



TEKNIK PRODUKSI MESIN INDUSTRI JILID 2

untuk SMK

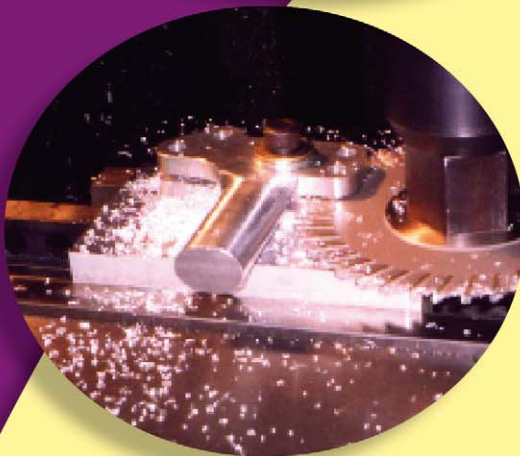
Wirawan Sumbodo, dkk.



Wirawan Sumbodo, dkk.

Teknik Produksi Mesin Industri JILID 2

untuk
Sekolah Menengah Kejuruan



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah

Departemen Pendidikan Nasional

Wirawan Sumbodo dkk

TEKNIK PRODUKSI MESIN INDUSTRI

SMK

JILID 2



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 PRODUKSI MESIN INDUSTRI

Untuk SMK
JILID 2

Penulis : Wirawan Sumbodo

Pendukung : Sigit Pujiono
Agung Pambudi
Komariyanto
Samsudin Anis
Widi Widayat

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

SUM SUMBODO, Wirawan
t Teknik Produksi Mesin Industri untuk SMK Jilid 2 /oleh
Wirawan Sumbodo, Sigit Pujiono, Agung Pambudi, Komariyanto,
Samsudin Anis, Widi Widayat ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan
Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen
Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan
Nasional, 2008.
xii, 242 hlm
Daftar Pustaka : LAMPIRAN A.
Glosarium : LAMPIRAN D.
Indeks : LAMPIRAN E.
ISBN : 978-979-060-139-0
ISBN : 978-979-060-139-2

Diterbitkan oleh

Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Tahun 2008

KATA SAMBUTAN

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

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

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

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan buku dengan judul “Teknik Produksi Industri Mesin” dengan baik.

Teknik produksi industri mesin mempunyai peranan yang penting. Perkembangan dunia industri mendorong kemajuan yang pesat dalam teknik industri, mulai dari penggunaan perkakas tangan, mesin konvensional hingga mesin perkakas yang berbasis komputer dan yang otomatis. Buku ini disusun guna membantu peningkatan pengetahuan maupun skill dalam teknik produksi industri mesin baik di dunia pendidikan maupun non pendidikan.

Bersama ini Penulis sampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi baik material maupun spiritual dari persiapan hingga terbentuknya buku ini.

Meskipun penulis telah berupaya semaksimal mungkin untuk penyempurnaan buku ini, namun tentu masih terdapat kesalahan atau kurang sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun.

Semoga buku ini bermanfaat bagi perkembangan teknik produksi industri mesin pada khususnya dan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada umumnya.

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal
KATA SAMBUTAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
PETA KOMPETENSI	xii

JILID 1

BAB I MEMAHAMI DASAR-DASAR KEJURUAN

1. Statika dan Tegangan	1
1.1 Statika	1
1.2 Tegangan	9
2. Mengenal Komponen/Elemen Mesin	14
2.1 Poros	14
3. Mengenal Material dan Mineral	20
3.1 Berbagai Macam Sifat Logam	20
3.2 Mineral	21
3.3 Berbagai Jenis Sumber Daya Mineral	22
3.4 Pemurnian Mineral	22
4. Rangkuman	25

BAB II MEMAHAMI PROSES-PROSES DASAR KEJURUAN 29

1. Mengenal Proses Pengecoran Logam	29
1.1 Pengertian	29
1.2 Pembuatan Cetakan Manual	30
1.3 Pengolahan pasir Cetak	32
1.4 Pengecoran Cetakan <i>Ekspandable</i> (<i>Ekspandable Mold Casting</i>)	32
1.5 Pengecoran dengan Gips	33
1.6 Pengecoran dengan Pasir (<i>Sand Casting</i>)	33
1.7 Pengecoran dengan Gips (<i>Plaster Casting</i>)	34
1.8 Pengecoran dengan Gips, Beton, atau Plastik Resin.....	35
1.9 Pengecoran Sentrifugal (<i>Centrifugal Casting</i>).....	35
1.10 Die Casting.....	36
1.11 Kecepatan Pendinginan.....	38
2. Mengenal Proses Pembentukan Logam	39
2.1 Pengolahan Logam (<i>Metal Working</i>)	39
3. Mengenal Proses Mesin Konversi Energi	43
3.1 Pengertian Energi	43
3.2 Macam-Macam Energi	44
3.3 Klasifikasi Mesin Konversi Energi	47
4. Rangkuman	51
5. Tes Formatif	51

