulir 0,934 mm), proses penyayatan tidak dilakukan sekali potong, biasanya dilakukan penyayatan antara 5 sampai 10 kali penyayatan ditambah sekitar 3 kali penyayatan kosong (penyayatan pada diameter terdalam). Hal tersebut karena pahat ulir melakukan penyayatan berbentuk V. Agar diperoleh hasil yang presisi dengan proses yang tidak membahayakan operator mesin, maka sebaiknya pahat hanya menyayat pada satu sisi saja (sisi potong pahat sebelah kiri untuk ulir kanan, atau sisi potong pahat sebelah kanan untuk ulir kiri). Proses tersebut dilakukan dengan cara memiringkan eretan atas

dengan sudut 29° (Gambar 6.32.) untuk ulir metris. Sedang untuk ulir Acme dan ulir cacing dengan sudut 29° , eretan atas dimiringkan $14,5^\circ$. Proses penambahan kedalaman potong (*dept of cut*) dilakukan oleh eretan atas .

Langkah-langkah proses bubut ulir dengan menggunakan mesin konvensional dilakukan dengan cara :

- 1) Memajukan pahat pada diameter luar ulir
- 2) *Setting* ukuran pada *handle* ukuran eretan atas menjadi 0 mm
- 3) Tarik pahat ke luar benda kerja, sehingga pahat di luar benda kerja dengan jarak bebas sekitar 10 mm di sebelah kanan benda kerja
- 4) Atur pengatur kisar menurut tabel kisar yang ada di Mesin Bubut, geser *handle* gerakan eretan bawah untuk pembuatan ulir
- 5) Masukkan pahat dengan kedalaman potong sekitar 0,1 mm
- 6) Putar spindel mesin (kecepatan potong mengacu Tabel 6.8) sampai panjang ulir yang dibuat terdapat goresan pahat, kemudian hentikan mesin dan tarik pahat keluar.
- 7) Periksa kisar ulir yang dibuat (Gambar 6.33.) dengan menggunakan kaliber ulir (*screw pitch gage*). Apabila sudah sesuai maka proses pembuatan ulir dilanjutkan. Kalau kisar belum sesuai periksa posisi *handle* pengatur kisar pada Mesin Bubut.



Gambar 6 33. Pengecekan kisar ulir dengan kaliber ulir.

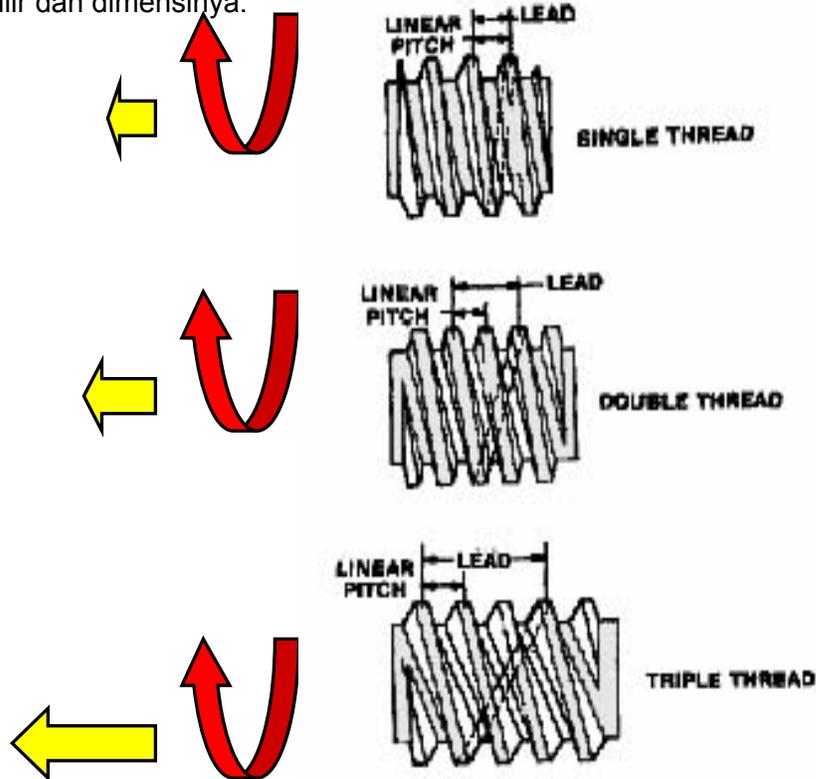
- 8) Gerakkan pahat mundur dengan cara memutar spindel arah kebalikan, hentikan setelah posisi pahat di depan benda kerja (Gerakan seperti gerakan pahat untuk membuat poros lurus pada Gambar 6.21.).
- 9) Majukan pahat untuk kedalaman potong berikutnya dengan memajukan eretan atas.
- 10) Langkah dilanjutkan seperti No. 7) sampai kedalaman ulir maksimal tercapai.
- 11) Pada kedalaman ulir maksimal proses penyayatan perlu dilakukan berulang-ulang agar beram yang tersisa terpotong semuanya.

12) Setelah selesai proses pembuatan ulir, hasil yang diperoleh dicek ukurannya (diameter mayor, kisar, diameter minor, dan sudut ulir).

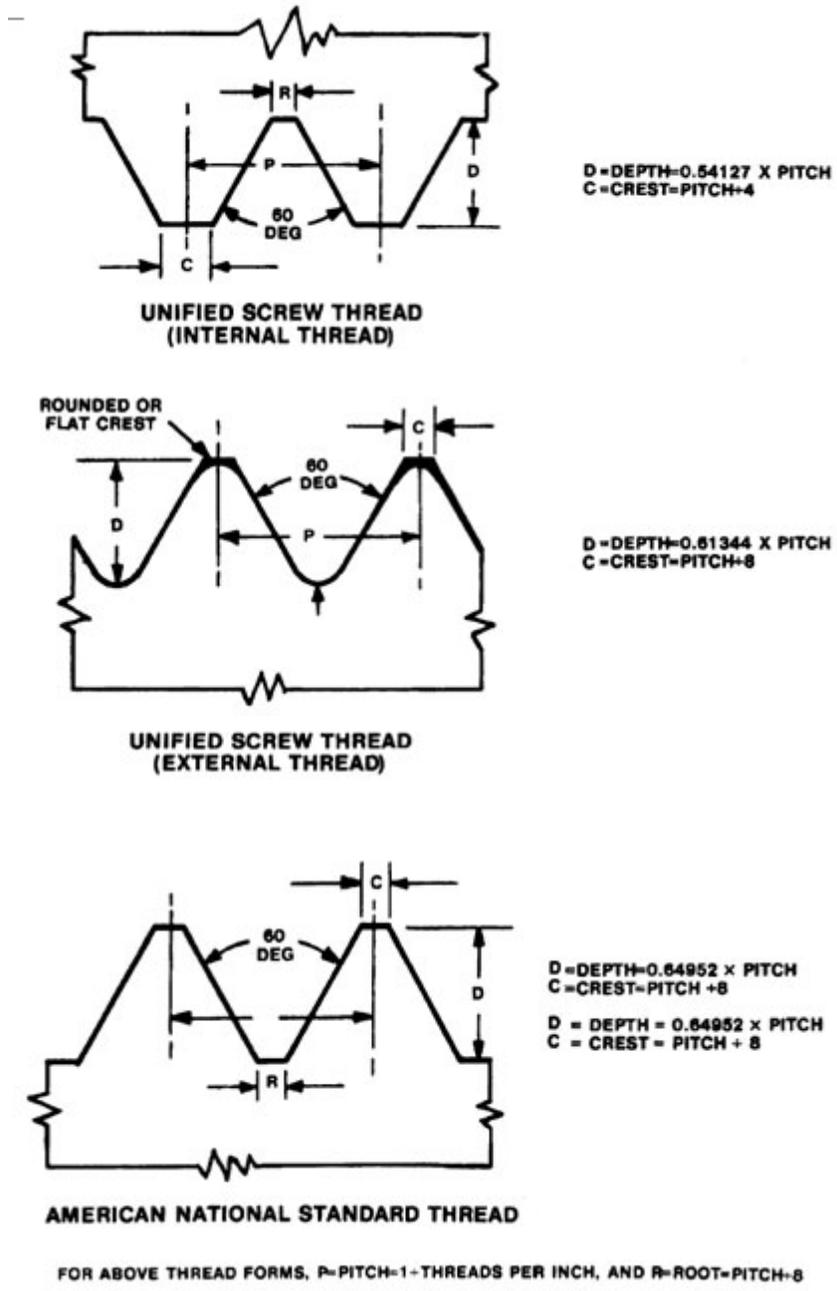
c. Pembuatan ulir ganda

Pembuatan ulir di atas adalah untuk ulir tunggal. Selain ulir tunggal ada tipe ulir ganda (ganda dua dan ganda tiga). Pada dasarnya ulir ganda dan ulir tunggal dimensinya sama, perbedaannya ada pada *pitch* dan kisar (Gambar 6.34). Pada ulir tunggal *pitch* dan kisar (*lead*) sama. Pengertian kisar adalah jarak memanjang sejajar sumbu yang ditempuh batang berulir (baut) bila diputar 360° (satu putaran). Pengertian *pitch* adalah jarak dua puncak profil ulir. Pada ulir kanan tunggal bila sebuah baut diputar satu putaran searah jarum jam, maka baut akan bergerak ke kiri sejauh kisar (Gambar 6.34). Apabila baut tersebut memiliki ulir kanan ganda dua, maka bila baut tersebut diputar satu putaran akan bergerak ke kiri sejauh kisar (dua kali *pitch*).

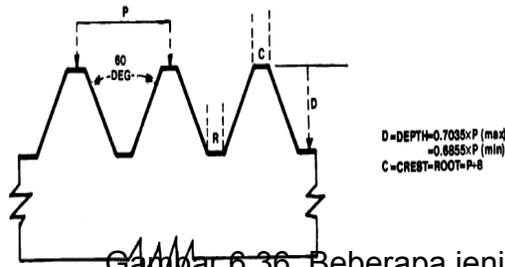
Bentuk-bentuk profil ulir yang telah distandarkan ada banyak. Proses pembuatannya pada prinsipnya sama dengan yang telah diuraikan di atas. Gambar 6.35 - 6.37 berikut ditunjukkan gambar bentuk profil ulir dan dimensinya.



Gambar 6.34. *Single thread, double thread dan triple thread.*

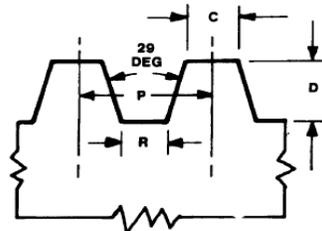


Gambar 6 35. Beberapa jenis bentuk profil ulir (1).



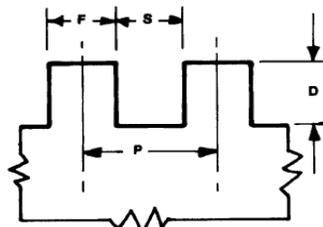
Gambar 6.36. Beberapa jenis bentuk profil ulir (2).

**INTERNATIONAL METRIC THREAD
(SPARK PLUG THREAD)**



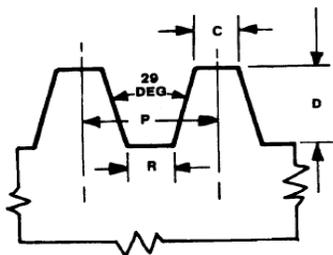
$D = \text{DEPTH} = 1/2 \text{ PITCH} + 0.01 \text{ INCH}$
 $C = \text{CREST} = 0.03707 \times \text{PITCH}$
 $R = \text{ROOT} = \text{CREST} - 0.0052 \text{ INCH}$

ACME SCREW THREAD



$D = \text{DEPTH} = 1/2 \text{ PITCH}$
 $F = \text{FLAT} = 1/2 \text{ PITCH}$
 $S = \text{SPACE} =$
 FOR SCREW : $1/2 \text{ PITCH}$
 FOR NUT : $1/2 \text{ PITCH} + 0.001$
 TO 0.002 INCH
 CLEARANCE

SQUARE SCREW THREAD

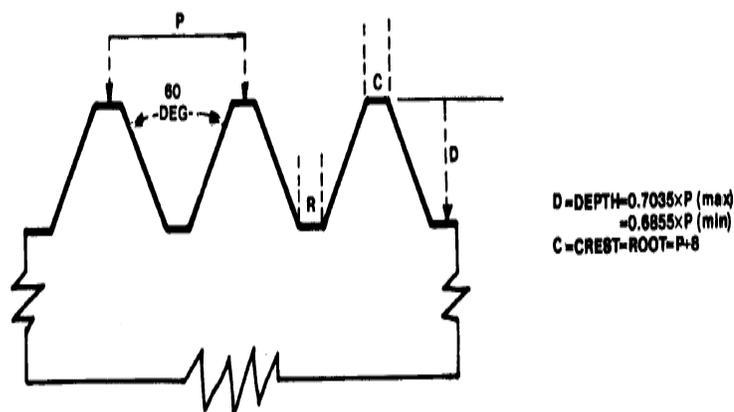


$D = \text{DEPTH} = 0.6866 \times \text{PITCH}$
 $C = \text{CREST} = 0.335 \times \text{PITCH}$
 $R = \text{ROOT} = 0.310 \times \text{PITCH}$

**29-DEG WORM SCREW THREAD
(BROWN AND SHARPE)**

FOR ABOVE THREAD FORMS, $P = \text{PITCH} = 1 / \text{THREADS PER INCH}$

Gambar 6.36. Beberapa jenis bentuk profil ulir (1).

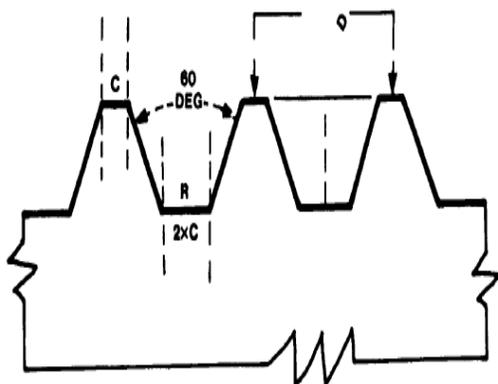


$$D = \text{DEPTH} = 0.7035 \times P \text{ (max)}$$

$$= 0.6855 \times P \text{ (min)}$$

$$C = \text{CREST} = \text{ROOT} = P/8$$

**INTERNATIONAL METRIC THREAD
(SPARK PLUG THREAD)**



$$D = \text{DEPTH} = 0.54127 \times P$$

$$C = \text{CREST} = P/8$$

$$R = \text{ROOT} = P/4$$

ISO METRIC THREAD STANDARD

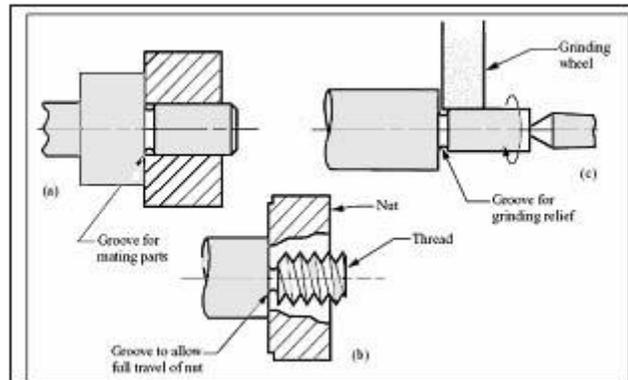
Gambar 6.37. Beberapa jenis bentuk profil ulir (3).

8. Perencanaan Proses Membubut Alur

Alur (*grooving*) pada benda kerja dibuat dengan tujuan untuk memberi kelonggaran ketika memasang dua buah elemen mesin, membuat baut dapat bergerak penuh, dan memberi jarak bebas pada proses gerinda terhadap suatu poros, (Gambar 6.38.). Dimensi alur ditentukan berdasarkan dimensi benda kerja dan fungsi dari alur tersebut.

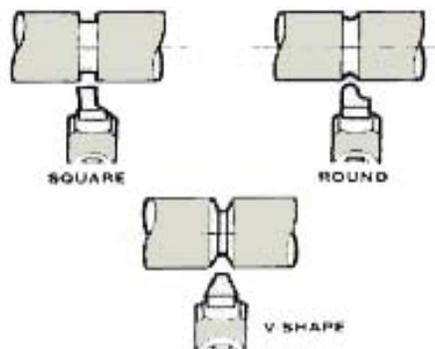
Bentuk alur ada tiga macam yaitu kotak, melingkar, dan V (Gambar 6.39). Untuk bentuk-bentuk alur tersebut pahat yang digunakan diasah dengan mesin gerinda disesuaikan dengan bentuk alur yang akan

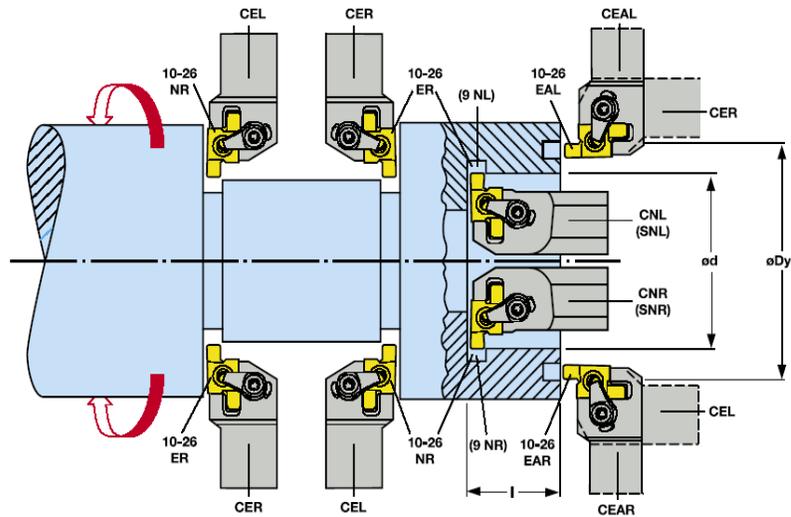
dibuat. Kecepatan potong yang digunakan ketika membuat alur sebaiknya setengah dari kecepatan potong bubut rata. Hal tersebut dilakukan karena bidang potong proses pengaluran relatif lebar. Alur bisa dibuat pada beberapa bagian benda kerja baik di bidang memanjang maupun pada bidang melintangnya, dengan menggunakan pahat kanan maupun pahat kiri, (Gambar 6.40.)



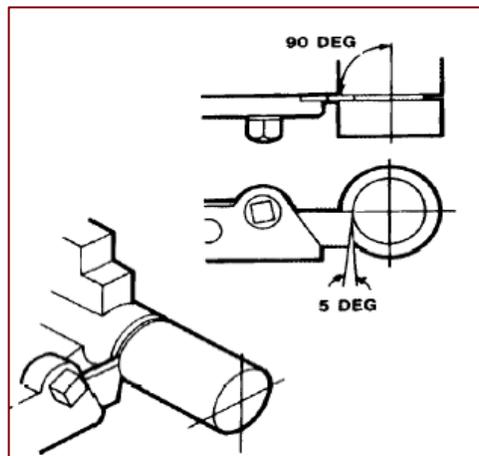
Gambar 6 38. Alur untuk : (a) pasangan poros dan lubang, (b) pergerakan baut agar penuh, (c) jarak bebas proses pengerindaan poros.

Proses yang identik dengan pembuatan alur adalah proses pemotongan benda kerja (*parting*). Proses pemotongan ini dilakukan ketika benda kerja selesai dikerjakan dengan bahan asal benda kerja yang relatif panjang (Gambar 6.41).





Gambar 6 39. Alur bisa dibuat pada bidang memanjang atau melintang.



Gambar 6 40. Proses pemotongan benda kerja (*parting*).

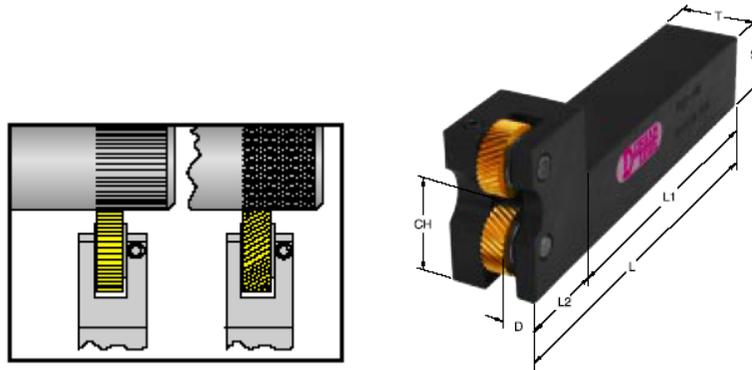
Beberapa petunjuk penting yang harus diperhatikan ketika melakukan pembuatan alur atau proses pemotongan benda kerja adalah:

- a. Cairan pendingin diberikan sebanyak mungkin
- b. Ujung pahat diatur pada sumbu benda kerja
- c. Posisi pahat atau pemegang pahat tepat 90° terhadap sumbu benda kerja (Gambar 6.41)

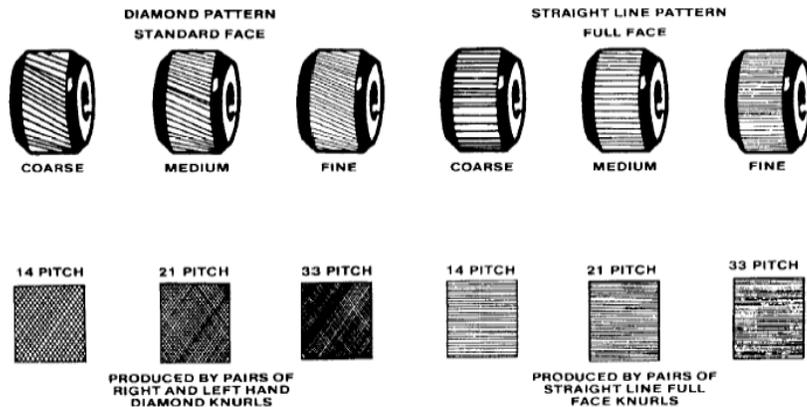
- d. Panjang pemegang pahat atau pahat yang menonjol ke arah benda kerja sependek mungkin agar pahat atau benda kerja tidak bergetar
- e. Dipilih batang pahat yang terbesar
- f. Kecepatan potong dikurangi (50% dari kecepatan potong bubut rata)
- g. Gerak makan dikurangi (20% dari gerak makan bubut rata)
- h. Untuk alur aksial, penyayatan pertama dimulai dari diameter terbesar untuk mencegah berhentinya pembuangan beram.

9. Perencanaan Proses Membubut/Membuat Kartel

Kartel (*knurling*) adalah proses membuat injakan ke permukaan benda kerja berbentuk berlian (*diamond*) atau garis lurus beraturan untuk memperbaiki penampilan atau memudahkan dalam pemegangan (Gambar 6.42). Bentuk injakan kartel (Gambar 6.43) ada dalam berbagai ukuran yaitu kasar (*14 pitch*), medium (*21 pitch*), dan halus (*33 pitch*).



Gambar 6 41. Proses pembuatan kartel bentuk lurus, berlian, dan alat pahat kartel.



Gambar 6 42. Bentuk dan kisar injakan kartel.

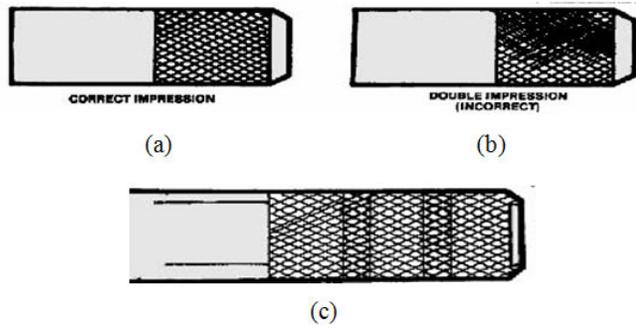
Pembuatan injakan kartel dimulai dengan mengidentifikasi lokasi dan panjang bagian yang akan dikartel, kemudian mengatur mesin untuk proses kartel. Putaran spindel diatur pada kecepatan rendah (antara 60-80 rpm) dan gerak makan medium (sebaiknya 0,2 sampai 0,4 mm per putaran spindel). Pahat kartel harus dipasang pada tempat pahat dengan sumbu dari kepalanya setinggi sumbu Mesin Bubut, dan permukaannya paralel dengan permukaan benda kerja. Harus dijaga bahwa rol pahat kartel dapat bergerak bebas dan pada kondisi pemotongan yang bagus, kemudian pada roda pahat yang kontak dengan benda kerja harus diberi pelumas.

Agar supaya tekanan awal pada pahat kartel menjadi kecil, sebaiknya ujung benda kerja dibuat pinggul (*chamfer*), lihat Gambar 6.44. dan kontak awal untuk penyetulan hanya setengah dari lebar pahat kartel. Dengan cara demikian awal penyayatan menjadi lembut. Kemudian pahat ditarik mundur dan dibawa ke luar benda kerja.



Gambar 6 43. Benda kerja dibuat menyudut pada ujungnya agar tekanan pada pahat kartel menjadi kecil dan penyayatannya lembut.

Setelah semua diatur, maka spindel Mesin Bubut kemudian diputar, dan pahat kartel didekatkan ke benda kerja menyentuh benda sekitar 2 mm, kemudian gerak makan dijalankan otomatis. Setelah benda kerja berputar beberapa kali (misalnya 20 kali), kemudian Mesin Bubut dihentikan. Hasil proses kartel dicek apakah hasilnya bagus atau ada bekas injakan yang ganda (Gambar 6.45.). Apabila hasilnya sudah bagus, maka mesin dijalankan lagi. Apabila hasilnya masih ada bekas injakan ganda, maka sebaiknya benda kerja dibubut rata lagi, kemudian diatur untuk membuat kartel lagi. Selama proses penyayatan kartel, gerak makan pahat tidak boleh dihentikan jika spindel masih berputar, karena di permukaan benda kerja akan muncul ring/cincin (Gambar 6.45(c)). Apabila ingin menghentikan proses, misalnya untuk memeriksa hasil, maka mesin dihentikan dengan menginjak rem.

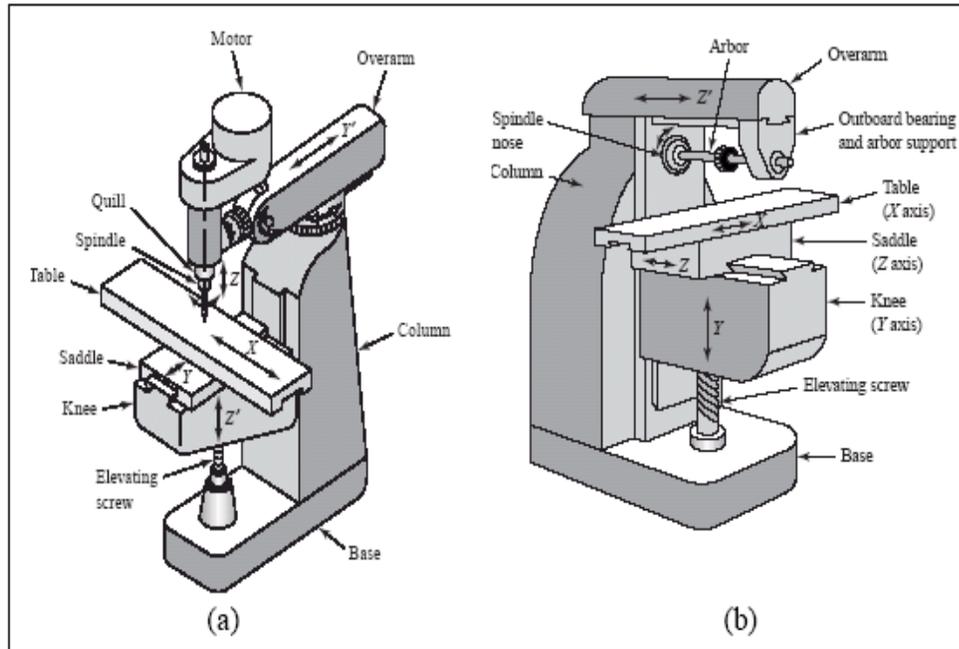


Gambar 6 44. (a) Injakan kartel yang benar, (b) injakan kartel ganda (salah), dan (c) cincin yang ada pada benda kerja karena berhentinya gerakan pahat kartel sementara benda kerja tetap berputar.



BAB 7 **MENGENAL PROSES FRAIS** **(*MILLING*)**

Proses pemesinan frais (*milling*) adalah proses penyayatan benda kerja menggunakan alat potong dengan mata potong jamak yang berputar. Proses penyayatan dengan gigi potong yang banyak yang mengitari pisau ini bisa menghasilkan proses pemesinan lebih cepat. Permukaan yang disayat bisa berbentuk datar, menyudut, atau melengkung. Permukaan benda kerja bisa juga berbentuk kombinasi dari beberapa bentuk. Mesin (Gambar 7.1.) yang digunakan untuk memegang benda kerja, memutar pisau, dan penyayatannya disebut Mesin Frais (*Milling Machine*).



Gambar 7 1. Skematik dari gerakan-gerakan dan komponen-komponen dari (a) Mesin Frais vertical tipe *column and knee*, dan (b) Mesin Frais horizontal tipe *column and knee*.

Mesin Frais (Gambar 7.2.) ada yang dikendalikan secara mekanis (konvensional manual) dan ada yang dengan bantuan CNC. Mesin konvensional manual posisi spindelnya ada dua macam yaitu horizontal dan vertical. Sedangkan Mesin Frais dengan kendali CNC hampir semuanya adalah Mesin Frais vertical (beberapa jenis Mesin Frais dapat dilihat pada Lampiran 3) .



Gambar 7 2. Mesin Frais *turret vertical horizontal*.

A. Klasifikasi Proses Frais

Proses frais dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis. Klasifikasi ini berdasarkan jenis pisau, arah penyayatan, dan posisi relatif pisau terhadap benda kerja (Gambar 7.3).

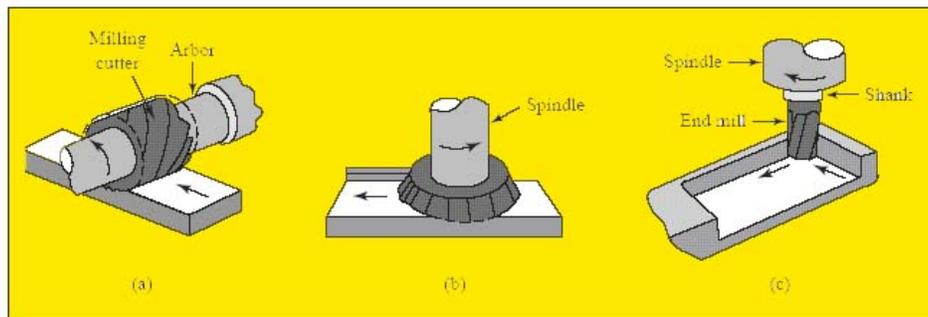


FIGURE 12.2: The three basic milling operations: (a) milling, (b) face milling, (c) end milling

Gambar 7 3. Tiga klasifikasi proses frais : (a) Frais periperal (*slab milling*), (b) frais muka (*face milling*), dan (c) frais jari (*end milling*).

1. Frais Periperal (*Slab Milling*)

Proses frais ini disebut juga *slab milling*, permukaan yang difrais dihasilkan oleh gigi pisau yang terletak pada permukaan luar badan alat potongnya. Sumbu dari putaran pisau biasanya pada bidang yang sejajar dengan permukaan benda kerja yang disayat.

2. Frais Muka (*Face Milling*)

Pada frais muka, pisau dipasang pada spindel yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap permukaan benda kerja. Permukaan

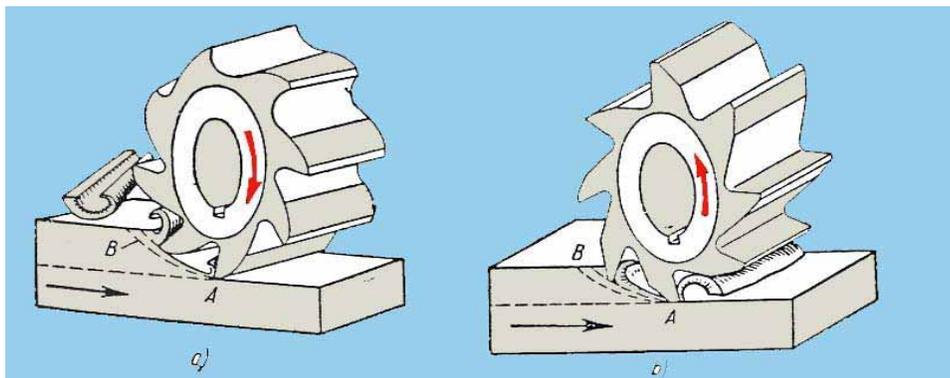
hasil proses frais dihasilkan dari hasil penyayatan oleh ujung dan selubung pisau.

3. Frais Jari (End Milling)

Pisau pada proses frais jari biasanya berputar pada sumbu yang tegak lurus permukaan benda kerja. Pisau dapat digerakkan menyudut untuk menghasilkan permukaan menyudut. Gigi potong pada pisau terletak pada selubung pisau dan ujung badan pisau.

B. Metode Proses Frais

Metode proses frais ditentukan berdasarkan arah relatif gerak makan meja Mesin Frais terhadap putaran pisau (Gambar 7.4.). Metode proses frais ada dua yaitu frais naik dan frais turun.



Gambar 7 4. (a)Frais naik (*up milling*) dan (b) frais turun (*down milling*).

1. Frais Naik (*Up Milling*)

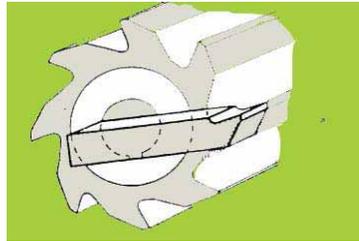
Frais naik biasanya disebut frais konvensional (*conventional milling*). Gerak dari putaran pisau berlawanan arah terhadap gerak makan meja Mesin Frais (Gambar 7.4.). Sebagai contoh, pada proses frais naik apabila pisau berputar searah jarum jam, benda kerja disayat ke arah kanan. Penampang melintang bentuk beram (*chips*) untuk proses frais naik adalah seperti koma diawali dengan ketebalan minimal kemudian menebal. Proses frais ini sesuai untuk Mesin Frais konvensional/manual, karena pada mesin konvensional *backlash* ulir transportirnya relatif besar dan tidak dilengkapi *backlash compensation*.

2. Frais Turun (*Down Milling*)

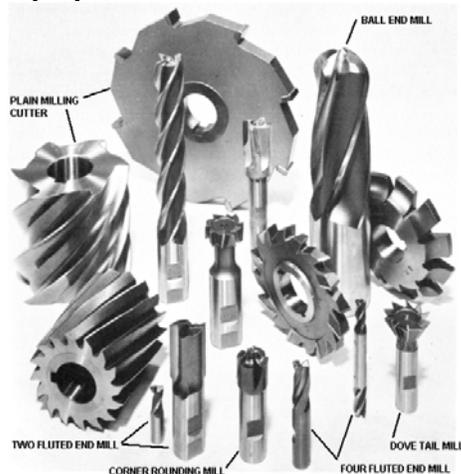
Proses frais turun dinamakan juga *climb milling*. Arah dari putaran pisau sama dengan arah gerak makan meja Mesin Frais. Sebagai contoh

jika pisau berputar berlawanan arah jarum jam, benda kerja disayat ke kanan. Penampang melintang bentuk beram (*chips*) untuk proses frais naik adalah seperti koma diawali dengan ketebalan maksimal kemudian menipis. Proses frais ini sesuai untuk Mesin Frais CNC, karena pada mesin CNC gerakan meja dipandu oleh ulir dari bola baja, dan dilengkapi *backlash compensation*. Untuk Mesin Frais konvensional tidak direkomendasikan melaksanakan proses frais turun, karena meja Mesin Frais akan tertekan dan ditarik oleh pisau.

Proses pemesinan dengan Mesin Frais merupakan proses penyayatan benda kerja yang sangat efektif, karena pisau frais memiliki sisi potong jamak. Apabila dibandingkan dengan pisau bubut, maka pisau frais analog dengan beberapa buah pisau bubut (Gambar 7.5.). Pisau frais dapat melakukan penyayatan berbagai bentuk benda kerja, sesuai dengan pisau yang digunakan. Proses meratakan bidang, membuat alur lebar sampai dengan membentuk alur tipis bisa dilakukan oleh pisau frais (Gambar 7.6.).



Gambar 7 5. Pisau frais identik dengan beberapa pahat bubut.



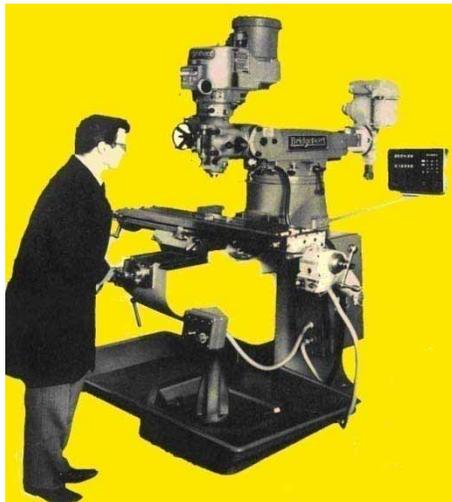
Gambar 7 6. Berbagai jenis bentuk pisau frais untuk Mesin Frais horizontal dan vertical.

C. Jenis Mesin Frais

Mesin Frais yang digunakan dalam proses pemesinan ada tiga jenis, yaitu :

1. *Column and knee milling machines*
2. *Bed type milling machines*
3. *Special purposes*

Mesin jenis *column and knee* dibuat dalam bentuk Mesin Frais vertical dan horizontal (lihat Gambar 7.7.). Kemampuan melakukan berbagai jenis pemesinan adalah keuntungan utama pada mesin jenis ini. Pada dasarnya pada mesin jenis ini meja (*bed*), sadel, dan lutut (*knee*) dapat digerakkan. Beberapa asesoris seperti cekam, meja putar, kepala pembagi menambah kemampuan dari Mesin Frais jenis ini. Walaupun demikian mesin ini memiliki kekurangan dalam hal kekakuan dan kekuatan penyayatannya. Mesin Frais tipe *bed (bed type)* memiliki produktivitas yang lebih tinggi dari pada jenis Mesin Frais yang pertama. Kekakuan mesin yang baik, serta tenaga mesin yang biasanya relatif besar, menjadikan mesin ini banyak digunakan pada perusahaan manufaktur (Gambar 7.8.). Mesin Frais tersebut pada saat ini telah banyak yang dilengkapi dengan pengendali CNC untuk meningkatkan produktivitas dan fleksibilitasnya.

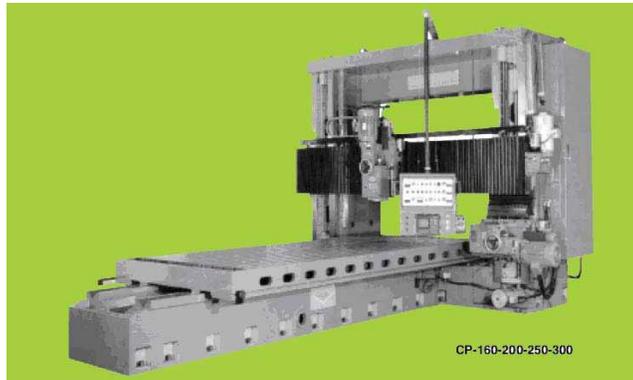


Gambar 7 8. Mesin Frais tipe *column and knee*

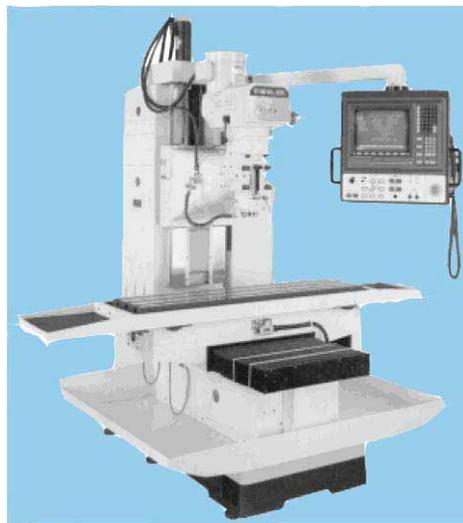


Gambar 7 7. . Mesin Frais tipe *bed*.

Produk pemesinan di industri pemesinan semakin kompleks, maka Mesin Frais jenis baru dengan bentuk yang tidak biasa telah dibuat. Mesin Frais tipe khusus ini (contoh pada Gambar 7.9.), biasanya digunakan untuk keperluan mengerjakan satu jenis penyayatan dengan produktivitas/duplikasi yang sangat tinggi. Mesin tersebut misalnya Mesin Frais profil, Mesin Frais dengan spindel ganda (dua, tiga, sampai lima spindel), dan Mesin Frais planer. Dengan menggunakan Mesin Frais khusus ini maka produktivitas mesin sangat tinggi, sehingga ongkos produksi menjadi rendah, karena mesin jenis ini tidak memerlukan *setting* yang rumit.