BAB III MEREALISASIKAN KERJA AMAN BAGI MANUSIA, ALAT DAN LINGKUNGAN

1. Mengetahui Peraturan K3	55
1.1 Pengertian	55
1.2 Sasaran Undang-Undang	55
1.3 Tugas dan Tanggung Jawab Perusahaan	56
1.4 Tugas dan Tanggung Jawab Pegawai	56
1.5 Komite Keselamatan dan Kesehatan Kerja	57
2. Mengetahui Prosedur Penerapan K3	57
2.1 Simbol Keselamatan Kerja	57
3. Menerapkan Prosedur K3 Secara Tepat dan Benar	60
3.1 Tanggungjawab Perusahaan pada Lingkungan Kerja	60
3.2 Rehabilitasi	61
4. Rangkuman	62

BAB IV GAMBAR TEKNIK

1. Mengetahui Alat Menggambar Teknik	65
1.1 Kertas Gambar	65
1.2 Pensil Gambar	66
1.3 Rapido	67
1.4 Penggaris	68
1.5 Jangka	69
1.6 Penghapus dan alat Pelindung Penghapus	70
1.7 Alat-alat Penunjang Lainnya	71
1.8 Meja Gambar	72
1.9 Mesin Gambar	73
2. Lembar Kerja	74
2.1 Alat	74
2.2 Bahan	74
2.3 Kesehatan dan Keselamatan Kerja	74
2.4 Langkah Kerja	74
3. Membaca Gambar Teknik	75
3.1 Proyeksi Piktorial	75
3.2 Proyeksi Isometris	75
3.3 Proyeksi Dimentris	78
3.4 Proyeksi Miring (Sejajar)	79
3.5 Gambar Perspektif	79
3.6 Macam-macam Pandangan	81
3.7 Bidang-Bidang Proyeksi	81
3.8 Simbol Proyeksi dan Anak Panah	86
3.9 Penentuan Pandangan	87
3.10 Gambar Potongan	92
3.11 Garis Arsiran	102
3.12 Ukuran pada Gambar Kerja	105
3.13 Penulisan Angka Ukuran	108
3.14 Pengukuran Ketebalan	113
3.15 Toleransi	123
3.16 Suaian	128
4. Rangkuman	130
5. Soal Latihan (tes formatif)	135

BAB V PROSES PRODUKSI DENGAN PERKAKAS TANGAN

1. Kerja Bangku	137
1.1 Mengikir	137
1.2 Melukis	150
1.3 Mengebor	169
1.4 Mereamer	177
1.5 Menggergaji	179
1.6 Memahat.....	184
1.7 Menyetempel	190
1.8 Mengetap dan Menyenei	192
1.9 Menyekrap	197
1.10 Menggerinda	199
2. Kerja Pelat	208
2.1 Membengkok, melipat, dan menekuk.....	208
2.2 Menyambung	211
3. Lembar Pekerjaan.....	215
3.1 Alas penindih kertas	215
3.2 Mal mata bor.....	216
3.3 Pengepasan Persegi	217
3.4 Pengepasan Ekor Burung.....	218
3.5 Kotak.....	219
3.6 Pengasahan penitik,penggores,pahat tangan dan mata bor..	220
4. Rangkuman	222
5. Tes Formatif	224
5.1 Soal-soal	224
5.2 Kunci Jawaban	224

JILID 2

BAB VI PROSES PRODUKSI DENGAN MESIN KONVENSIONAL

1. Mesin Bubut Konvensional	227
1.1 Pengertian Mesin Bubut Konvensional	227
1.2 Fungsi Mesin Bubut Konvensional	227
1.3 Jenis-jenis Mesin Bubut Konvensional	229
1.4 Bagian-bagian Utama Mesin Bubut Konvensional (Biasa)	238
1.5 Dimensi Utama Mesin Bubut.....	246
1.6 Perbedaan Mesin Bubut Konvensional dengan CNC.....	247
1.7 Alat Kelengkapan Mesin Bubut.....	247
1.8 Alat potong.....	253
1.9 Kecepatan Potong (<i>Cutting Speed</i>)	260
1.10 Waktu Pengerjaan	262
1.11 Cara Membubut.....	265
1.12 Tes Formatif.....	276
2. Mesin Frais Konvensional	278
2.1 Pengertian	278
2.2 Jenis-jenis Mesin Frais	280
2.3 Alat-alat Potong (<i>cutter</i>) Mesin Frais	286
2.4 Jenis-jenis Bahan Pisau.....	294
2.5 Perlengkapan Mesin Frais	295