Gambar 7 9. Mesin Frais tipe khusus (*special purposes*). Mesin Frais dengan dua buah spindel.



Gambar 7 10. Mesin Frais CNC tipe bed (*bed type CNC milling machine*).

Selain Mesin Frais manual, pada saat ini telah dibuat Mesin Frais dengan jenis yang sama dengan mesin konvensional tetapi menggunakan kendali CNC (*Computer Numerically Controlled*). Dengan bantuan kendali CNC (Gambar 7.10.), maka Mesin Frais menjadi sangat fleksibel dalam mengerjakan berbagai bentuk benda kerja, efisien waktu dan biaya yang diperlukan, dan produk yang dihasilkan memiliki ketelitian tinggi. Beberapa Mesin Frais yang lain dapat dilihat pada Lampiran 7.

D. Parameter yang Dapat Diatur pada Mesin Frais

Maksud dari parameter yang dapat diatur adalah parameter yang dapat langsung diatur oleh operator mesin ketika sedang mengoperasikan Mesin Frais. Seperti pada Mesin Bubut, maka parameter yang dimaksud adalah putaran spindel (n), gerak makan (f), dan kedalaman potong (a). Putaran spindel bisa langsung diatur dengan cara mengubah posisi *handle* pengatur putaran mesin. Gerak makan bisa diatur dengan cara mengatur *handle* gerak makan sesuai dengan tabel f yang ada di mesin. Gerak makan (Gambar 7.11) ini pada proses frais ada dua macam yaitu gerak makan per gigi (mm/gigi), dan gerak makan per putaran (mm/putaran). Kedalaman potong diatur dengan cara menaikkan benda kerja, atau dengan cara menurunkan pisau.

Putaran spindel (n) ditentukan berdasarkan kecepatan potong. Kecepatan potong ditentukan oleh kombinasi material pisau dan material benda kerja. Kecepatan potong adalah jarak yang ditempuh oleh satu titik (dalam satuan meter) pada selubung pisau dalam waktu satu menit. Rumus kecepatan potong identik dengan rumus kecepatan potong pada mesin bubut. Pada proses frais besarnya diameter yang digunakan adalah diameter pisau. Rumus kecepatan potong :

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \dots\dots\dots(3.1)$$

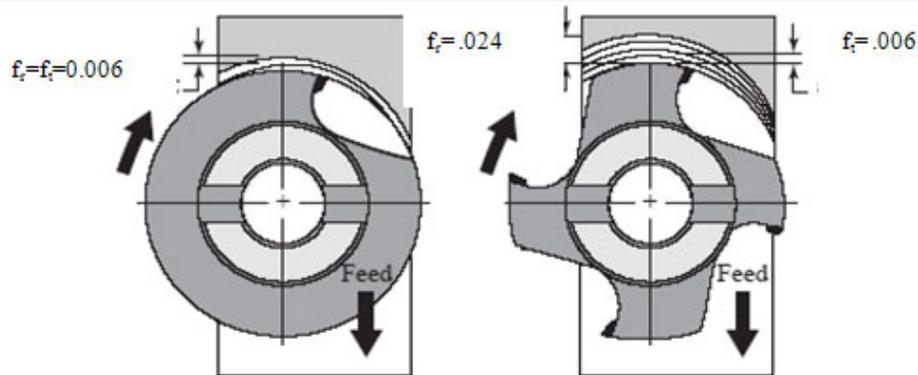
Di mana :

- v = kecepatan potong (m/menit)
- d = diameter pisau (mm)
- n = putaran benda kerja (putaran/menit)

Setelah kecepatan potong diketahui, maka gerak makan harus ditentukan. Gerak makan (f) adalah jarak lurus yang ditempuh pisau dengan laju konstan relatif terhadap benda kerja dalam satuan waktu, biasanya satuan gerak makan yang digunakan adalah mm/menit.

Kedalaman potong (a) ditentukan berdasarkan selisih tebal benda kerja awal terhadap tebal benda kerja akhir. Untuk kedalaman potong

yang relatif besar diperlukan perhitungan daya potong yang diperlukan untuk proses penyayatan. Apabila daya potong yang diperlukan masih lebih rendah dari daya yang disediakan oleh mesin (terutama motor listrik), maka kedalaman potong yang telah ditentukan bisa digunakan.

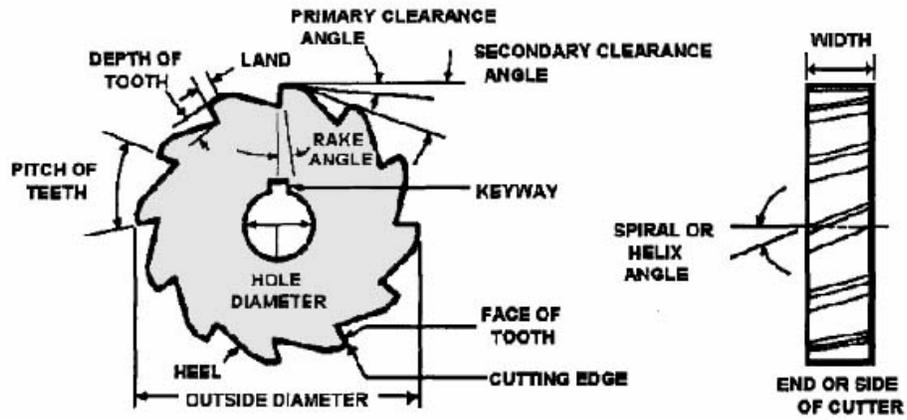


Gambar 7 11. Gambar jalur pisau frais menunjukkan perbedaan antara gerak makan per gigi (f_t) dan gerak makan per putaran (f_r).

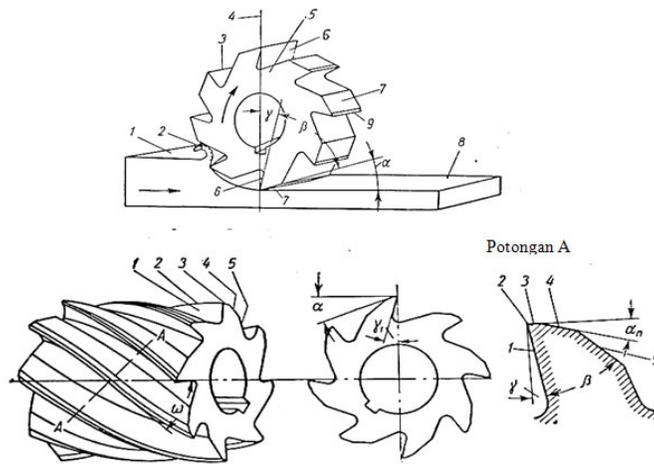
E. Geometri Pisau Frais

Pada dasarnya bentuk pisau frais adalah identik dengan pisau bubut. Dengan demikian nama sudut atau istilah yang digunakan juga sama dengan pisau bubut. Nama-nama bagian pisau frais rata dan geometri gigi pisau frais rata ditunjukkan pada Gambar 7.12. Pisau frais memiliki bentuk yang rumit karena terdiri dari banyak gigi potong, karena proses pemotongannya adalah proses pemotongan dengan mata potong majemuk (Gambar 7.13.). Jumlah gigi minimal adalah dua buah pada pisau frais ujung (*end mill*).

Pisau untuk proses frais dibuat dari material HSS atau karbida. Material pisau untuk proses frais pada dasarnya sama dengan material pisau untuk pisau bubut. Untuk pisau karbida juga digolongkan dengan kode P, M, dan K. Pisau frais karbida bentuk sisipan dipasang pada tempat pisau sesuai dengan bentuknya. Standar ISO untuk bentuk dan ukuran pisau sisipan dapat dilihat pada Gambar 7.14. Standar tersebut mengatur tentang bentuk sisipan, sudut potong, toleransi bentuk, pemutus tatal (*chipbreaker*), panjang sisi potong, tebal sisipan, sudut bebas, arah pemakanan, dan kode khusus pembuat pisau. Pisau sisipan yang telah dipasang pada pemegang pisau dapat dilihat pada Gambar 7.15.



Gambar 7 12. Bentuk dan nama-nama bagian pisau frais rata.



Gambar 7 13.

S
E
K
R
12
04
AZ

WM

12345678910

1 Insert shape

2 Clearance angle on major cutting edge

4 Chipbreaker and clamp type

3 Tolerances

Letter symbol	Tolerances, mm		
	m	s	IC
A ¹⁾	±0,005	±0,025	±0,025
F ¹⁾	±0,005	±0,025	±0,013
C ¹⁾	±0,013	±0,025	±0,025
H	±0,013	±0,025	±0,013
E	±0,025	±0,025	±0,025
G	±0,025	±0,13	±0,025
J ¹⁾	±0,005	±0,025	±0,05 ²⁾ ±0,13 ²⁾
K ¹⁾	±0,013	±0,025	±0,05 ²⁾ ±0,13 ²⁾
L ¹⁾	±0,025	±0,025	±0,05 ²⁾ ±0,13 ²⁾
M	±0,08 ²⁾ ±0,18 ²⁾	±0,13	±0,05 ²⁾ ±0,13 ²⁾
N	±0,08 ²⁾ ±0,18 ²⁾	±0,025	±0,05 ²⁾ ±0,13 ²⁾
U	±0,13 ²⁾ ±0,38 ²⁾	±0,13	±0,08 ²⁾ ±0,25 ²⁾

IC: theoretical diameter of inscribed circle
s: insert thickness
m: see fig.

¹⁾ These tolerance classes normally apply to inserts with parallel land.
²⁾ The tolerance is dependent upon the insert size and should be indicated for each insert according to the standard tolerance for the corresponding size. See tables below.

5 Cutting edge length, l mm

Integers to be preceded by 0, eg. 9,52 mm indicated with 09

6 Insert thickness, s mm

01 s = 1,59	04 s = 4,76
T1 s = 1,98	05 s = 5,56
02 s = 2,38	06 s = 6,35
03 s = 3,18	07 s = 7,94
T3 s = 3,97	09 s = 9,52

Inscribed circle	Tolerances for m		Tolerances for IC	
	class M	class U	class M, J, K, L	class U
6,35	±0,08	±0,13	±0,05	±0,08
9,525 (10)	±0,08	±0,13	±0,05	±0,08
12,7 (12)	±0,13	±0,20	±0,08	±0,13
15,875 (16)	±0,15	±0,27	±0,10	±0,18
19,05 (20)	±0,15	±0,27	±0,10	±0,18
25,4	±0,18	±0,38	±0,13	±0,25

Insert shape D

Inscribed circle	Tolerances for m	Tolerances for IC
6,35	±0,11	±0,05
9,525	±0,11	±0,05
12,70	±0,15	±0,08
15,875	±0,18	±0,10
19,5	±0,18	±0,10

7 Parallel land, clearance angle

Parallel land	Radius, mm
A - 45°	00 - Sharp
D - 60°	02 - 0.2
E - 75°	04 - 0.4
F - 85°	08 - 0.8
P - 90°	12 - 1.2
Z - Others	16 - 1.6
	20 - 2.0
	24 - 2.4
	32 - 3.2
	X - Others

M0 - Round inserts

9 Feed direction

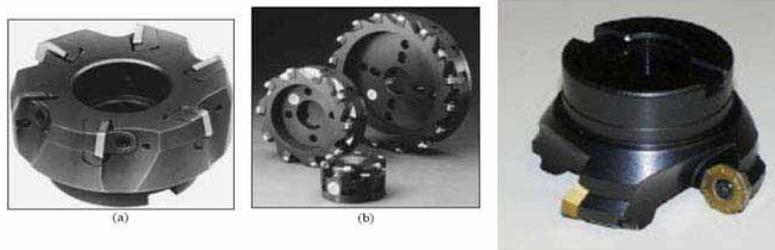
Comparison cutting edge length in mm (pos. 5) to IC in inches

	06	09	11	16	22	27	33	44
IC								
55°				09	12	15	19	25
80°			07	11	15	19	23	31
			06	09	12	16	19	25
IC	5/32"	7/32"	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"

10 Manufacturer's option

The ISO code consists of nine symbols including 8 and/or 9 which are used only when required. In addition, the manufacturer may add further symbols joined to the ISO code through a hyphen (eg. -WM for the chipbreaker design).

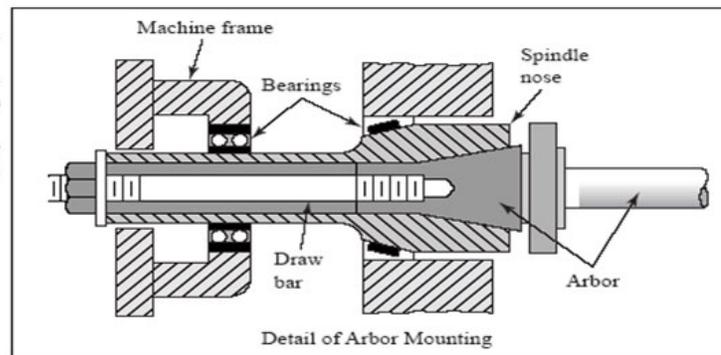
Gambar 7 14. Standar ISO pisau sisipan untuk frais (milling).



Gambar 7 15. Pisau frais bentuk sisipan dipasang pada tempat pisau yang sesuai.

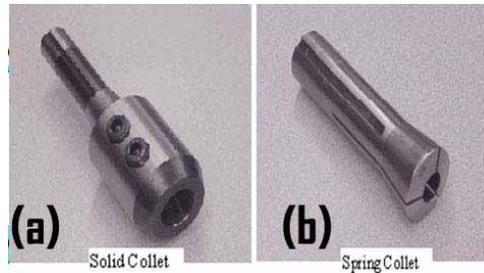
F. Peralatan dan Asesoris untuk Memegang Pisau Frais

Proses penyayatan menggunakan Mesin Frais memerlukan alat bantu untuk memegang pisau dan benda kerja. Pisau harus dicekam cukup kuat sehingga proses penyayatan menjadi efektif, agar pisau tidak mengalami selip pada pemegangnya. Pada Mesin Frais konvensional horizontal pemegang pisau adalah arbor dan poros arbor (lihat kembali Gambar 7.1). Gambar skematik arbor yang digunakan pada Mesin Frais horizontal dapat dilihat pada Gambar 7.16. Arbor ini pada porosnya diberi alur untuk menempatkan pasak sesuai dengan ukuran alur pasak pada pisau frais. Pasak yang dipasang mencegah terjadinya selip ketika pisau



Gambar 7 16. Gambar skematik arbor Mesin Frais.

menahan gaya potong yang relatif besar dan tidak kontinyu ketika gigi-gigi pisau melakukan penyayatan benda kerja. Pemegang pisau untuk Mesin Frais vertical yaitu kolet (*collet*, lihat Gambar 7.17). Kolet ini berfungsi mencekam bagian pemegang (*shank*) pisau. Bentuk kolet adalah silinder lurus di bagian dalam dan tirus di bagian luarnya. Pada sisi kolet dibuat alur tipis beberapa buah, sehingga ketika kolet dimasuki pisau bisa dengan mudah memegang pisau.



Gambar 7 17. (a) Kolet pegas yang memiliki variasi ukuran diameter, (b) kolet solid pemasangan pisau dengan baut.

Sesudah pisau dimasukkan ke kolet kemudian kolet tersebut dimasukkan ke dalam pemegang pisau (*tool holder*). Karena bentuk luar kolet tirus maka pemegang pisau akan menekan kolet dan benda kerja dengan sangat kencang, sehingga tidak akan terjadi selip ketika pisau menerima gaya potong.



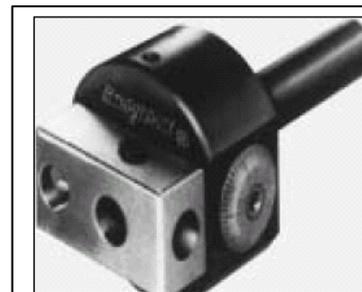
(a)



(b)

Gambar 7 18. (a) Pemegang pisau frais ujung (*end mill*) (b) pemegang pisau *shell end mill*.

Pemegang pisau (*tool holder*) standar bisa digunakan untuk memegang pisau frais ujung (*end mill*). Beberapa proses frais juga memerlukan sebuah cekam (*chuck*) untuk memegang pisau frais. Pemegang pisau ini ada dua jenis yaitu dengan ujung tirus Morse (*Morse taper*) dan lurus (Gambar 7.18). Pemegang pisau yang lain adalah kepala bor (Gambar 7.19). Kepala bor ini jarak antara ujung pisau terhadap sumbu bisa diubah-ubah, sehingga dinamakan *offset boring heads*. Pemegang pisau ini biasanya digunakan untuk proses bor (*boring*), perataan permukaan (*facing*), dan pembuatan chamfer (*chamfering*).



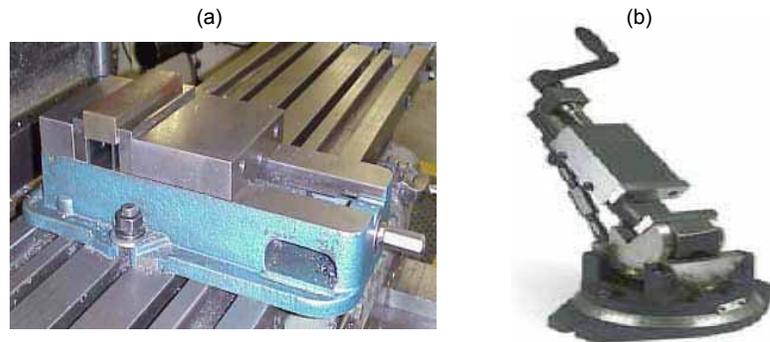
Gambar 7 19. Kepala bor (*offset boring head*).

G. Alat Pencekam dan Pemegang Benda Kerja pada Mesin Frais

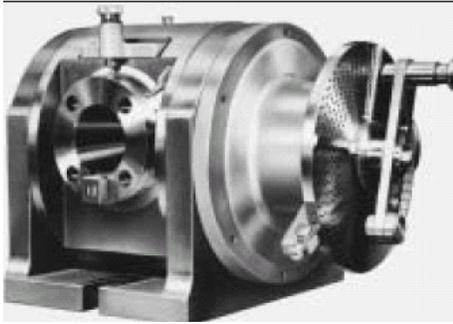
Alat pemegang benda kerja pada Mesin Frais berfungsi untuk memegang benda kerja yang sedang disayat oleh pisau frais. Pemegang benda kerja ini biasanya dinamakan ragum. Ragum tersebut diikat pada meja Mesin Frais dengan menggunakan baut T. Jenis ragum cukup banyak, penggunaannya disesuaikan dengan bentuk benda kerja yang dikerjakan di mesin. Untuk benda kerja berbentuk balok atau kubus ragum yang digunakan adalah ragum sederhana atau ragum universal (Gambar 7.20.). Ragum sederhana digunakan bila benda kerja yang dibuat bidang-bidangnya saling tegak lurus dan paralel satu sama lain (kubus, balok, balok bertingkat). Apabila digunakan untuk membuat bentuk sudut digunakan ragum universal (Gambar 7.20.), atau bila menggunakan ragum sederhana bentuk pisau yang dipakai menyesuaikan bentuk sudut yang dibuat.

Apabila bentuk benda kerja silindris, maka untuk memegang benda kerja digunakan kepala pembagi (*dividing head*). Kepala pembagi (Gambar 7.21.) ini biasanya digunakan untuk memegang benda kerja silindris, terutama untuk keperluan :

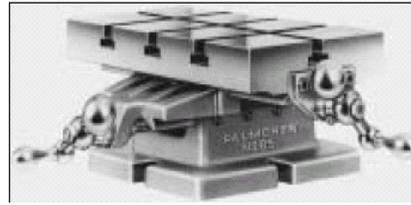
- Membuat segi banyak
- Membuat alur pasak
- Membuat roda gigi (lurus, helix, payung)
- Membuat roda gigi cacing.



Gambar 7 20. (a) Ragum sederhana (*plain vise*), (b) Ragum universal yang biasa digunakan pada ruang alat.



Gambar 7 22. Kepala pembagi (*dividing head*) untuk membuat segi banyak, roda gigi, atau helix.



Gambar 7 21. Meja yang dapat diatur sudutnya dalam beberapa arah, digunakan untuk alat bantu pengerjaan benda kerja yang memiliki sudut lebih dari satu arah.

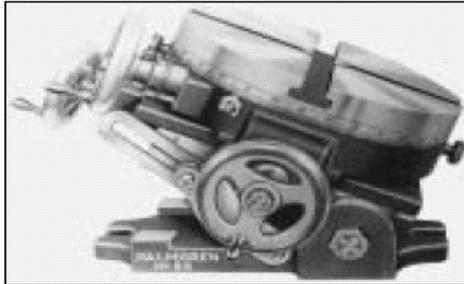
Ragum biasa yang dipasang langsung pada meja Mesin Frais hanya dapat digunakan untuk mengerjakan benda kerja lurus atau bertingkat dengan bidang datar atau tegak lurus. Apabila benda kerja yang dibuat ada bentuk sudutnya, maka ragum diletakkan pada meja yang dapat diatur sudutnya (identik dengan meja sinus). Meja tersebut (Gambar 7.22), diikat pada meja Mesin Frais .

Alat bantu pemegang benda kerja di Mesin Frais yang lain yaitu meja putar (*rotary table*). Meja putar, (Gambar 7.23) ini diletakkan di atas meja Mesin Frais, kemudian ragum atau cekam rahang tiga bisa diletakkan di atasnya. Dengan bantuan meja putar ini proses penyayatan bidang-bidang benda kerja bisa lebih cepat, karena untuk menyayat sisi-sisi benda kerja tidak usah melepas benda kerja, cukup memutar *handle* meja putar dengan sudut yang dikehendaki. Selain itu dengan meja putar ini bisa dibuat bentuk melingkar, baik satu lingkaran penuh (360°) atau kurang dari 360° .

Benda kerja yang dikerjakan di Mesin Frais tidak hanya benda kerja yang bentuknya teratur. Benda kerja yang berbentuk plat lebar, piringan dengan diameter besar dan tipis, dan benda hasil tuangan sulit dicekam dengan ragum. Untuk keperluan pemegangan benda kerja seperti itu, maka benda kerja bisa langsung diletakkan di meja Mesin Frais kemudian diikat dengan menggunakan bantuan klem (*clamp*). Berbagai bentuk klem dan baut pengikatnya biasanya digunakan untuk satu benda kerja yang relatif besar.



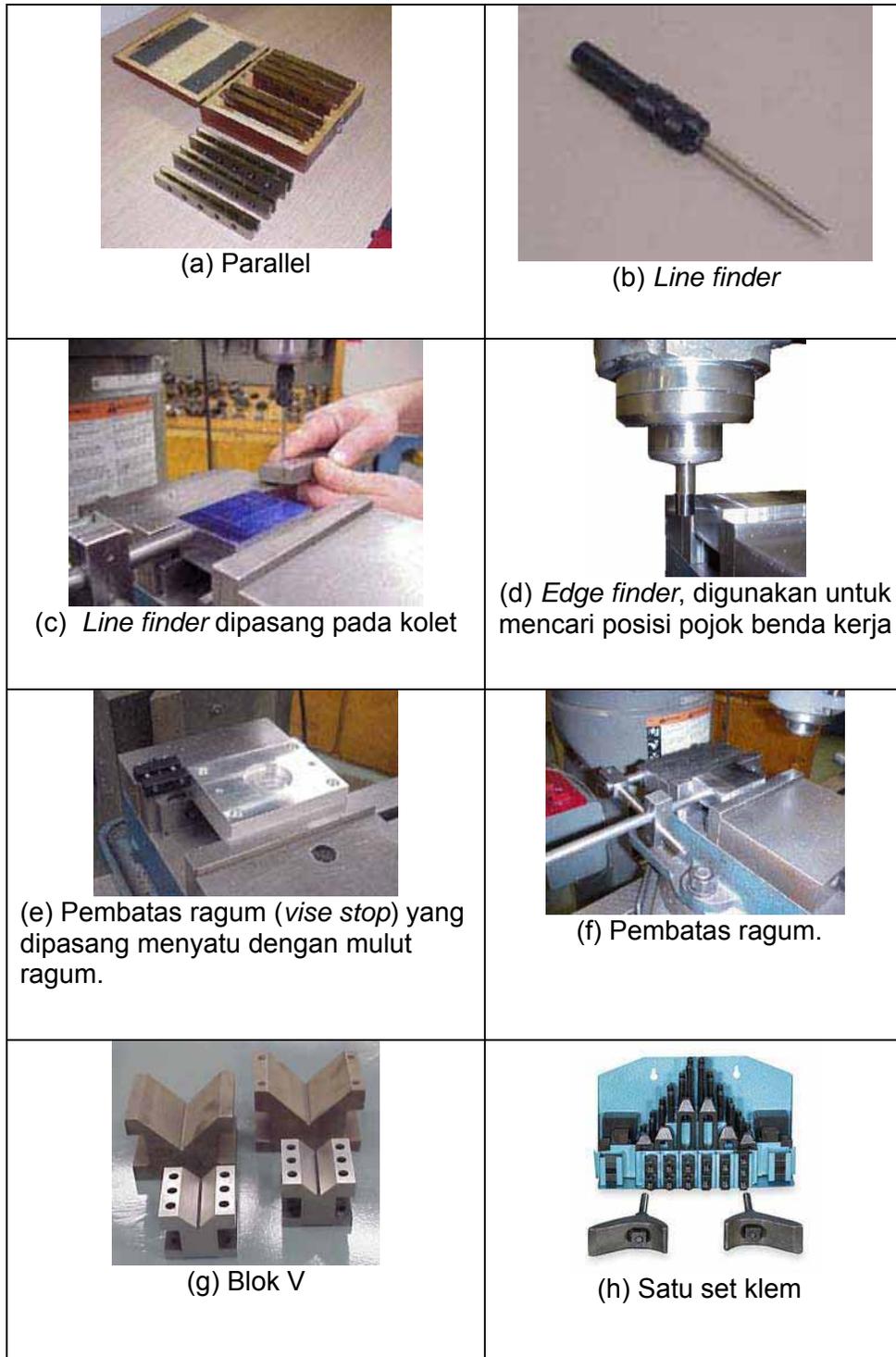
(a)



(b)

Gambar 7 23. (a) Meja putar (*rotary table*) yang bisa digunakan untuk Mesin Frais vertical maupun horizontal, (b) Meja putar yang dapat diatur sudutnya.

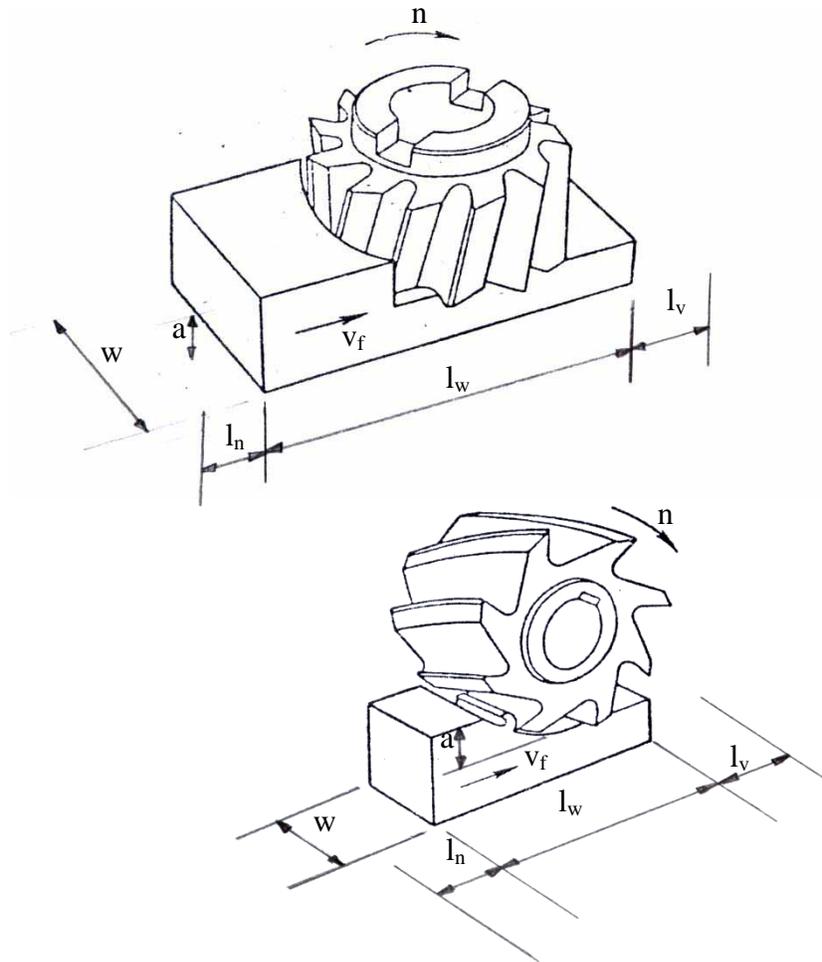
Selain pemegang benda kerja, pada Mesin Frais juga ada beberapa macam asesoris yang berguna untuk membantu pengaturan Mesin Frais, maupun penempatan benda kerja. Asesoris tersebut misalnya (a) *parallel* yang berguna untuk meninggikan posisi benda kerja pada ragum, (b) *line finder* untuk membantu mencari posisi garis pinggir benda kerja, (c) *line finder* dipasang pada kolet, (d) *edge finder* yang digunakan untuk mencari posisi pojok benda kerja, (e) pembatas ragum (*vise stop*) yang berguna untuk batas peletakan benda kerja di ragum, (f) pembatas ragum, (g) blok V untuk membantu memegang benda kerja berbentuk silindris, dan (h) klem (*clamp*) untuk membantu memegang benda kerja. Gambar perlengkapan Mesin Frais tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.24.



Gambar 7 24. Berbagai macam asesoris yang digunakan pada Mesin Frais.

H. Elemen Dasar Proses Frais

Elemen dasar proses frais hampir sama dengan elemen dasar proses bubut. Elemen diturunkan berdasarkan rumus dan Gambar 7.25. berikut :



Gambar 7.25. Gambar skematis proses frais vertical dan frais horizontal.

Keterangan :

Benda Kerja :

- w = lebar pemotongan (mm)
- l_w = panjang pemotongan (mm)
- $l_t = l_v + l_w + l_n$ (mm)
- a = kedalaman potong (mm)

Pisau Frais :

- d = diameter luar (mm)
- z = jumlah gigi/mata potong
- χ_r = sudut potong utama (90°) untuk pisau frais selubung

Mesin Frais :

- n = putaran poros utama (rpm)
- v_f = kecepatan makan (mm/putaran)

5) Kecepatan potong :

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}; m / menit \dots\dots\dots (3.2)$$

6) Gerak makan per gigi :

$$f_z = v_f / z \cdot n; mm / menit \dots\dots\dots (3.3)$$

7) Waktu pemotongan :

$$t_c = \frac{l_t}{v_f}; menit \dots\dots\dots (3.4)$$

8) Kecepatan penghasiian beram :

$$Z = v_f \cdot a \cdot w / 1000; cm^3 / menit \dots\dots\dots (3.5)$$

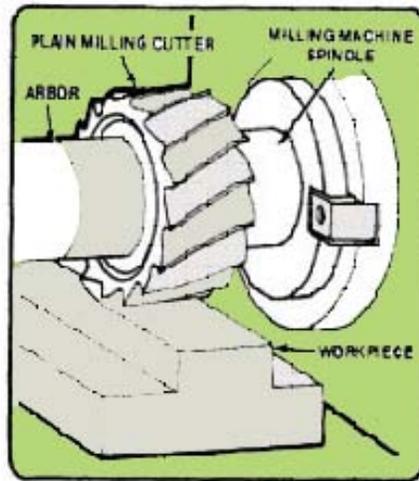
Rumus-rumus (3.2 sampai 3.5) tersebut di atas digunakan untuk perencanaan proses frais. Proses frais bisa dilakukan dengan banyak cara menurut jenis pisau yang digunakan dan bentuk benda kerjanya. Selain itu jenis Mesin Frais yang bervariasi menyebabkan analisa proses frais menjadi rumit. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan bukan hanya kecepatan potong dan gerak makan saja, tetapi juga cara pencekaman, gaya potong, kehalusan produk, getaran mesin dan getaran benda kerja. Dengan demikian hasil analisa/perencanaan merupakan pendekatan bukan merupakan hasil yang optimal.

I. Pengerjaan Benda Kerja dengan Mesin Frais

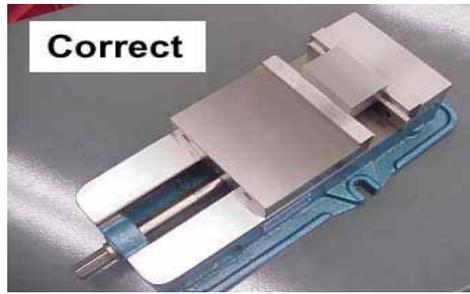
Beberapa variasi bentuk benda kerja bisa dikerjakan dengan Mesin Frais. Perencanaan proses frais dibahas satu kesatuan dengan beberapa pengerjaan proses frais.

1. Proses Frais Datar/Rata

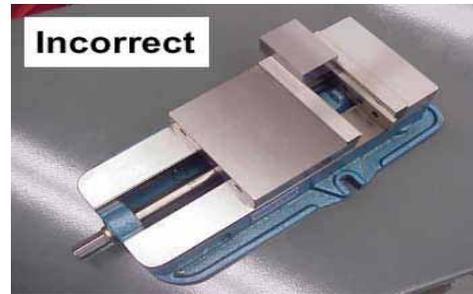
Proses frais datar/rata (dinamakan juga *surface milling* atau *slab milling*) adalah proses frais dengan sumbu pisau paralel terhadap permukaan benda kerja, (Gambar 7.26). Frais rata dilakukan dengan cara permukaan benda kerja dipasang paralel terhadap permukaan meja Mesin Frais dan pisau frais dipasang pada arbor mesin. Benda kerja dicekam dengan ragum biasa, (Gambar 7.20.), sebaiknya bagian benda kerja yang menonjol di atas ragum tidak terlalu tinggi agar benda kerja tidak bergetar, (Gambar 7.27). Arbor dipasang horizontal didukung oleh spindel mesin dan penahan arbor di sisi yang lain.



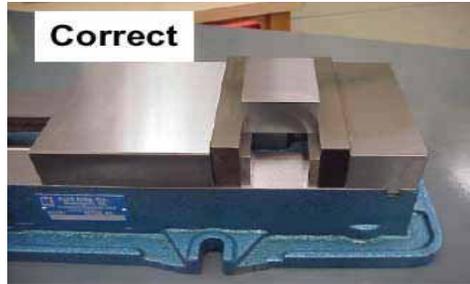
Gambar 7 26. Proses frais rata (surface/slab milling).



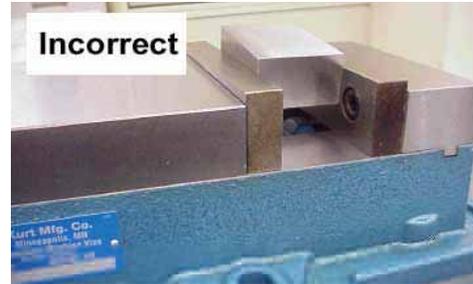
Benda kerja di tengah ragum.



Benda kerja di pinggir ragum.



Benda kerja didukung parallel.



Benda kerja tidak didukung parallel



Benda kerja yang menonjol diusahakan serendah mungkin.



Benda kerja yang menonjol terlalu tinggi.

Gambar 7 27. Cara pencekaman benda kerja, bagian kanan pencekaman yang salah (*incorrect*) dan bagian kiri pencekaman yang benar (*correct*).

Pisau yang digunakan untuk proses pengasaran (*roughing*) sebaiknya dipilih pisau frais yang ukuran giginya relatif besar, dengan kecepatan potong dipilih yang minimal dari kecepatan potong yang diijinkan untuk pasangan pisau dan benda kerja yang dikerjakan (Tabel 7.1). Untuk proses *finishing* pisau yang digunakan dipilih pisau yang memiliki gigi yang relatif kecil dengan kecepatan potong dipilih harga terbesar dari kecepatan potong yang diijinkan. Gerak makan per gigi

ditentukan berdasarkan ketebalan beram yang diinginkan (direncanakan). Tebal beram dapat dipilih berdasarkan benda kerja dan pisau yang digunakan, mesin, sistem pencekaman, dan kecepatan potong. Tebal beram untuk proses frais disarankan seperti pada Tabel 7.2.

MATERIAL	CUTTING SPEED (sfpm) _{1, 2}			
	PLAIN MILLING CUTTERS		END MILLING CUTTERS	
	Roughing	Finishing	Roughing	Finishing
Aluminum	400 to 1,000	400 to 1,000	400 to 1,000	400 to 1,000
Brass, composition	125 to 200	90 to 200	90 to 150	90 to 150
Brass, yellow	150 to 200	100 to 250	100 to 200	100 to 200
Bronze, phosphor and manganese	30 to 80	25 to 100	30 to 80	30 to 80
Cast iron (hard)	25 to 40	10 to 30	25 to 40	20 to 45
Cast iron (soft and medium)	40 to 75	25 to 80	35 to 65	30 to 80
Monel metal	50 to 75	50 to 75	40 to 60	40 to 60
Steel, hard	25 to 50	25 to 70	25 to 50	25 to 70
Steel, soft	60 to 120	45 to 110	50 to 85	45 to 100

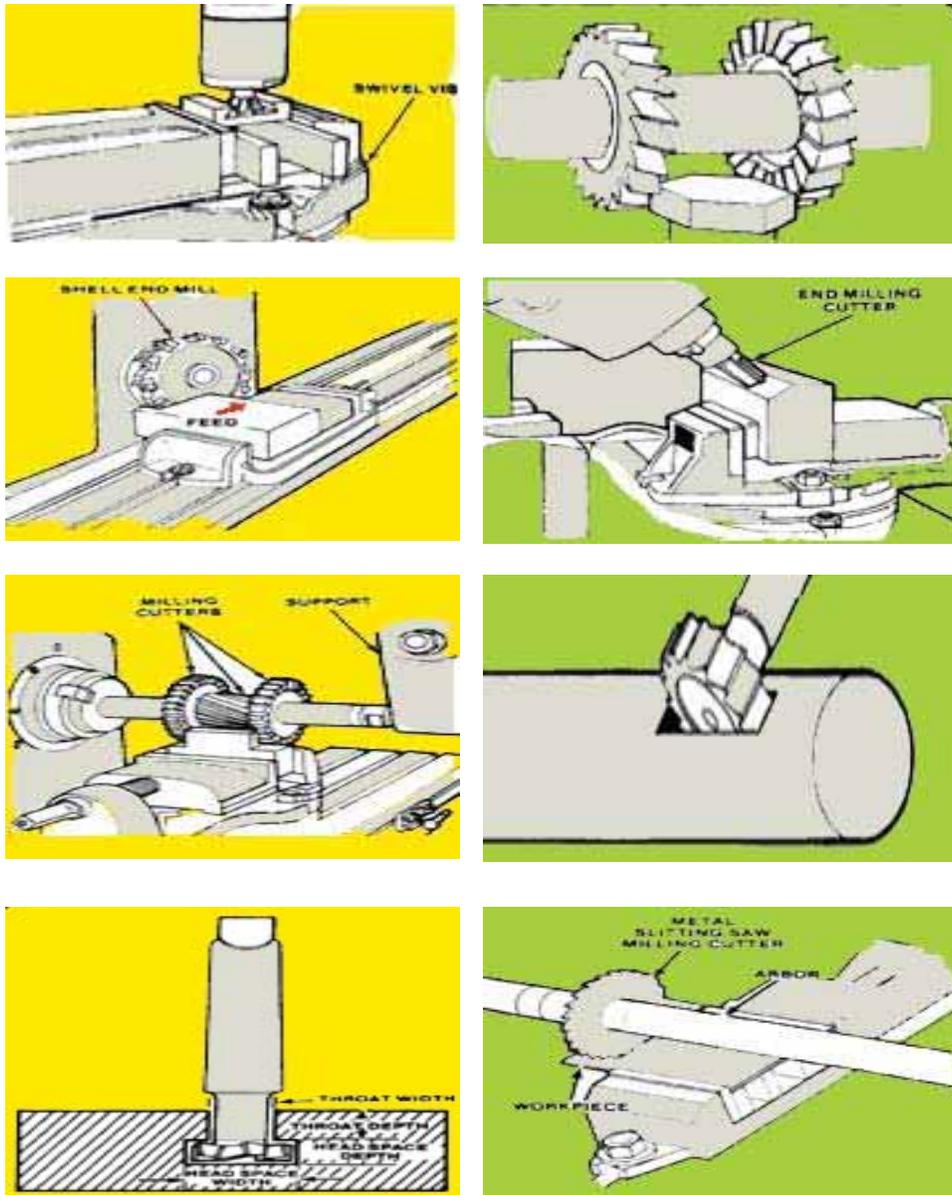
Tabel 7 1. Kecepatan potong untuk proses frais untuk pasangan benda kerja dan pisau HSS.