2.6	Penggunaan Kepala Pembagi (<i>Dividing Head</i>)	300
2.7	Penggunaan Rotary Table	301
2.8	Kecepatan Potong (<i>Cutting Speed</i>).....	301
2.9	Waktu Pengerjaan	303
2.10	Langkah-langkah pengoperasian Mesin Frais	305
2.11	Jenis-jenis Pemotongan/pemakanan pada Mesin Frais.....	306
2.12	Pisau Roda Gigi (<i>Gear Cutters</i>).....	320
3.	Teknik Pengukuran pada Proses Produksi	331
3.1	Jenis Pengukuran	331
3.2	Metode Pengukuran	331
3.3	Alat Ukur Mistar Geser (<i>Vernier Caliper</i>) dan Mikrometer Luar (<i>Outside Micrometer</i>)	332
4.	Pembacaan Toleransi pada Gambar Kerja	337
4.1	Pengkodean Toleransi.....	337
5.	Keselamatan Kerja Pada Saat Proses Produksi.....	345
5.1	Peralatan Keselamatan Kerja pada Proses Produksi.....	345
5.2	Resiko-resiko dalam mengoperasikan mesin perkakas dan cara menghindarinya.....	346
6.	Rangkuman	350

BAB VII PROSES PRODUKI BERBASIS KOMPUTER

1.	Computer Aided Design (CAD)	353
1.1	Pengertian CAD	349
1.2	Cara Kerja	354
1.3	Sistem Koordinat Absolut, Relatif, Polar	354
1.4	Perintah Menggambar Pada AutoCAD	356
1.5	Membuat Gambar Solid 3D dengan AutoCAD	386
2.	Computer Numerically Controlled (CNC)	402
2.1	Sejarah Mesin CNC.....	402
2.2	Dasar-dasar Pemrograman Mesin CNC.....	405
2.3	Gerakan Sumbu Utama pada Mesin CNC.....	409
2.4	Standarisasi Pemrograman Mesin Perkakas CNC.....	409
2.5	Siklus Pemrograman	421
2.6	Menentukan titik koordinat benda Kerja.....	428
2.7	Kecepatan Potong dan Kecepatan Asutan.....	433
2.8	Mengoperasikan mesin CNC EMCO TU 2A.....	434
2.9	Membuat Benda Kerja Menggunakan mesin CNC.....	436
2.10	Membuat Benda Kerja Berbasis <i>Software</i> AutoCAD	442
2.11	Soal Formatif.....	443
3.	EDM (<i>Electrical Discharge Machining</i>)	465
3.1	EDM Konvensional	366
3.2	Pembuatan alat cetak logam (<i>coinage de making</i>)	466
3.3	Drilling EDM.....	467
3.4	Kabel EDM (<i>Wire Cut EDM</i>)	467
4.	Rangkuman	468

JILID 3

BAB VIII SISTEM PNEUMATIK DAN HYDROLIK

1. Pengertian Pneumatik	469
2. Karakteristik Udara Kempa	469
3. Aplikasi Penggunaan Pneumatik	469
4. Efektifitas Pneumatik	470
5. Keuntungan dan Kerugian Penggunaan Udara Kempa	471
5.1 Keuntungan	471
5.2 Kerugian/Kelemahan Pneumatik	472
6. Klasifikasi Sistem Pneumatik	473
7. Peralatan Sistem Pneumatik	474
7.1 Kompresor (Pembangkit Udara Kempa)	474
7.2 Unit Pengolahan Udara Bertekanan (<i>Air Service Unit</i>)	480
7.3 Pemeriksaan Udara Kempa dan Peralatan	484
7.4 Konduktor dan Konektor	485
7.5 Katup-Katup Pneumatik	487
7.6 Unit Penggerak (<i>Working Element = Aktuator</i>)	493
7.7 Air Motor (<i>Motor Pneumatik</i>)	496
7.8 Jenis-Jenis Katup Pneumatik	497
7.9 Model Pengikat (<i>Type if Mounting</i>)	509
8. Sistem Kontrol Pneumatik	510
8.1 Pengertian Sistem Kontrol Pneumatik	510
9. Dasar Perhitungan Pneumatik	511
9.1 Tekanan Udara	513
9.2 Analisa Aliran Fluida (V)	514
9.3 Kecepatan Torak	514
9.4 Gaya Torak (F)	515
9.5 Udara yang Diperlukan	515
9.6 Perhitungan Daya Kompresor	516
9.7 Pengubahan Tekanan	516
10. Analisis Kerja Sistem Pneumatik	517
10.1 Pengendalian Langsung Silinder Sederhana	517
10.2 Pengendalian Tak Langsung Silinder Penggerak Ganda	518
10.3 Pengendalian Gerak Otomatis Silinder Penggerak Ganda	520
11. Aplikasi Pneumatik dalam Proses Produksi	521
11.1 Pintu Bus	521
11.2 Penahan/Penjepit Benda (ragum).....	535
11.3 Pemotong Plat	535
11.4 Membuat Profil Plat	535
11.5 Pengangkat dan Penggeser Benda	536
12. Pengangkat dan Penggeser Material Full Pneumatik	537
12.1 Cara Kerja	537
13. Tes Formatif	538
13.1 Soal-soal	538
13.2 Kunci Jawaban	538
14. System Hidrolik	541
14.1 Cairan Hidrolik.....	541
14.2 Komponen Hidrolik.....	551
15. Pengendalian Hidrolik	555
15.1 Klasifikasi Pengendalian Hidrolik.....	555
15.2 Katup Pengatur Tekanan.....	556

16. Dasar-Dasar Perhitungan Hidrolik	556
16.1 Prinsip Hukum Pascal	556
16.2 Perhitungan Kecepatan Torak	558
16.3 Pemeliharaan Cairan Hidrolik	559
16.4 Pompa Roda Gigi dalam Tipe Crescent	561
16.5 Pompa Roda Gigi dalam Tipe Geretor	561
16.6 <i>Balanced Vane</i> (Pompa Kipas Balanced)	562
16.7 Pompa Torak Radial (<i>Radial Piston Pump</i>)	563
16.8 <i>Bent Axis Piston</i> (Pompa Torak dengan Poros Tekuk)	563
16.9 Instalasi Pompa Hidrolik	564
16.10 Pengetesan Efisiensi Pompa Hidrolik	566
16.11 Unit Pengatur (<i>Control Element</i>)	567
17. Soal Formatif	568
17.1 Soal-soal	568
17.2 Kunci jawaban	568
18. Rangkuman	570

BAB IX PROSES PRODUKSI INDUSTRI MODERN

1. Sejarah Perkembangan Otomasi Industri	573
2. Otomasi Teknik Produksi	575
3. PLC (<i>Programmable Logic Controller</i>)	577
3.1 Sejarah PLC	577
3.2 Pengenalan Dasar PLC	578
3.3 Instruksi-instruksi Dasar PLC	580
3.4 Device Masukan	585
3.5 Modul Masukan	586
3.6 Device Masukan Program	587
3.7 Device Keluaran	588
3.8 Modul Keluaran	589
3.9 Perangkat Lunak PLC	589
3.10 Perangkat Keras PLC	589
3.11 <i>Ladder Logic</i>	590
3.12 Hubungan <i>Input/Output (I/O)</i> dengan Perangkat Lunak	590
3.13 <i>Processor</i>	591
3.14 Data dan Memory PLC	593
3.15 Programman Dasar PLC OMRON dengan Komputer	596
3.16 Cara pengoperasian SYSWIN	596
3.17 Penggunaan Fungsi Bit Kontrol	602
3.18 Contoh Aplikasi dan Pembuatan Diagram Ladder Menggunakan Syswin	605
4. Rangkuman	616

BAB X TEKNOLOGI ROBOT

1. Pengenalan Robot	619
1.1 Istilah Robot	620
1.2 Komponen Dasar	621
1.3 Gerakan Robot	625
1.4 Tingkatan Teknologi	627
2. Operasi dan Fitur Manipulator	629
2.1 Sistem Koordinat Lengan Robot (<i>Arm Geometry</i>)	629