- Untuk pisau karbida harga kecepatan potong angka pada tabel dikalikan 2.
- Apabila satuan kecepatan potong (*cutting speed* diubah menjadi m/menit angka pada tabel dibagi 3,28).

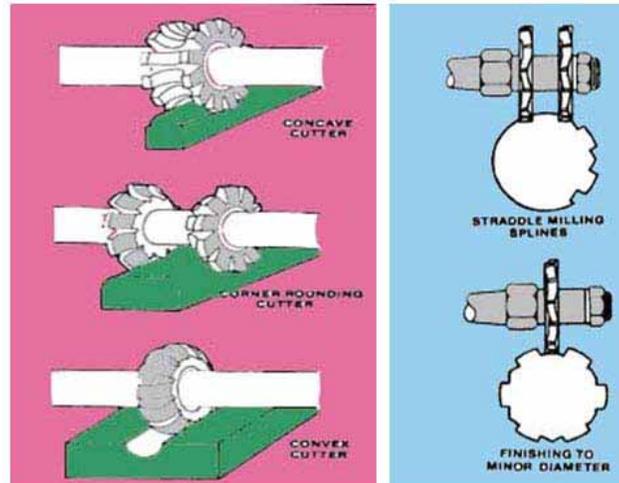
TYPE OF CUTTER	ALUMINUM		BRONZE		CAST IRON		FREE MACHINING STEEL		ALLOY STEEL	
	HSS	CAR BIDE	HSS	CAR BIDE	HSS	CAR BIDE	HSS	CAR BIDE	HSS	CAR BIDE
FACE MILLS	.007	.007	.005	.004	.004	.006	.003	.004	.002	.003
	to .022	to .020	to .014	to .012	to .016	to .020	to .012	to .016	to .008	to .014
HELICAL MILLS	.006	.006	.003	.004	.004	.002	.002	.003	.002	.003
	to .018	to .016	to .011	to .010	to .018	to .018	to .010	to .013	to .007	to .012
SIDE CUTTING MILLS	.004	.004	.003	.003	.002	.003	.002	.003	.001	.002
	to .013	to .012	to .008	to .007	to .009	to .012	to .007	to .009	to .005	to .008
END MILLS	.003	.003	.003	.002	.002	.003	.001	.002	.001	.002
	to .011	to .010	to .007	to .006	to .008	to .010	to .006	to .008	to .004	to .007
FORM RELIEVED CUTTERS	.002	.002	.001	.001	.002	.002	.001	.002	.001	.001
	to .007	to .006	to .004	to .004	to .005	to .006	to .004	to .005	to .003	to .004
CIRCULAR SAWS	.002	.002	.001	.001	.001	.002	.001	.001	.005	.001
	to .005	to .005	to .003	to .003	to .004	to .006	to .003	to .004	to .002	to .004

Tabel 7 2. Tebal beram per gigi untuk beberapa tipe pisau frais dan benda kerja yang dikerjakan (satuan dalam inchi).

Perhitungan elemen mesin yang lain (Rumus 3.2 sampai 3.5), bisa dilakukan setelah kecepatan potong dan gerak makan per gigi ditentukan. Perhitungan elemen pemesinan untuk proses frais yang lain (Gambar 7.28.) identik dengan langkah di atas.



Gambar 7 28. Beberapa variasi proses frais yang dilakukan pada Mesin Frais.

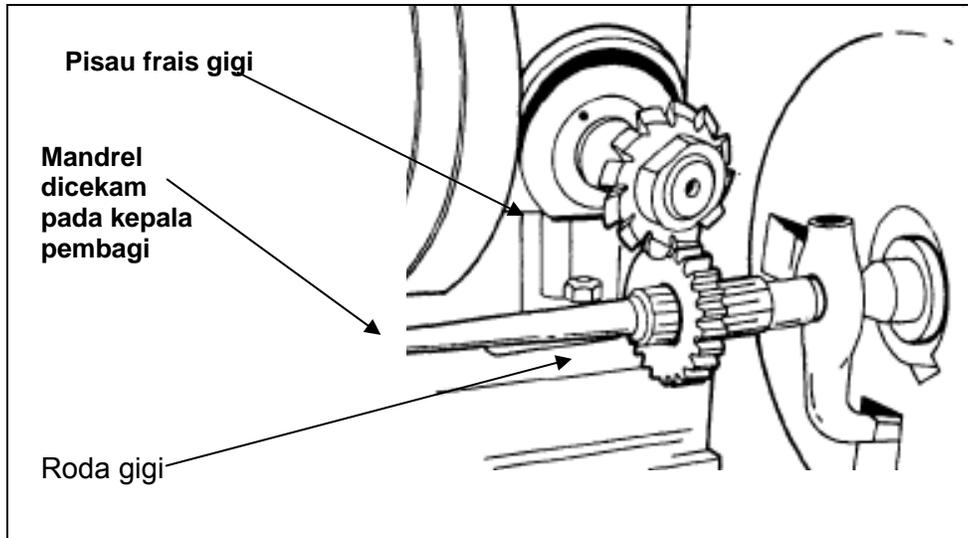


Gambar 7.28. (Lanjutan). Beberapa proses frais : frais bentuk dan dan frais alur.

2. Proses Frais Roda Gigi

Proses frais gigi (Gambar 7.29), sebenarnya sama dengan frais bentuk pada Gambar 7.28., tetapi karena bentuknya yang spesifik, serta proses penckaman dan pemilihan pisau berbeda maka akan dibahas lebih detail. Dari informasi yang diperoleh dari gambar kerja, untuk proses frais roda gigi diperoleh data tentang jumlah gigi, bentuk profil gigi, modul, sudut tekan, dan dimensi bakal roda gigi.

Dari informasi tersebut perencana proses frais gigi harus menyiapkan : kepala pembagi (Gambar 7.21.), pisau frais gigi, dan perhitungan elemen dasar (putaran spindel, gerak makan, dan kedalaman potong). Kepala pembagi digunakan sebagai pemegang bakal roda gigi (dengan bantuan mandrel). Pada kepala pembagi terdapat mekanisme yang memungkinkan operator Mesin Frais memutar benda kerja dengan sudut tertentu.



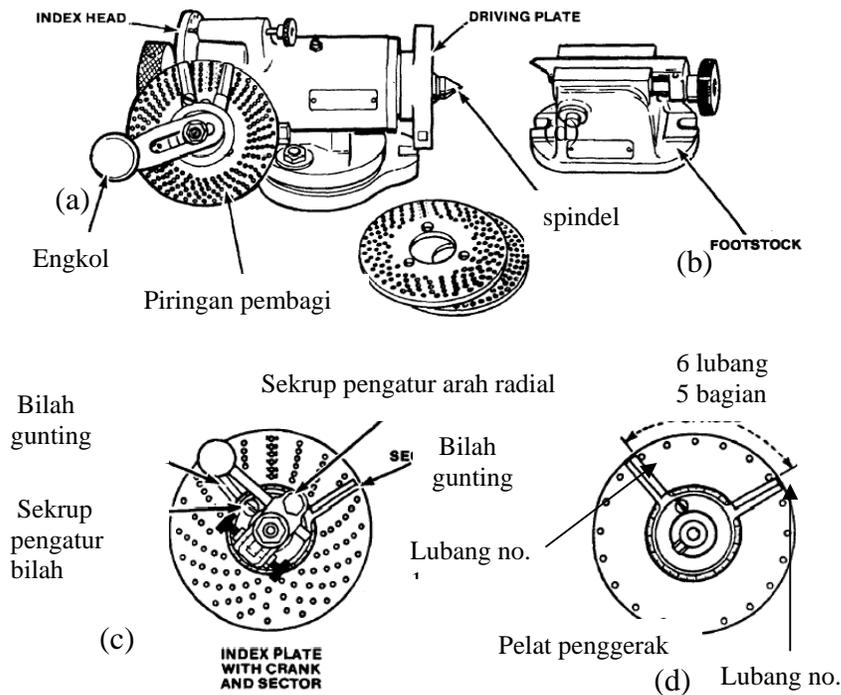
Gambar 7.29. Proses frais roda gigi dengan Mesin Frais horizontal.

Kepala pembagi (*dividing head*) digunakan sebagai alat untuk memutar bakal roda gigi. Mekanisme perubahan gerak pada kepala pembagi adalah roda gigi cacing dan ulir cacing dengan perbandingan 1:40. Dengan demikian apabila engkol diputar satu kali, maka spindelnya berputar 1/40 kali. Untuk membagi putaran pada spindel sehingga bisa menghasilkan putaran spindel selain 40 bagian, maka pada bagian engkol dilengkapi dengan piringan pembagi dengan jumlah lubang tertentu, dengan demikian putaran engkol bisa diatur (misal $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ putaran). Pada piringan pembagi diberi lubang dengan jumlah lubang sesuai dengan tipenya yaitu :

1. Tipe *Brown and Sharpe* :
 - a. Piringan 1 dengan jumlah lubang : 15,16,17,18,19,20
 - b. Piringan 2 dengan jumlah lubang : 21,23,27,29,31,33
 - c. Piringan 3 dengan jumlah lubang : 37,39,41,43,47,49
2. Tipe *Cincinnati* (satu piringan dilubangi pada kedua sisi) :
 - a. Sisi pertama dengan jumlah lubang :
24,25,28,30,34,37,38,39,41,42,43
 - b. Sisi kedua (sebaliknya) dengan jumlah lubang :
46,47,49,51,53,54,57,58,59,62,66

Misalnya akan dibuat pembagian 160 buah. Pengaturan putaran engkol pada kepala pembagi adalah sebagai berikut (Gambar 7.30.) :

- Dipilih piringan yang memiliki lubang 20, dengan cara sekrup pengatur arah radial kita setel sehingga ujung engkol yang berbentuk runcing bisa masuk ke lubang yang dipilih (Gambar 7.30.c)



Gambar 7.30. Kepala pembagi dan pengoperasiannya.

- Gunting diatur sehingga melingkupi 5 bagian atau 6 lubang (Gambar 7.30.d)
- Sisi pertama benda kerja dimulai dari lubang no.1
- Sisi kedua dilakukan dengan cara memutar engkol ke lubang no. 6 (telah dibatasi oleh gunting)
- Dengan demilian engkol berputar $\frac{1}{4}$ lingkaran dan benda kerja berputar $\frac{1}{4} \times \frac{1}{40} = \frac{1}{160}$ putaran
- Gunting digeser sehingga bilah bagian kiri di no. 6
- Pemutaran engkol selanjutnya mengikuti bilah gunting.

Pemilihan pisau untuk memotong profil gigi (biasanya profil gigi *involute*) harus dipilih berdasarkan modul dan jumlah gigi yang akan dibuat. Nomer pisau frais gigi berdasarkan jumlah gigi yang dibuat dapat dilihat pada Tabel 7.3. Penentuan elemen dasar proses frais yaitu putaran spindel dan gerak makan pada proses frais gigi tetap mengikuti rumus 3.2 dan 3.3. Sedangkan kedalaman potong ditentukan berdasarkan tinggi gigi dalam gambar kerja atau sesuai dengan modul gigi yang dibuat (antara 2 sampai 2,25 modul).

Nomer Pisau/ <i>Cutter</i>	Digunakan untuk membuat roda gigi dengan jumlah gigi
1	135 sampai dengan <i>rack</i>
1,5	80 sampai 134
2	55 sampai 134
2,5	42 sampai 54
3	35 sampai 54
3,5	30 sampai 34
4	25 sampai 34
4,5	23 sampai 25
5	21 sampai 25
5,5	19 sampai 20
6	17 sampai 20
6,5	15 sampai 16
7	14 sampai 16
7,5	13
8	12 dan 13

Tabel 7 3. Urutan nomer pisau frais gigi *involute*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alois SCHONMETZ. (1985). *Pengerjaan Logam Dengan Perkakas Tangan dan Mesin Sederhana*. Bandung: Angkasa.
- Avrutin.S, tt, *Fundamentals of Milling Practice*, Foreign Languages Publishing House, Moscow.
- B.H. Amstead, Bambang Priambodo. (1995). *Teknologi Mekanik Jilid 2*. Jakarta: Erlangga
- Boothroyd, Geoffrey. (1981). *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools*. Singapore: Mc Graw-Hill Book Co.
- Bridgeport, 1977, *Bridgeport Textron , Health and Safety at Work Act, Instalation, Operation, Lubrication, Maintenance*, Bridgeport Mahines Devision of Textron Limited PO Box 22 Forest Road Leicester LE5 0FJ : England.
- Courtesy EDM Tech. Manual, 2007, EDM ProcessMecanism,Poco Graphite Inc.
- C. van Terheijden, Harun. (1994). *Alat-alat Perkakas 3*. Bandung: Binacipta.
- Diktat Praktikum Proses Pemesinan II (CNC TU2A dan CNC TU3A) Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Yogyakarta, 2005.
- EMCO, 1980, *A Center Lathe*, EMCO Maier+Co. Postfach 131.A-5400 Hallein: Austria.
- EMCO, 1980. *Maximat Super 11 Installation Manual, Instructions and Operating Manual, Maintenance Manual*, EMCO Maier+Co. Postfach 131.A-5400 Hallein: Austria.
- EMCO, 1991, *Teacher's Handbook CNC TU-2A*, Emco Maier Ges.m.b.H,Hallein, Austria.
- EMCO, 1991, *Teacher's Handbook CNC TU-3A*, Emco Maier Ges.m.b.H,Hallein, Austria.
- EMCO, 1991, *Teacher's Handbook Compact 5 PC*, Emco Maier Ges.m.b.H,Hallein, Austria.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Standar ISO untuk pengkodean pemegang pahat sisipan/
tool holders.

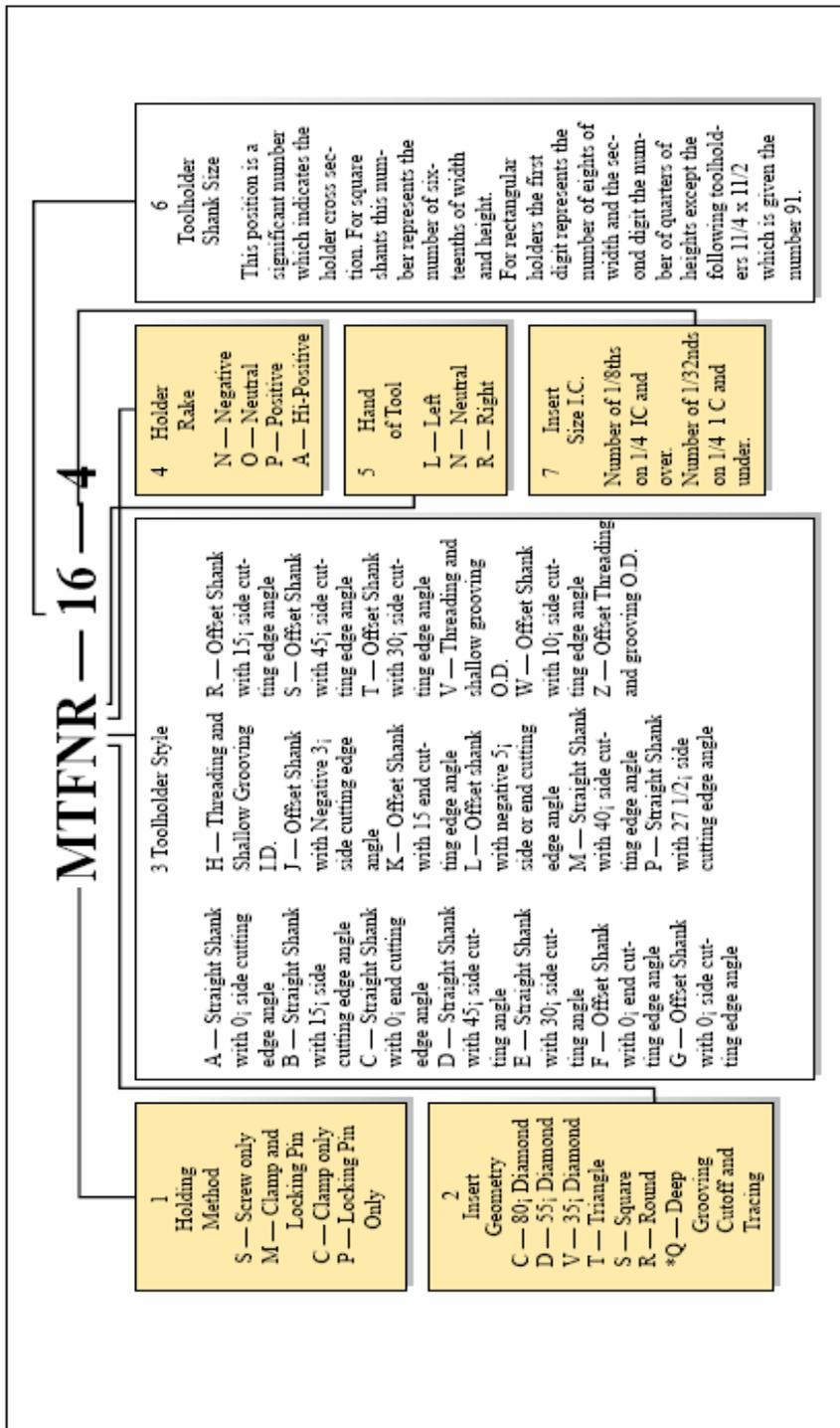


FIGURE 2.35 Standard identification system for turning toolholders. (Courtesy Cemented Carbide Producers Association)

Lampiran 1. Standar ISO untuk pengkodean pemegang pahat sisipan, (Lanjutan).

Grooving - Code keys



Toolholders

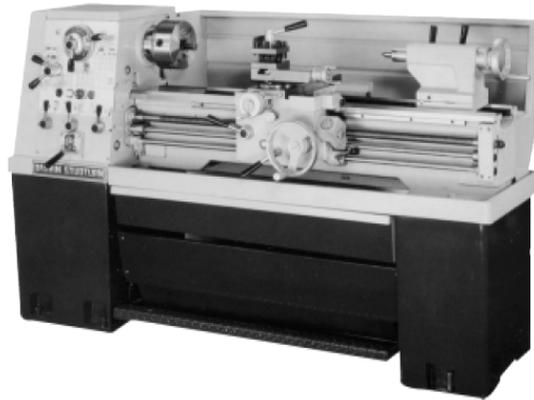


C	E	R		- 100 -	6 -	14	Q
1	2	3	4	5	6	7	8

<p>1. Insert clamping</p> <p>C</p> <p>Clamp</p>	<p>2. External/Internal</p> <p>E = External EA = External axial N = Internal</p>	<p>3. Version</p> <p>L</p> <p>R</p> <p>X = Special</p>
<p>4. Shank Definition</p> <p>00 = Boring bars = Square shanks</p>	<p>7. Cutting edge length</p> <p>Cutting edge length = 9,525 mm (0,375") Symbol = D9</p>	
<p>5. Shank width/diameter</p> <p>For boring bars diameter in inches. For square shanks height in inches 075 = .75" 100 = 1.00" etc.</p>	<p>8. Other information</p> <p>Q = Qualified</p>	
<p>6. Tool length</p> <p>eg. 3 = 3" 4 = 4" 5 = 5" etc.</p>		

ISO DESIGNATION OF THE INSERTS ISO BEZEICHNUNG DER PLATTEN			DESIGNATION ISO DES PLAQUETTES ISO CODERING VAN DE PLATTEN			DESIGNATION ISO DES PLAQUETTES ISO CODERING VAN DE PLATTEN				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Insert shape Forme de la plaquette WSP Form Plaatvorm	Normal clearance Dépouille normale Frenwinkel Vrijcophoek	Tolerance class Classe de tolérance Toleranzklasse Tolerantieklaas	Filing and geometry Ente-coupeure et fixation Befestigung-Geometrie Befestigung-Uitvoering	Insert size Grandeur de la plaquette Größe der Platte Snylmaatseigete	Insert thickness Épaisseur de la plaquette Plaatdikte Dikte van de plaat	Insert corner Pointe de coupe Schnedenecke Radius	Cutting edge Traitement d'arête Schneide Slijfzant	Cutting direction Direction de coupe Schneerichtung Slijfrichting	Manufacturer's optional symbol consisting of maximum three characters (numbers or letters); shall be separated from the standardised designation by a dash (-). Symbole facultatif propre au fabricant, composé par une ou deux positions (chiffres ou lettres). Doit être séparé de la désignation normalisée par un trait (-). Ein- oder zweistelliges freigestelltes Symbol (Ziffern oder Buchstaben) nach Wahl des Fabrikanten. Muß von den vorangehenden Symbolen durch einen Bindestrich (-) getrennt sein. Eén of twee vrije symbolen (cijfers of letters) naar keuze van de fabrikant, moet van het voorgaande symbol door een streep (-) gescheiden zijn.	
	<p>Symbol = 0</p> <p>For other clearances reaching special specification</p> <p>Pour autres dépouilles nécessitant une spécification</p> <p>Für andere Frenwinkel, die genaue Angaben erfordern</p> <p>Afwijkende vrijcophoek als aangegeven.</p>	<p>1) Inserts with ground minor cutting edge Plaquettes à arêtes de jauge rectifiées Platen met geslepen kleine randen</p> <p>2) Dependent upon insert size Selon grandeur de la plaquette Afhangig van de plaatgrootte</p>	<p>Special execution Exécution spéciale Spezialausführung Speciale uitvoering</p>							<p>Values given in mm. Divergent any decimals. When the resulting symbol has only one digit, it shall be preceded by 0 (-e.g. 09 for 9.52 mm)</p> <p>Indication des valeurs en mm. Valeurs données sans décimales. Lorsque le symbole qu'on résulta n'a qu'un seul chiffre, il sera précédé d'un 0. (Ex. 09 pour 9.52 mm)</p> <p>Die Werte sind in mm angegeben. Ziffer hinter dem Komma unterbindet. Bei einer einstelligen Kennzahl wird eine Null vorangestellt. (Beisp. 09 für 9.52 mm)</p> <p>De afmetingen zijn in mm aangegeven. Cijfers achter de komma worden niet aangegeven</p>
C	N	M	G	12	04	08	08	08	CNMG 120408	

Lampiran 2. Beberapa macam Mesin Bubut konvensional dan CNC.



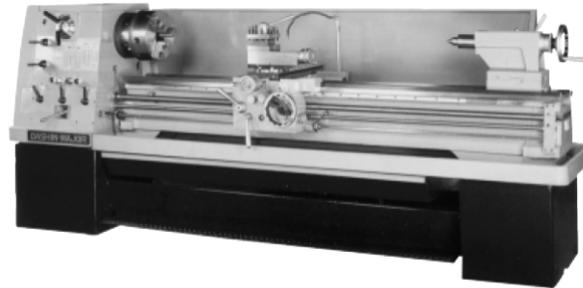
Sumber : Katalog PT. Kawan Lama

Specifications:

SERIES :		STUDTURN	
MODELS		750 (1430)	1000 (1440)
Centre height		178(7)	
Swing over height		360(14)	
Swing over cross slide		215(85/8)	
Swing in Gap		560(22)	
Distance between centres		750 (30)	1000 (40)
Gap width in front of faceplate		150(6)	
Spindle nose (camlock)		D-1-5	
Spindle bore		42(15/8)	
Spindle	Numbers	8	16-OPTIONAL
	Ranges (RPM)	70-20000	35-2000
Varispeed	Gear steps	2	
	Ranges (RPM)	20-2500	
Spindle nose bush		M.T. No. 5	
Spindle centre		M.T. No. 3	
Tailstock centre		M.T. No. 3	
Main Motor	Standard	5HP(3.75(KW))	
	Optional	5/3HP(3.75/2.25KW)	
	Varispeed	4HP(3.0KW)	

The above specification subject to change without prior notice.

Lampiran 2. Beberapa macam Mesin Bubut, (Lanjutan).



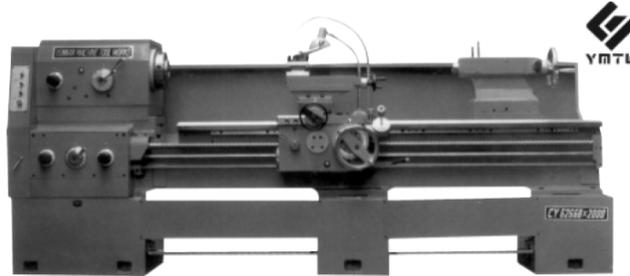
Sumber : Katalog PT. Kawan Lama

Specifications:

SERIES :	MAJOR 1800	MAJOR 2000	MAJOR 2200
MODELS	1860, 1880	2060, 2080	2260, 2280
	18100, 18120	20100, 20120	22100, 22120
Centre height	228(9)	254(10)	280(11)
Swing over height	460(18)	510(20)	560(22)
Swing over cross slide	290(11 1/2)	340(13 1/2)	90(15 1/2)
Swing in Gap	710(28)	760(30)	810(32)
Distance between centres	1860, 2060, 2260... 1500(60), 1880, 2080, 2280... 2000(80) 18100, 20100, 22100... 2500(100), 18120, 20120, 22120... 3000(120)		
Gap width in front of faceplate	230(9)		
Spindle nose (camlock)	D-1-8		
Spindle bore	80(3 1/8)		
Spindle	Numbers	16	
	Ranges (RPM)	20-1600	
Varispeed	Gear steps	2 or 4	
	Ranges (RPM)	16-1800	
Spindle nose bush	M.T. No.7		
Spindle centre	M.T. No.5		
Tailstock centre	M.T. No.5		
Main Motor	Standard	10HP(7.5KW)	
	Optional	12HP(9.375(KW))	
	Varispeed	7.5HP(5.5KW)	

The above specification subject to change without prior notice.

Lampiran 2. Beberapa macam Mesin Bubut, (Lanjutan).



Specifications	Type					
	CY6150B	CY6250B	CY6163B	CY6263B	CY6166B	CY6266B
Swing over bed	Ø 500mm (20")		Ø 630mm (25")		Ø 660mm (26")	
Swing over cross slide	Ø 300mm (12")		Ø 350mm (13.8")		Ø 380mm (15")	
Swing in gap		Ø 710mm (28")		Ø 800mm (31.5")		Ø 830mm (32.7")
Length of gap			240mm			
Length of workpiece (max.) *		750mm (30") 2500mm (100")	1000mm (40") 3000mm (120")	1500mm (60") 4000mm (160")	2000mm (80") 5000mm (200")	
Spindle nose to ISO 702/11			D8 D11			
Spindle thru-bore diameter			82mm (3.22")			
24 Steps spindle speeds			9 - 1600 r/min			
Max. main cutting edge			13700N (3080 lbf)			
Longitudinal feeds			0.028 - 6.43mm/rev (0.0011 - 0.25 in/rev)			
Transversal feeds			0.028 - 2.73mm/rev (0.0005 - 0.107 in/rev)			
48 steps Metric thread			0.5 - 224mm			
48 steps Inch thread			72 - 1/8 t/in			
42 steps Module thread			0.5 - 112mm			
45 steps Diametral pitch threads			56 - 1/4 DP			
Cross slide travel (max.)	320mm (12.6")		350mm (13.8")			
Top slide travel (max.)	145mm (5.7")		170mm (6.7")			
Longitudinal rapid travelling speed		50Hz - 4.5 m/min (15ft/min)	60Hz - 5.4 m/min (18ft/min)			
Transversal rapid travelling speed		50Hz - 1.9 m/min (6.2ft/min)	60Hz - 2.3 m/min (7.5ft/min)			
Sleeve travel diameter		75mm (2.95")				
Morse taper of sleeve bore		M5				
Sleeve travel (max.)		150mm (6")				
Main drive motor		7.5kw (10HP), 11kw (15HP), 15kw (20HP)				
Rapid travel motor		250 W (0.335HP), 1360 r/min				
Coolant pump motor		90 W (0.12HP), 25L/min (6.6 gal/min)				

* Gap not available to length of 4000mm (160"), 5000mm (200")

Lampiran 2. Beberapa macam Mesin Bubut, (Lanjutan).



Dual-turret turning

Puma TT-series turning centers feature upper and lower turrets, equal capacity opposing spindles, and high-speed, wraparound rectangular guideways. Twin turrets house a total of 24 tools, with live BMT65P tooling at any station. Quick-response servo drives reduce station-to-station times to 20sec. Left and right spindles are driven either by a 25hp or 35hp integral motor, generating speeds of 5,000rpm or 3,500rpm, respectively. Puma TT can also be specified as a twin turret, with programmable tailstock replacing the second spindle. IMTS BOOTH #A-8131; Doosan Infracore - Daewoo, www.rsleads.com/608tp-166

Twin-spindle turning

DVH250 i duo vertical pick-up turning center is designed for high-volume production applications with a work envelope of 11.8"x7.9" while only requiring 64.6-sq-ft of floor space. Designed to



machine parts up to 9.8" in diameter, it has a shuttle-type part feeder to ensure fast part loading times while axis traverse rates are 1,772ipm in the X direction and 1,181ipm in the Z direction. The DVH250 allows parallel production of two identical parts simultaneously or parallel production of two different parts. It can also be used to sequentially process a single part by moving it from spindle to spindle. IMTS BOOTH #A-8218 & A-8232; HESSAPP, www.rsleads.com/608tp-164

Sumber : IMTS 2006 (www.toolingandproduction.com)



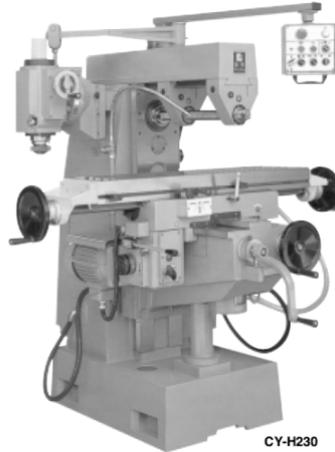
CNC lathes

TURI1350MN heavy-duty CNC lathes offer 45", 53", or 61" swing, 40" wide bed way, Siemens 810D manual turn or Fanuc 18T manual guide controls,

spindle speeds up to 900rpm, 5.5" to 17.7" spindle bores, load capacity of up to 15 tons, and a choice of tooling systems. For added versatility, the heavy-duty tailstock features a 7.9" dia quill equipped with built-in live center. IMTS BOOTH #A-8045; Toolmex Machinery, www.rsleads.com/608tp-179

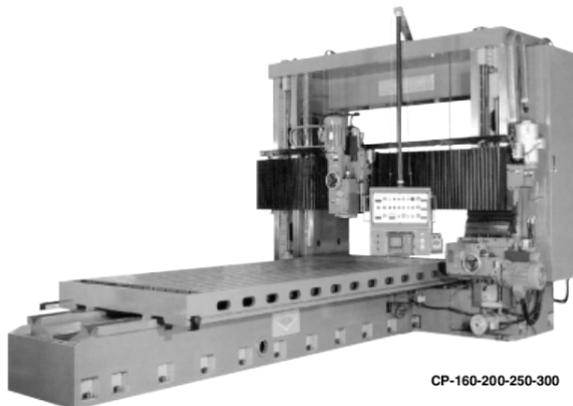
Lampiran 3. Beberapa macam Mesin Frais.

VERTICAL HORIZONTAL TURRET MILLING

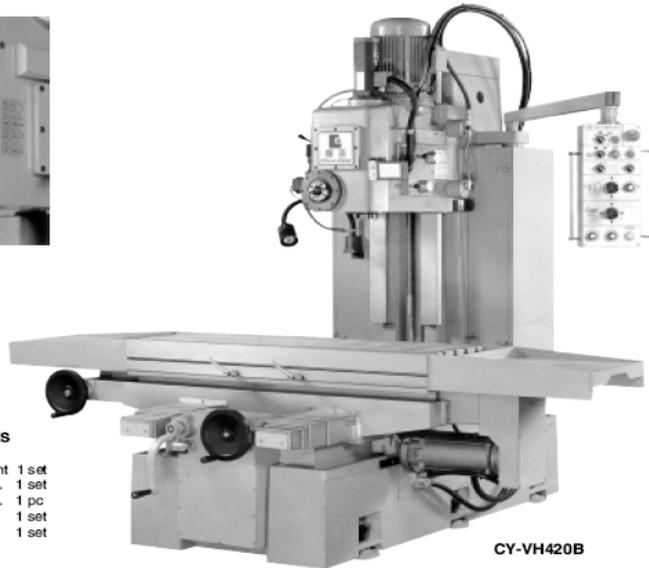


Lampiran 3. Beberapa macam Mesin Frais konvensional dan CNC,
(Lanjutan).

HEAVY DUTY DOUBLE HOUSING PLAIN MILL



BED TYPE VERTICAL MILLING - CY-VH420B



STANDARD ACCESSORIES

- Complete Coolant Equipment 1 set
- Adjusting Tools 1 set
- Tool box 1 pc
- To protect bed cover 1 set
- Working light 1 set

CY-VH420B

CNC VERTICAL MILLING

CHEVALIER.



MACHINE FEATURES

- Rigid, Honeycomb Ribbed Meehanite Castings
- Hardened and Ground Back Gears
- Turcite-B Laminated and Precisely Hand Scraped Slideways
- Variable Speed Head
- Hard Chromed Quill with Honed Quill-Housing
- Ground Ballscrew on X, Y & Z Axes (Z Axis Ballscrew only Available on 3-Axis Controlled Machine)
- Automatic Lube System with Alarm and Gauge Device
- Hardened and Ground Table, Knee and Saddle Guideways
- Square Column and Saddle Ways on H&R Type Machines
- Ballscrew Mounted with 2 pcs of Special Ballscrew Support Bearings (P4 Grade)
- $\pm 0.005\text{mm}$ ($\pm 0.0002''$) Repeatability
- $\pm 0.012\text{mm}$ ($\pm 0.0005''$) Positioning Accuracy
- 5000mm/min (200 IPM) Rapid Travel
- 0-1000mm/min (0-40 IPM) Feed Rate
- Servo Drives on all CNC Controlled Axes

STANDARD ACCESSORIES

1. Tool and Tool Box
2. Rubber way covers (front and rear)
3. Tool Table (63R with a tool shelf at each end of the table)

Sumber : Katalog PT. Kawan Lama

Large-capacity HMC

Matsuura H. Plus-405 large-capacity HMC is for high-speed milling and contouring. It has feed rates and rapid traverses to 1,968ipm on all axes, accelerations to 1g, and a high-speed pallet changer. A maximum work envelope of 25.59"x29.50", a maximum load capacity of 881lb, heavy-duty spindles, and a 31-station ATC provide versatility to handle a wide range of production requirements. Standard with a 12,000rpm BT40 taper spindle, it delivers high torque at low speeds and 30hp at high speeds. IMTS BOOTH #A-8517 & D-4114; Methods Machine Tools Inc., www.rsleads.com/608tp-163



Lampiran 3. Beberapa macam Mesin Frais, (Lanjutan).



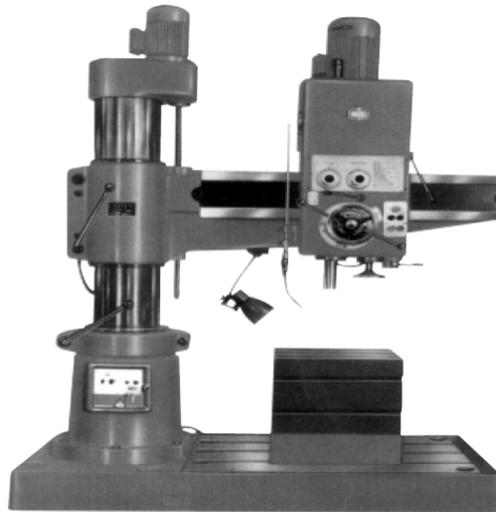
40-pocket ATC HMC

HMC-400, with standard coolant-thru 10,000rpm, 15hp spindle, and X, Y, Z axis travels of 24"x22"x22" with ± 0.0003 " accuracy is ideal for machining small- to medium-sized parts and materials from aluminum to cast iron and steels. The automatic pallet changer with twin 400mm² pallets can handle up to 880lb per pallet and supports continuous, uninterrupted production. Standard B-axis rotary table with ± 7 arc sec accuracy delivers full fourth axis contouring. Rapid travel rates are up to 1,200ipm. IMTS BOOTH #A-8218 & A-8232; Fadal Machining Centers, www.rsleads.com/608tp-153

Sumber : IMTS 2006 (www.toolingandproduction.com)

Lampiran 4. Beberapa macam Mesin Gurdi (*Drilling*) konvensional dan CNC.

RADIAL DRILLING MACHINE - TYPE Z3020 x 10



Mesin Bor Radial

Lampiran 4. Beberapa macam Mesin Gurdi (*Drilling*), (Lanjutan).



CNC DRILLING AND TAPPING MACHINE

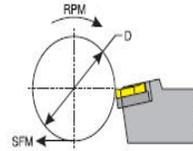


TSV-C35, 10/12 (Opt.) BT-30 tools
High speed spindle 10,000 rpm/4.4kW

Mesin Gurdi manual dan Mesin Gurdi & Tap CNC

Lampiran 5. Proses pembuatan ulir dan tabel.

Dia. of Work	Inches	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	2.0
	Metric	5	10	15	20	25	30	50
Surface Speed	Revolutions Per Minute - (RPM)							
ft/min.	m/min.							
49	15	955	477	318	239	191	159	95
66	20	1273	637	424	318	255	212	127
82	25	1592	796	531	398	318	265	159
98	30	1910	955	637	477	382	318	191
115	35	2228	1114	743	557	446	371	223
131	40	2546	1273	849	637	509	424	255
148	45	2865	1432	955	716	573	477	286
164	50	3183	1592	1061	796	637	531	318
246	75	4775	2387	1592	1194	955	796	477
328	100	6366	3183	2122	1592	1273	1061	637
492	150	9549	4775	3183	2387	1910	1592	955
656	200	12732	6366	4244	3183	2546	2122	1273



(SFM) - Surface Feet per Minute

Formula to calculate SFM:

$$SFM = \frac{\pi \times D \times RPM}{12}$$

Example to calculate SFM:

$$SFM = \frac{\pi \times 2.0 \times 157}{12} = 82 \text{ SFM}$$

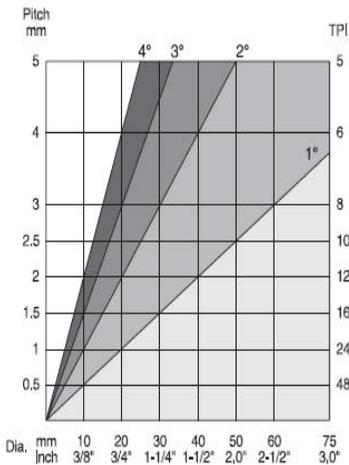
(RPM) - Revolutions per Minute

Formula to calculate RPM:

$$RPM = \frac{12 \times SFM}{\pi \times D}$$

Example to calculate RPM:

$$RPM = \frac{12 \times 82}{\pi \times 2.0} = 157 \text{ RPM}$$



Insert Size	Normal Threading		Reverse Threading		Insert Screw	Torx Key
	Seat	Helix Angle	Seat	Helix Angle		
11	No Seat	1-1/2°	No Seat	- 1-1/2°	TS-11	T-8
16	GX-16-1	1-1/2°	GX-16-98	- 1-1/2°	TS-16	T-10
22	NX-22-1	1-1/2°	NX-22-98	- 1-1/2°	TS-22	T-20
27	VX-27-1	1-1/2°	VX-27-98	- 1-1/2°	TS-27	T-25

Thread Helix Angle Formula

$$\tan \lambda = \frac{P}{\pi \times D}$$

$$P = \frac{1.0}{TPI}$$

Example:

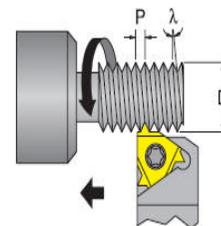
What is the helix angle of a 12 TPI thread with a major diameter of 7/8"?

$$P = \frac{1.0}{12 \text{ TPI}} = .0833$$

$$\tan \lambda = \frac{.0833}{\pi \times .875} = .0303$$

$$\lambda = \text{Arctan} (.0303) = 1.7355^\circ$$

Round to the nearest 1/2°
λ = 1-1/2°



P = Pitch
D = Major Dia.
TPI = Threads Per Inch

Lampiran 6. Besarnya toleransi fundamental dari a sampai zc.