2.2	Rotasi Wrist	634
2.3	Sistem Penggerak Manipulator	634
2.4	Jangkauan Kerja	635
3.	Aplikasi Robot	637
3.1	Penanganan Material	638
3.2	Perakitan	640
3.3	Pengecatan	640
3.4	Pengelasan	642
4.	Efektor	643
4.1	<i>Gripper</i>	643
4.2	Klasifikasi <i>Gripper</i>	644
4.3	Jenis <i>Gripper</i>	644
4.4	Sensor dan Transduser	647
4.5	Sensor Kontak	648
4.6	Sensor Non-Kontak	648
4.7	Sensor Gaya dan Momen	651
4.8	Sensor Temperatur	652
4.9	Sensor Cair dan Gas	655
4.10	Sensor Jarak dan Sudut	657
4.11	<i>Linear Position</i>	658
4.12	Sensor Kimia	659
5.	Aktuator	660
5.1	Solenoids	660
5.2	Katup	661
5.3	Silinders	661
5.4	Motor Listrik	662
6.	Tes Formatif	666
7.	Rangkuman	669

BAB XI PENUTUP

1.	Kesimpulan	671
2.	Saran	674

LAMPIRAN A. DAFTAR PUSTAKA

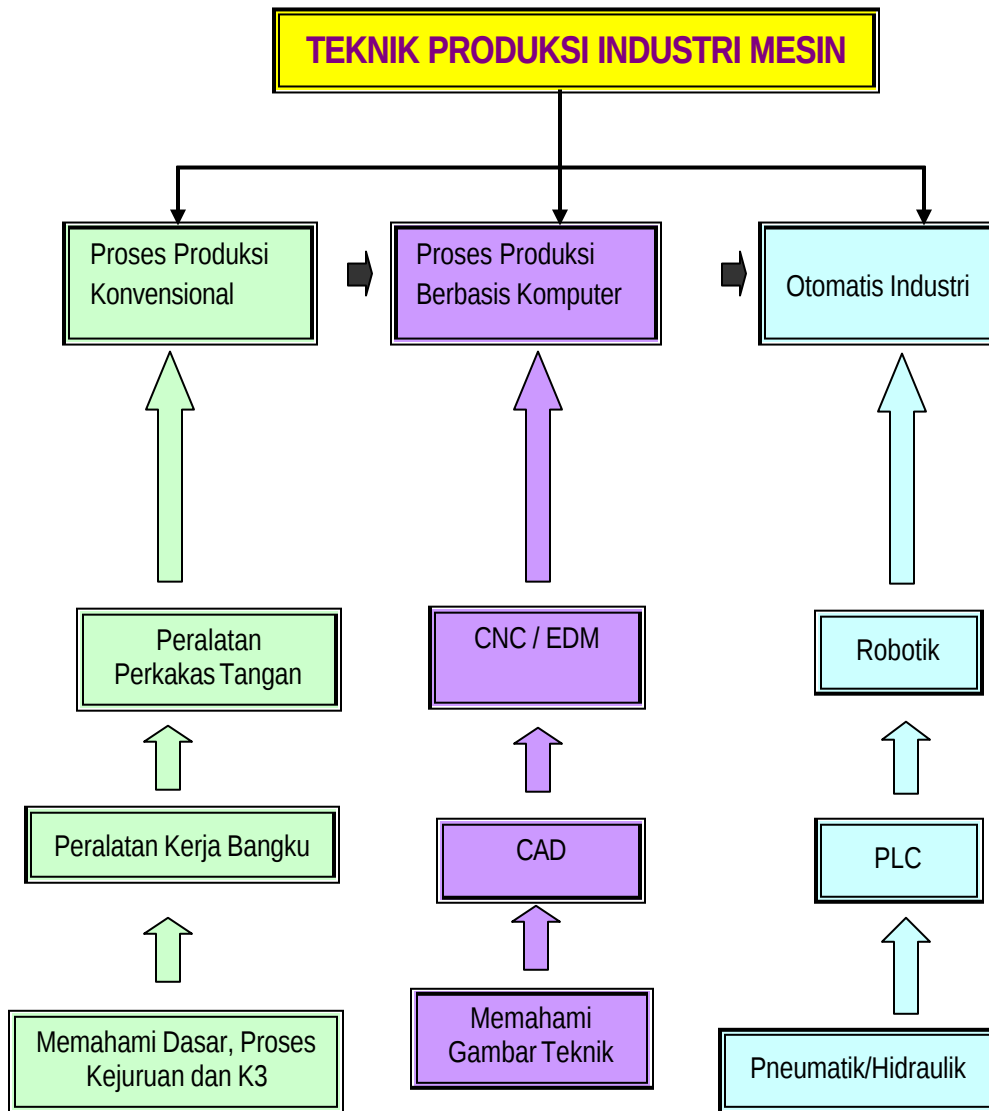
LAMPIRAN B. DAFTAR TABEL

LAMPIRAN C. DAFTAR GAMBAR

LAMPIRAN D. GLOSARIUM

LAMPIRAN E. INDEX

PETA KOMPETENSI



BAB VI

PROSES PRODUKSI DENGAN MESIN KONVENSIONAL

1. Mesin Bubut Konvensional

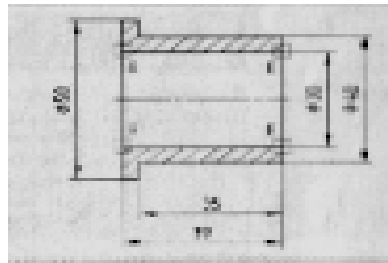
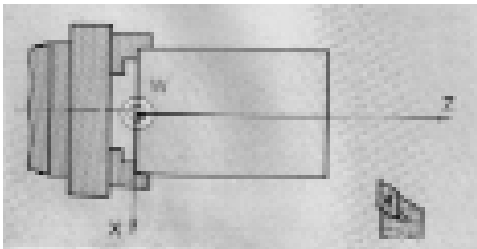
1.1. Pengertian Mesin Bubut Konvensional

Mesin bubut (*turning machine*) adalah suatu jenis mesin perkakas yang dalam proses kerjanya bergerak memutar benda kerja dan menggunakan mata potong pahat (*tools*) sebagai alat untuk menyayat benda kerja tersebut. Mesin bubut merupakan salah satu mesin proses produksi yang dipakai untuk membentuk benda kerja yang berbentuk silindris. Pada prosesnya benda kerja terlebih dahulu dipasang