Fundamental Deviatons a to j

Over	Up -to (Incl.)	Fundamental Deviation (es)												(ei)		
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j5	j6	j7
	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	ITn/2	-2	-2	-4
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	ITn/2	-2	-2	-4
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	ITn/2	-2	-2	-5
10	14	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0	ITn/2	-3	-3	-6
14	18	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0	ITn/2	-3	-3	-6
18	24	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0	ITn/2	-3	-3	-8
24	30	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0	ITn/2	-3	-3	-8
30	40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0	ITn/2	-4	-4	-10
40	50	-320	-180	-130		-80	-50		-25		-9	0	ITn/2	-4	-4	-10
50	65	-340	-190	-140		-100	-60		-30		-10	0	ITn/2	-5	-5	-12
65	80	-360	-200	-150		-100	-60		-30		-10	0	ITn/2	-7	-7	-12
80	100	-380	-220	-170		-120	-72		-36		-12	0	ITn/2	-9	-9	-15
100	120	-410	-240	-180		-120	-72		-36		-12	0	ITn/2	-9	-9	-15
120	140	-460	-260	-200		-145	-85		-43		-14	0	ITn/2	-11	-11	-18
140	160	-520	-280	-210		-145	-85		-43		-14	0	ITn/2	-11	-11	-18
160	180	-580	-310	-230		-145	-85		-43		-14	0	ITn/2	-11	-11	-18
180	200	-660	-340	-240		-170	-100		-50		-15	0	ITn/2	-13	-13	-21
200	225	-740	-380	-260		-170	-100		-50		-15	0	ITn/2	-13	-13	-21
225	250	-820	-420	-280		-170	-100		-50		-15	0	ITn/2	-13	-13	-21
250	280	-920	-480	-300		-190	-110		-56		-17	0	ITn/2	-16	-16	-26
280	315	-1050	-540	-330		-190	-110		-56		-17	0	ITn/2	-16	-16	-26
315	355	-1200	-600	-360		-210	-125		-62		-18	0	ITn/2	-18	-18	-28
355	400	-1350	-680	-400		-210	-125		-62		-18	0	ITn/2	-18	-18	-28
400	450	-1500	-760	-440		-230	-135		-68		-20	0	ITn/2	-20	-20	-32
450	500	-1650	-840	-480		-230	-135		-68		-20	0	ITn/2	-20	-20	-32
Over	Up -to (Incl.)	Fundamental Deviation (es)												(ei)		
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j5	j6	j7

Lampiran 6. Besarnya toleransi fundamental dari a sampai zc,
(Lanjutan).

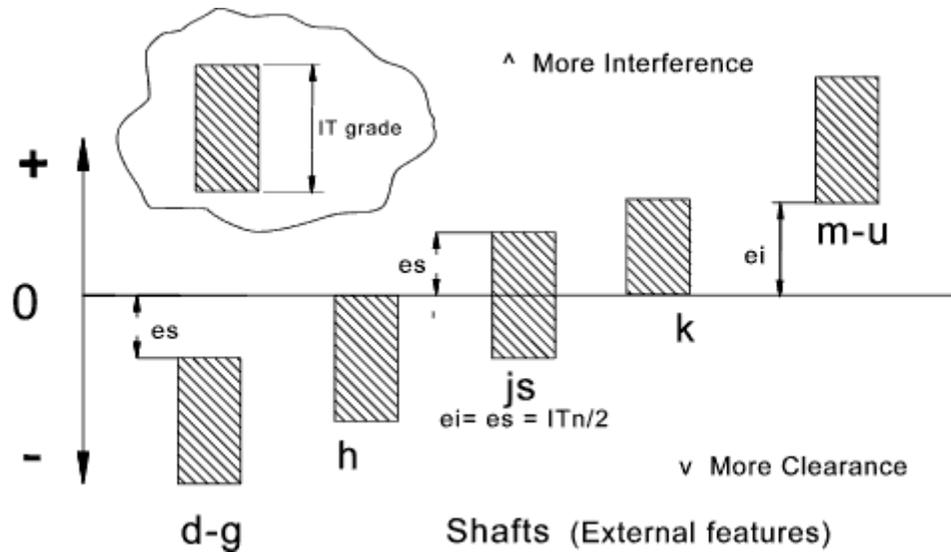
Fundamental Deviatons k to zc

Over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (ei)															
		k4- k7 (inc)	other k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
	3	0	0	2	4	6	10	14		18		20		26	32	40	60
3	6	1	0	4	8	12	15	19		23		28		35	42	50	80
6	10	1	0	6	10	15	19	23		28		34		42	52	67	97
10	14	1	0	7	12	18	23	28		33		40		50	64	90	130
14	18	1	0	7	12	18	23	28		33	39	45		60	77	108	150
18	24	2	0	8	15	22	28	35		41	47	54	63	73	98	136	188
24	30	2	0	8	15	22	28	35	41	48	55	64	75	88	118	160	218
30	40	2	0	9	17	26	34	43	48	60	68	80	94	112	148	200	274
40	50	2	0	9	17	26	34	43	54	70	81	97	114	136	180	242	325
50	65	2	0	11	20	32	41	53	66	87	102	122	144	172	226	300	405
65	80	2	0	11	20	32	43	59	75	102	120	146	174	210	274	360	480
80	100	3	0	13	23	37	51	71	91	124	146	178	214	258	335	445	585
100	120	3	0	13	23	37	54	79	104	144	172	210	254	310	400	525	690
120	140	3	0	15	27	43	63	92	122	170	202	248	300	365	470	620	800
140	160	3	0	15	27	43	65	100	134	190	228	280	340	415	535	700	900
160	180	3	0	15	27	43	68	108	146	210	252	310	380	465	600	780	1000
180	200	4	0	17	31	50	77	122	166	236	284	350	425	520	670	880	1150
200	225	4	0	17	31	50	80	130	180	258	310	385	470	575	740	960	1250
225	250	4	0	17	31	50	84	140	196	284	340	425	520	640	820	1050	1350
250	280	4	0	20	34	56	94	158	218	315	385	475	580	710	920	1200	1550
280	315	4	0	20	34	56	98	170	240	350	425	525	650	790	1000	1300	1700
315	355	4	0	21	37	62	108	190	268	390	475	590	730	900	1150	1500	1900
355	400	4	0	21	37	62	114	208	294	435	530	660	820	1000	1300	1650	2100
400	450	5	0	23	40	68	126	232	330	490	595	740	920	1100	1450	1850	2400
450	500	5	0	23	40	68	132	252	360	540	660	820	1000	1250	1600	2100	2600
Over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (ei)															
		k4- k7 (inc)	other k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc

Lampiran 7.

ISO Shaft Limit Nearest Zero (Fundamental Deviation), shaft size 500-3150mm

Deviations in $\mu\text{metres} = (m^{-6})$



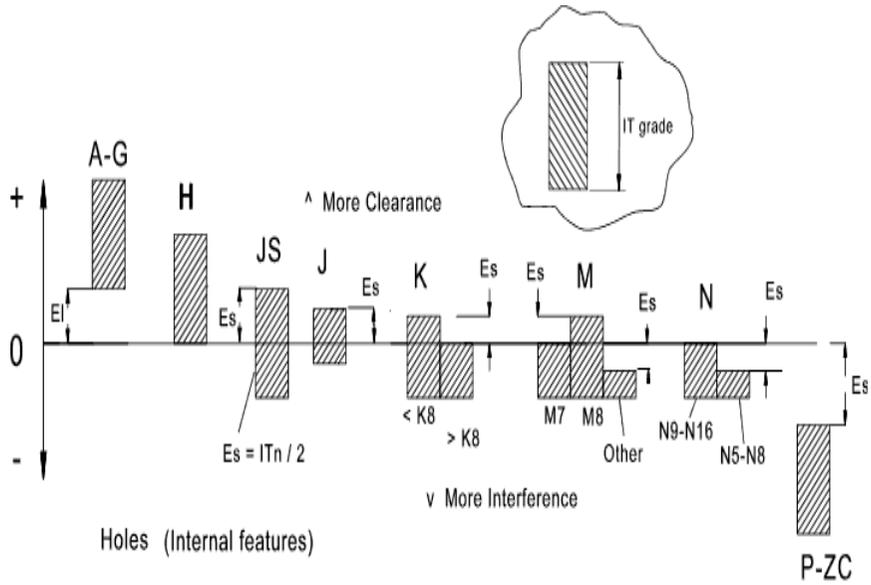
Lampiran 7. (Lanjutan).

Fundamental Deviatons d to u

Over	Up -to (Incl.)	Fundamental Deviation (es')								Fundamental Deviation (ei)							
		d	e	ef	f	fg	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u
500	560	-260	-145		-76		-22	0	ITn/2	0	26	44	78	150	280	400	600
560	630	-260	-145		-76		-22	0	ITn/2	0	26	44	78	155	310	450	660
630	710	-290	-160		-80		-24	0	ITn/2	0	30	50	88	175	340	500	740
710	800	-290	-160		-80		-24	0	ITn/2	0	30	50	88	185	380	560	840
800	900	-320	-170		-86		-26	0	ITn/2	0	34	56	100	210	430	620	940
900	1000	-320	-170		-86		-26	0	ITn/2	0	34	56	100	220	470	680	1050
1000	1120	-350	-195		-98		-28	0	ITn/2	0	40	66	120	250	520	780	1150
1120	1250	-350	-195		-98		-28	0	ITn/2	0	40	66	120	260	580	840	1300
1250	1400	-390	-220		-110		-30	0	ITn/2	0	48	78	140	300	640	960	1450
1400	1600	-390	-220		-110		-30	0	ITn/2	0	48	78	140	330	720	1050	1600
1600	1800	-430	-240		-120		-32	0	ITn/2	0	58	92	170	370	820	1200	1850
1800	2000	-430	-240		-120		-32	0	ITn/2	0	58	92	170	400	920	1350	2000
2000	2240	-480	-260		-130		-34	0	ITn/2	0	68	110	195	440	1000	1500	2300
2240	2500	-480	-260		-130		-34	0	ITn/2	0	68	110	195	460	1100	1650	2500
2500	2800	-520	-290		-145		-38	0	ITn/2	0	76	135	240	550	1250	1900	2900
2800	3150	-520	-290		-145		-38	0	ITn/2	0	76	135	240	580	1400	2100	3200
Over	Up -to (Incl.)	Fundamental Deviation (es')								Fundamental Deviation (ei)							
		d	e	ef	f	fg	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u

Lampiran 8.

ISO Hole Nearest Dim to Zero (Fundamental Deviation). Holes sizes 0-400mm.



Deviations in $\mu\text{metres} = (\text{m}^{-6})$

over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (EI)											Fundamental Deviation (Es)						
		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J6	J7	J8	K7	K8	>K8
	3	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0	IT/2	2	4	6	0+	0	0
3	6	270	140	70	46	30	20	14	10	6	4	0	IT/2	5	6	10	3	5	
6	10	280	150	80	56	40	25	18	13	8	5	0	IT/2	5	8	12	5	6	
10	14	290	150	95		50	32		16		6	0	IT/2	6	10	15	6	8	
14	18	290	150	95		50	32		16		6	0	IT/2	6	10	15	6	8	
18	24	300	160	110		65	40		20		7	0	IT/2	8	12	20	6	10	
24	30	300	160	110		65	40		20		7	0	IT/2	8	12	20	6	10	
30	40	310	170	120		80	50		25		9	0	IT/2	10	14	24	7	12	
40	50	320	180	130		80	50		25		9	0	IT/2	10	14	24	7	12	
50	65	340	190	140		100	60		30		10	0	IT/2	13	18	28	9	14	
65	80	360	200	150		100	60		30		10	0	IT/2	13	18	28	9	14	
80	100	380	220	170		120	72		36		12	0	IT/2	16	22	34	10	16	
100	120	410	240	180		120	72		36		12	0	IT/2	16	22	34	10	16	
120	140	460	260	200		145	85		43		14	0	IT/2	18	26	41	12	20	
140	160	520	280	210		145	85		43		14	0	IT/2	18	26	41	12	20	
160	180	580	310	230		145	85		43		14	0	IT/2	18	26	41	12	20	
180	200	660	340	240		170	100		50		15	0	IT/2	22	30	47	13	22	
200	225	740	380	260		170	100		50		15	0	IT/2	22	30	47	13	22	
225	250	820	420	280		170	100		50		15	0	IT/2	22	30	47	13	22	
250	280	920	480	300		190	110		56		17	0	IT/2	25	36	55	16	25	
280	315	1050	540	330		190	110		56		17	0	IT/2	25	36	55	16	25	
315	355	1200	600	360		210	125		62		18	0	IT/2	29	39	60	17	28	
355	400	1350	680	400		210	125		62		18	0	IT/2	29	39	60	17	28	
400	450	1500	760	440		230	135		68		20	0	IT/2	33	43	66	18	29	
450	500	1650	840	480		230	135		68		20	0	IT/2	33	43	66	18	29	
over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (EI)											Fundamental Deviation (Es)						
		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J6	J7	J8	K7	K8	>K8

Important Note: For Fundamental deviations P-ZC ITn's > 7 only applies
 . For ITs 6 & 7 refer to table below..

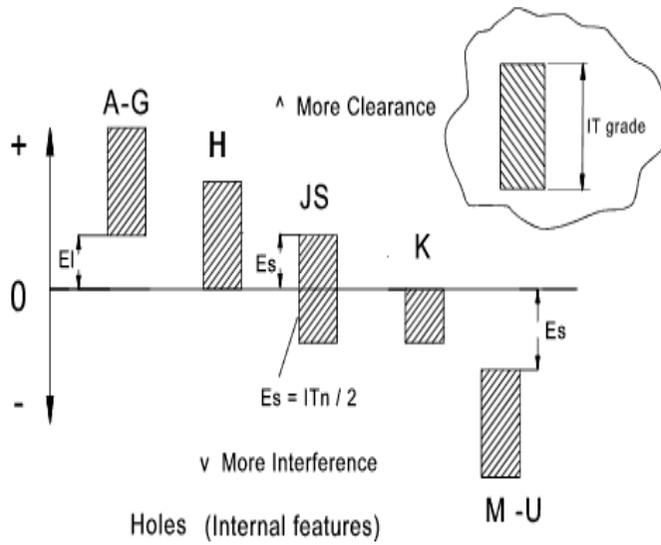
over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (Es)																	
		M7	M8	>M8	N7	N8	>N8	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC
	3	-2	-2	-2	-5	-4	-4	-6	-10	-14		-18		-20		-26	-32	-40	-60
3	6	0	2	-4	-4	-2	0	-12	-15	-19		-23		-28		-35	-42	-50	-80
6	10	0	1	-6	-4	-3	0	-15	-19	-23		-28		-34		-42	-52	-67	-97
10	14	0	2	-7	-5	-3	0	-18	-23	-28		-33		-40		-50	-64	-90	-130
14	18	1	5	-7	-5	-3	0	-18	-23	-28		-33	-39	-45		-60	-77	-108	-150
18	24	0	4	-8	-7	-3	0	-22	-28	-35		-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188
24	30	1	6	-8	-7	-3	0	-22	-28	-35	-41	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-160	-218
30	40	0	5	-9	-8	-3	0	-26	-34	-43	-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274
40	50	2	7	-9	-8	-3	0	-26	-34	-43	-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325
50	65	0	5	-11	-9	-4	0	-32	-41	-53	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405
65	80	2	8	-11	-9	-4	0	-32	-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-490
80	100	0	6	-13	-10	-4	0	-37	-51	-71	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585
100	120	2	10	-13	-10	-4	0	-37	-54	-79	-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690
120	140	0	8	-15	-12	-4	0	-43	-63	-92	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800
140	160	0	8	-15	-12	-4	0	-43	-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900
160	180	2	11	-15	-12	-4	0	-43	-68	-108	-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1000
180	200	0	9	-17	-14	-5	0	-50	-77	-122	-166	-236	-284	-340	-425	-520	-670	-880	-1150
200	225	0	9	-17	-14	-5	0	-50	-80	-130	-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	-1250
225	250	3	12	-17	-14	-5	0	-50	-84	-140	-196	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1050	-1350
250	280	0	9	-20	-14	-5	0	-56	-94	-158	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	-1550
280	315	1	12	-20	-14	-5	0	-56	-98	-170	-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300	-1700
315	355	0	11	-21	-16	-5	0	-62	-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900
355	400	2	13	-21	-16	-5	0	-62	-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820	-1000	-1300	-1650	-2100
400	450	48	59	-23	-17	-6	0	-68	-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400
450	500	25	25	-23	-17	-6	0	-68	-132	-252	-360	-540	-660	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2600
over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (Es)																	
		M7	M8	>M8	N7	N8	>N8	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC

Important Note: For Fundamental deviations (P to Z) For ITn = 6 & 7 refer to table below..

over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (Es)																	
		P7	P7	R6	R7	S6	S7	T6	T7	U6	U7	V6	V7	X6	X7	Y6	Y7	Z6	Z7
	3	-6	-6	-10	-10	-14	-14			-18	-18			-20	-20			-26	-26
3	6	-9	-8	-12	-11	-16	-15			-20	-19			-25	-24			-32	-31
6	10	-12	-9	-16	-13	-20	-17			-25	-22			-31	-28			-39	-36
10	14	-15	-11	-20	-16	-25	-21			-30	-26			-37	-33			-47	-43
14	18	-15	-11	-20	-16	-25	-21			-30	-26	-36	-32	-42	-38			-57	-53
18	24	-18	-14	-24	-20	-31	-27			-37	-33	-43	-39	-50	-46	-59	-55	-69	-65
24	30	-18	-14	-24	-20	-31	-27	-37	-33	-44	-40	-51	-47	-60	-56	-71	-67	-84	-80
30	40	-21	-17	-29	-25	-38	-34	-43	-39	-55	-51	-63	-59	-75	-71	-89	-85	-107	-103
40	50	-21	-17	-29	-25	-38	-34	-49	-45	-65	-61	-76	-72	-92	-88	-109	-105	-131	-127
50	65	-26	-21	-35	-30	-47	-42	-60	-55	-81	-76	-96	-91	-116	-111	-138	-133	-166	-161
65	80	-26	-21	-37	-32	-53	-48	-69	-64	-96	-91	-114	-109	-140	-135	-168	-163	-204	-199
80	100	-30	-24	-44	-38	-64	-58	-84	-78	-117	-111	-139	-133	-171	-165	-207	-201	-251	-245
100	120	-30	-24	-47	-41	-72	-66	-97	-91	-137	-131	-165	-159	-203	-197	-247	-241	-303	-297
120	140	-36	-28	-56	-48	-85	-77	-115	-107	-163	-155	-195	-187	-241	-233	-293	-285	-358	-350
140	160	-36	-28	-58	-50	-93	-85	-127	-119	-183	-175	-221	-213	-273	-265	-333	-325	-408	-400
160	180	-36	-28	-61	-53	-101	-93	-139	-131	-203	-195	-245	-237	-303	-295	-373	-365	-458	-450
180	200	-41	-33	-68	-60	-113	-105	-157	-149	-227	-219	-275	-267	-331	-323	-416	-408	-511	-503
200	225	-41	-33	-71	-63	-121	-113	-171	-163	-249	-241	-301	-293	-376	-368	-461	-453	-566	-558
225	250	-41	-33	-75	-67	-131	-123	-187	-179	-275	-267	-331	-323	-416	-408	-511	-503	-631	-623
250	280	-47	-36	-85	-74	-149	-138	-209	-198	-306	-295	-376	-365	-466	-455	-571	-560	-701	-690
280	315	-47	-36	-89	-78	-161	-150	-231	-220	-341	-330	-416	-405	-516	-505	-641	-630	-781	-770
315	355	-51	-41	-97	-87	-179	-169	-257	-247	-379	-369	-464	-454	-579	-569	-719	-709	-889	-879
355	400	-51	-41	-103	-93	-197	-187	-283	-273	-424	-414	-519	-509	-649	-639	-809	-799	-989	-979
400	450	-55	-45	-113	-103	-219	-209	-317	-307	-477	-467	-582	-572	-727	-717	-907	-897	-1087	-1077
450	500	-55	-45	-119	-109	-239	-229	-347	-337	-527	-517	-647	-637	-807	-797	-987	-977	-1237	-1227
over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (Es)																	
		P7	P7	R6	R7	S6	S7	T6	T7	U6	U7	V6	V7	X6	X7	Y6	Y7	Z6	Z7

Lampiran 9.

ISO Hole Nearest Dim to Zero (Fundamental Deviation). Holes sizes 400-3150mm.



Deviations in $\mu\text{metres} = (\text{m}^{-6})$

over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (EI)					Fundamental Deviation (Es)									
		D	E	F	G	H	JS	K	M	N	P	R	S	T	U	
500	560	260	145	76	22	0	IT/2	0	-26	-44	-78	-150	-280	-400	-600	
560	630	260	145	76	22	0	IT/2	0	-26	-44	-78	-155	-310	-450	-660	
630	710	290	160	80	24	0	IT/2	0	-30	-50	-88	-175	-340	-500	-740	
710	800	290	160	80	24	0	IT/2	0	-30	-50	-88	-185	-380	-560	-840	
800	900	320	170	86	26	0	IT/2	0	-34	-56	-100	-210	-430	-620	-940	
900	1000	320	170	86	26	0	IT/2	0	-34	-56	-100	-220	-470	-680	-1050	
1000	1120	350	195	98	28	0	IT/2	0	-40	-66	-120	-250	-520	-780	-1150	
1120	1250	350	195	98	28	0	IT/2	0	-40	-66	-120	-260	-580	-840	-1300	
1250	1400	390	220	110	30	0	IT/2	0	-48	-78	-140	-300	-640	-960	-1450	
1400	1600	390	220	110	30	0	IT/2	0	-48	-78	-140	-330	-720	-1050	-1600	
1600	1800	430	240	120	32	0	IT/2	0	-58	-92	-170	-370	-820	-1200	-1850	
1800	2000	430	240	120	32	0	IT/2	0	-58	-92	-170	-400	-920	-1350	-2000	
2000	2240	480	260	130	34	0	IT/2	0	-68	-110	-195	-440	-1000	-1500	-2300	
2240	2500	480	260	130	34	0	IT/2	0	-68	-110	-195	-460	-1100	-1650	-2500	
2500	2800	520	290	145	38	0	IT/2	0	-76	-135	-240	-550	-1250	-1900	-2900	
2800	3150	520	290	145	38	0	IT/2	0	-76	-135	-240	-580	-1400	-2100	-3200	
over	Up to (Incl.)	D	E	F	G	H	JS	K	M	N	P	R	S	T	U	
		Fundamental Deviation (EI)					Fundamental Deviation (Es)									

Lampiran 10. Penyimpangan fundamental dari ukuran 250 sampai dengan 3150 mm.

	Ukuran Nominal (mm)/D										
Dari	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
sampai	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
IT	Penyimpangan (dalam μm)										
1	6	7	8	9	10	11	13	15	18	22	26
2	8	9	10	11	13	15	18	21	25	30	36
3	12	13	15	16	18	21	24	29	35	41	50
4	16	18	20	22	25	28	33	39	46	55	68
5	23	25	27	32	36	40	47	55	65	78	96
6	32	36	40	44	50	56	66	78	92	110	135
7	52	57	63	70	80	90	105	125	150	175	210
8	81	89	97	110	125	140	165	195	230	280	330
9	130	140	155	175	200	230	260	310	370	440	540
10	210	230	250	280	320	360	420	500	600	700	860
11	320	360	400	440	500	560	660	780	920	1100	1350
12	520	570	630	700	800	900	1050	1250	1500	1750	2100
13	810	890	970	1100	1250	1400	1650	1950	2300	2800	3300
14	1300	1400	1550	1750	2000	2300	2600	3100	3700	4400	5400

- EMCO, 1991, *Student's Handbook CNC TU-2A*, Emco Maier Ges.m.b.H,Hallein, Austria.
- EMCO, 1991, *Student's Handbook CNC TU-3A*, Emco Maier Ges.m.b.H,Hallein, Austria.
- EMCO MAIER Ges.m.bh, *Teacher's Handbook EMCO TU-2A*, A-5400 Hallein, Austria, 1990.
- EMCO MAIER Ges.m.bh, *Students's Handbook EMCO TU-2A*, A-5400 Hallein, Austria, 1990.
- Fischer, Kilgus, Leopold, Rohrer, Schiling, *Tabellenbunch Metall*, Keliner Werth 50, 560 Wuppertal 2.
- Fox Valley Technnical College, 2007, *Machine Shop 3 : Milling Machine"Accessories*(<http://its.fvtc.edu/machshop3/basicmill/default.htm>).
- Fox Valley Technnical College, 2007, *Machine Shop 3 : "Types of Milling Machines"Work Holding*(<http://its.fvtc.edu/machshop3/basicmill/default.htm>).
- Fox Valley Technnical College, 2007, *Machine Shop 3 : "Milling Machines" Tool Holding* (<http://its.fvtc.edu/machshop3/basicmill/default.htm>).
- George Schneider Jr, *Cutting Tool Applications*, Prentice Hall (www.toolingandproduction.com).
- Gerling, Heinrichi. (1974). *All about Machine Tools*. New Delhi: Wiley Eastern.
- Hand Out Politeknik Manufaktur Bandung. (1990). *Teori Gerinda Datar*. Bandung: ITB
- Hand Out Politeknik Manufaktur Bandung. (1990). *Teori Gerinda Silindris*. Bandung: ITB
- Headquartes Department of The Army USA, 1996, *Training Circular NO 9-524 : Fundamentals of Machine Tools* , Headquartes Department of The Army USA : Washington DC

John W. Sutherland, 1998, *Turning* (www.mfg.mtu.edu/marc/primers/turning/turn.html), Michigan Technological University's Turning Information Center : Michigan

-----, 2007, *A TUTORIAL ON CUTTING FLUIDS IN MACHINING*.
http://www.mfg.mtu.edu/testbeds/cfest/fluid.html#cfintro_name.

Taufiq Rochim, (1990). *Teori Kerja Bor*. Bandung: Politeknik Manufaktur Bandung.

Taufiq Rochim, (1993). *Teori & Teknologi Proses Pemesinan*. Bandung: Proyek HEDS.

The Hong Kong Polytechnic University, 2007, *Basic Machining and Fitting*.
<http://mmu.ic.polyu.edu.hk/handout/handout.htm>

The Hong Kong Polytechnic University, 2007, *Marking Out, Measurement, Fitting & Assembly*.
<http://mmu.ic.polyu.edu.hk/handout/handout.htm>

The Hong Kong Polytechnic University, 2007, *Metal Cutting Processes 1–Turning*. <http://mmu.ic.polyu.edu.hk/handout/handout.htm>

The Hong Kong Polytechnic University, 2007, *Metal Cutting Processes 2–Milling*., <http://mmu.ic.polyu.edu.hk/handout/handout.htm>

The Hong Kong Polytechnic University, 2007, *Safety Instruction*,
<http://mmu.ic.polyu.edu.hk/handout/handout.htm>

A

absolut, 359, 365, 370, 371, 379, 406, 458,
472, 473, 502
alarm, 86, 359, 406
alur, 20, 153, 161, 171, 172, 174, 188, 198,
199, 200, 208, 217, 219, 229, 234, 242,
280, 282, 283, 286, 295, 298, 309, 310,
317, 359, 371, 379, 406, 472, 489
asutan, 354, 358, 359, 406
attachment, 183
axis, 402, 458, 464, 467

B

bantalan, 20, 21, 87, 351, 402
baut, 6, 8, 12, 155, 171, 194, 198, 219, 221,
254, 256, 259, 269, 273, 280, 281, 310,
317
bor, 87, 218, 234, 243, 244, 245, 246, 247,
249, 250, 251, 252, 253, 256, 257, 258,
259, 260, 261, 265, 266, 286, 317, 352,
353, 406
boring, 161, 218, 234, 242, 244
bubut, 17, 38, 39, 41, 44, 94, 158, 159, 160,
161, 162, 163, 165, 166, 170, 171, 172,
174, 175, 178, 179, 181, 182, 183, 185,
190, 191, 192, 198, 200, 208, 212, 213,
214, 223, 270, 317, 341, 379

C

casting, 28, 31, 33, 34, 35, 36, 37
cekam, 171, 172, 209, 218, 220, 244, 252,
306, 307, 309, 310, 348, 350, 368, 370,
379, 402
cetakan, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36,
37, 38, 486, 489, 491, 492
clamp, 220, 221
clearance, 162, 245
CNC, 41, 170, 185, 205, 208, 210, 212, 290,
347, 348, 350, 351, 352, 354, 355, 356,
357, 358, 359, 364, 367, 368, 379, 401,
402, 406, 445, 446, 447, 448, 449, 450,
451, 453, 454, 456, 457, 458, 459, 462,
464, 465, 467, 468, 469, 470, 474, 475,
476, 507, 508, 515, 519, 522
collet, 171, 217, 308, 309, 317, 402
column, 205, 209, 210, 460
counterboring, 269
current, 493
cutting, 38, 39, 41, 158, 159, 161, 162, 168,
227, 506

D

dial indicator, 93, 310, 311
diameter, 14, 19, 53, 92, 99, 146, 153, 160,
161, 165, 170, 171, 175, 182, 185, 186,
188, 192, 193, 194, 200, 212, 213, 220,
224, 237, 238, 244, 247, 252, 265, 266,
267, 268, 269, 295, 300, 302, 304, 311,
315, 316, 317, 352, 353, 359, 365, 370,
371, 379, 402, 406, 465, 466, 467, 487,
488, 503, 504
diamond, 200
dielectric, 482
dimetris, 112, 113
disket, 358, 359, 367, 368, 406, 467
down milling, 207
dresser, 295, 306
drilling, 39, 161, 234, 263, 337, 338, 341,
472

E

EDM, 38, 481, 482, 483, 486, 487, 488, 489,
490, 491, 492, 493, 494, 507
eksentris, 168, 259
elektrode, 482, 483, 484, 485, 487, 489, 490,
491, 492, 493, 494
end mill, 206, 214, 218, 286, 406
end milling, 206
energi, 23, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 65,
68, 69

F

face milling, 206
feed, 41, 159, 160, 263, 358, 359, 406, 455
ferro, 21, 26, 168, 292

G

ganda, 186, 194, 202, 203, 211, 247
gaya, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16,
18, 22, 54, 172, 217, 218, 224, 256, 262,
334, 451, 466, 467, 468, 497
geometri, 43, 106, 162, 175, 213, 446, 447,
448, 456, 458, 465, 468, 469, 470, 472,
473, 477, 498
gerak makan, 39, 41, 159, 165, 191, 200,
201, 202, 207, 208, 212, 213, 224, 227,
229, 232, 262, 263, 264, 277
gerinda, 39, 41, 162, 198, 287, 289, 290,
292, 295, 297, 298, 299, 300, 302, 303,
306, 311, 315, 316, 317, 334, 336, 495

gips, 23, 28, 31, 33, 34
 Graphite, 486, 490, 491, 492, 507
 grinding 39, 506
 grooving 161, 198, 472
 gurdi, 39, 234, 235, 237, 239, 242, 248, 252,
 253, 262, 263, 265, 266, 337, 341, 491

H

helix, 42, 188, 219, 234, 235, 245, 246, 247
 holder, 163, 218, 402
 horisontal, 108, 112
 HSS, 160, 162, 163, 167, 168, 175, 176,
 178, 181, 182, 188, 190, 191, 214, 215,
 227, 248, 317, 406

I

imperial, 94, 95, 96
 indicator, 305
 insert, 162, 163
 ion, 484
 ISO, 105, 120, 139, 164, 214, 216, 359, 379,
 458, 462, 498, 499, 501, 503, 504, 511,
 512, 527, 529, 502
 isolator, 483
 isometris, 109, 110, 111, 112

J

jam ukur, 89, 90, 94

K

karbida, 168, 169, 175, 176, 182, 188, 190,
 214, 227, 247, 287, 317, 336, 487, 492
 kartel, 200, 201, 202, 203
 kebisingan, 57, 60, 61, 62, 63
 kecepatan potong, 159, 160, 191, 193, 198,
 200, 212, 213, 224, 226, 227, 247, 262,
 265, 266, 277, 295, 311, 334, 337, 340,
 359, 406, 446, 466, 492
 kedalaman potong, 158, 159, 160, 165, 172,
 177, 192, 193, 212, 213, 223, 229, 232,
 262, 466, 467
 kekerasan, 21, 22, 57, 295, 311, 317, 489,
 496
 kepala lepas, 170, 172, 173, 184, 185, 303,
 307, 308, 353
 keselamatan, 56, 58, 66, 67
 kisar, 185, 186, 188, 191, 193, 194, 266,
 267, 379
 knee, 205, 209, 210
 knurling 200
 komparator, 93, 502

konduktor, 47, 482, 483
 konversi, 46, 47, 49, 51, 94, 95, 450
 kopel, 7, 8, 18, 84

L

lathe, 304, 307
 lead, 194
 lubang 33, 37, 126, 127, 153, 154, 161, 171,
 182, 198, 230, 231, 234, 235, 237, 239,
 240, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 249,
 251, 252, 253, 254, 257, 259, 260, 261,
 265, 266, 268, 269, 286, 307, 308, 309,
 316, 317, 337, 338, 339, 379, 406, 472,
 473, 489, 490, 491, 497, 498, 499, 500,
 501, 502

M

machine, 39, 212, 270, 337, 449, 451, 470
 mal, 105, 106, 108, 190, 250
 manual, 29, 30, 57, 84, 106, 170, 183, 185,
 190, 205, 207, 212, 249, 263, 289, 290,
 317, 337, 351, 354, 356, 358, 402, 406,
 466, 467, 522
 mata bor, 161, 234, 235, 242, 243, 244, 245,
 246, 247, 249, 250, 252, 253, 254, 257,
 263, 265, 266, 267, 268, 353, 379, 406
 material, 14, 21, 22, 28, 41, 43, 49, 57, 62,
 160, 162, 166, 167, 173, 212, 214, 244,
 246, 247, 277, 295, 311, 317, 343, 359,
 406, 467, 468, 469, 486, 488, 489, 491,
 493, 496, 502, 503
 metris, 94, 95
 mikrometer, 91, 92
 milling 38, 39, 205, 206, 207, 208, 209,
 212, 216, 225, 317, 337, 406
 mineral, 23, 24, 335, 336, 345, 346
 momen, 6, 7, 9, 12, 15, 17, 18, 19, 262
 mur, 6, 8, 87, 155, 273, 310, 311, 317

N

nonferro, 21
 nonius, 90

O

overcut, 493

P

pahat, 33, 38, 39, 41, 43, 87, 158, 159, 160,
 161, 162, 163, 164, 166, 167, 168, 169,
 170, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178,

- 179, 180, 181, 182, 183, 185, 186, 188, 190, 191, 192, 193, 198, 200, 201, 202, 203, 208, 234, 235, 246, 247, 252, 253, 265, 266, 270, 272, 273, 275, 276, 277, 281, 282, 283, 286, 317, 334, 336, 337, 338, 340, 352, 359, 365, 369, 370, 371, 379, 401, 406, 446, 447, 448, 449, 450, 452, 454, 455, 458, 459, 460, 462, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 473, 476, 489, 492, 496, 511, 512
- parameter, 41, 159, 181, 182, 212, 262, 359, 371, 379, 406, 451, 476
- parting-off, 161
- pemesinan, 38, 39, 40, 41, 42, 89, 158, 161, 167, 168, 170, 174, 178, 181, 182, 185, 191, 205, 208, 209, 211, 227, 234, 235, 241, 262, 277, 298, 300, 311, 334, 335, 336, 340, 341, 344, 448, 451, 458, 468, 469, 470, 471, 472, 476, 482, 486, 489, 494, 496, 503, 505
- pemrograman, 348, 359, 365, 379, 401, 406, 454, 466, 468, 469, 472, 473, 487
- pendingin, 31, 36, 37, 41, 51, 200, 234, 235, 247, 248, 249, 295, 303, 317, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 446, 449, 466, 472, 476
- perencanaan, 81, 185, 224, 501
- perkakas, 17, 38, 41, 86, 87, 93, 94, 239, 249, 258, 261, 270, 287, 317, 334, 337, 338, 340, 341, 345, 346, 348, 359, 446, 447, 448, 449, 451, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 462, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 476, 477, 486, 489, 496, 497
- perspektif, 113
- pitch, 185, 186, 188, 191, 193, 194, 200
- planner, 270, 272, 273
- plastik, 28, 34, 36, 45, 81, 82, 83, 244, 467
- plotter, 371, 406
- poligon, 4, 5, 7
- poros, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 51, 53, 87, 131, 132, 165, 166, 193, 198, 217, 224, 240, 246, 273, 289, 290, 307, 308, 309, 311, 317, 446, 447, 454, 457, 459, 497, 498, 499, 501, 502
- portable, 236, 237, 238
- profil, 46, 137, 154, 172, 194, 211, 229, 231, 276, 317
- profil ulir, 194
- proyeksi, 6, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 119, 120, 121, 129, 130, 131, 135, 139
- pulley, 353
- putaran, 7, 8, 16, 51, 52, 53, 159, 160, 165, 166, 173, 177, 178, 179, 181, 191, 194, 201, 206, 207, 208, 212, 213, 224, 229, 230, 231, 232, 270, 297, 306, 311, 317, 350, 351, 353, 356, 357, 359, 365, 368, 370, 379, 402, 406, 446, 454, 456, 457, 459, 461, 472, 475, 476, 487, 502

R

- ragum, 93, 219, 220, 221, 222, 225, 226, 242, 243, 244, 253, 254, 259, 260, 270, 279, 280, 283, 293, 294, 304, 406
- rake, 162
- Ram EDM, 482, 487, 489, 493, 495
- reaming, 268, 269, 341
- resin, 34
- resultan, 4, 5, 6

S

- satuan, 3, 7, 10, 11, 47, 94, 95, 160, 212, 213, 227, 354, 357, 359, 406, 454, 503, 504
- screw, 193, 447, 456
- sekrup, 38, 39, 270, 275, 276, 277, 279, 281, 283, 317, 460
- senter, 93, 171, 172, 182, 184, 249, 257, 303, 304, 307, 308, 311, 315, 353, 368, 370, 379, 406
- setting, 158, 172, 173, 182, 190, 211, 298, 368, 370, 371, 379, 406
- shaping, 38, 39, 270
- simetris, 144, 145, 191, 265, 503
- simulasi, 371, 376, 378, 379, 406, 454
- Sinker EDM, 482
- sinus, 220, 294
- sisipan, 162, 163, 164, 175, 188, 190, 214, 216, 217, 247, 293, 359, 379, 406, 511, 512
- skala, 3, 32, 89, 90, 91, 92, 112, 113, 146, 259, 447, 456
- sleeve, 243, 252, 253
- slotter, 270, 272
- sparks, 493
- spindel, 159, 173, 181, 191, 193, 201, 202, 207, 211, 212, 225, 229, 230, 232, 237, 238, 240, 241, 242, 243, 258, 260, 303, 304, 306, 307, 308, 309, 311, 317, 348, 352, 406, 449, 454, 459, 460, 461, 462, 465, 466, 472, 475, 476
- spindle, 17, 352, 357, 359, 365, 379, 406
- stamping, 488
- step motor, 351, 359, 402, 406
- sudut, 2, 4, 6, 16, 18, 102, 105, 108, 109, 110, 112, 113, 120, 136, 158, 162, 165, 176, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 190, 191, 192, 194, 213, 214, 219, 220, 224, 229, 239, 245, 246, 247, 249, 250, 251,

252, 253, 254, 265, 266, 273, 277, 283,
294, 295, 317, 371, 406, 489, 495
sudut ulir, 186, 187, 191, 194
sumbu, 4, 5, 6, 12, 20, 21, 93, 94, 109, 110,
111, 112, 113, 117, 118, 119, 128, 136,
137, 140, 141, 144, 151, 158, 159, 171,
173, 174, 183, 184, 190, 191, 194, 200,
201, 207, 218, 225, 250, 257, 265, 266,
279, 289, 317, 348, 351, 353, 354, 356,
357, 358, 359, 364, 368, 369, 370, 371,
379, 402, 406, 448, 449, 450, 452, 455,
458, 459, 460, 461, 462, 464, 466, 467,
468, 473, 475, 489, 494, 495
swivel, 253, 254, 459

T

tap, 8, 87, 270, 273, 337
taper, 158, 183, 218
tapping, 269
tegangan, 11, 12, 14, 15, 16, 19, 22, 43, 246,
277, 295, 311, 317, 336, 483, 484, 485,
489
temperatur, 36, 41, 166, 167, 334, 335, 490,
491, 492, 497
thread, 161
threading, 191, 342, 472
tirus, 158, 173, 183, 184, 185, 217, 218,
252, 253, 302, 316, 317, 365, 495
tool, 38, 39, 41, 158, 163, 173, 176, 218,
277, 298, 359, 365, 369, 370, 371, 379,
402, 406, 451, 467, 508, 511, 518, 521
tool post, 173, 176
training unit, 402
transmisi, 17, 18, 241, 242, 352, 446, 454,
456
tunggal, 39, 57, 158, 162, 174, 176, 182,
186, 194, 237, 238, 242, 306, 359
tungsten, 486, 491, 492
turbin, 46, 49, 51, 53, 54
turning, 38, 158, 161, 191, 341, 506, 509

U

ulir, 87, 146, 161, 172, 174, 183, 185, 186,
187, 188, 190, 191, 192, 193, 194, 208,
230, 240, 259, 266, 267, 268, 269, 304,
305, 306, 317, 342, 352, 359, 379, 447,
459, 461, 523
ulir metris, 146, 186, 190, 192, 267
universal, 219, 239, 240, 294, 302, 304
up milling 207

V

vektor, 2, 10

vertikal, 6, 108, 116, 270, 401, 402, 406
vise, 221, 222, 253, 254

W

Wire EDM, 482, 487, 489, 492, 494, 495
workshop, 170, 234

ISBN 978-979-060-115-4
ISBN 978-979-060-116-1

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. 25,586.00