pada *chuck* (pencekam) yang terpasang pada spindel mesin, kemudian spindel dan benda kerja diputar dengan kecepatan sesuai perhitungan. Alat potong (pahat) yang dipakai untuk membentuk benda kerja akan disayatkan pada benda kerja yang berputar. Umumnya pahat bubut dalam keadaan diam, pada perkembangannya ada jenis mesin bubut yang berputar alat potongnya, sedangkan benda kerjanya diam. Dalam kecepatan putar sesuai perhitungan, alat potong akan mudah memotong benda kerja sehingga benda kerja mudah dibentuk sesuai yang diinginkan.

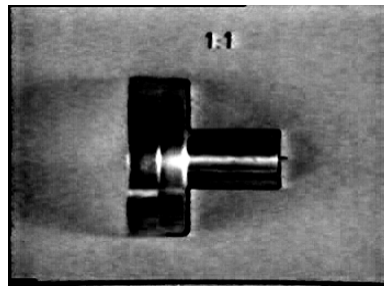
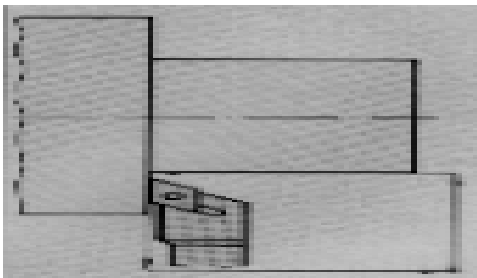
Dikatakan konvensional karena untuk membedakan dengan mesin-mesin yang dikontrol dengan komputer (*Computer Numerically Controlled*) ataupun kontrol numerik (*Numerical Control*) dan karena jenis mesin konvensional mutlak diperlukan keterampilan manual dari operatornya. Pada kelompok mesin bubut konvensional juga terdapat bagian-bagian otomatis dalam pergerakannya bahkan juga ada yang dilengkapi dengan layanan sistem otomatisasi baik yang dilayani dengan sistem hidrolik, pneumatik ataupun elektrik. Ukuran mesinnya pun tidak semata-mata kecil karena tidak sedikit mesin bubut konvensional yang dipergunakan untuk mengerjakan pekerjaan besar seperti yang dipergunakan pada industri perkapalan dalam membuat atau merawat poros baling-baling kapal yang diameternya mencapai 1000 mm.

1.2. Fungsi Mesin Bubut Konvensional

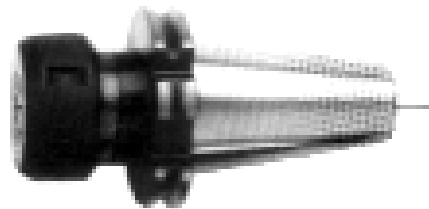
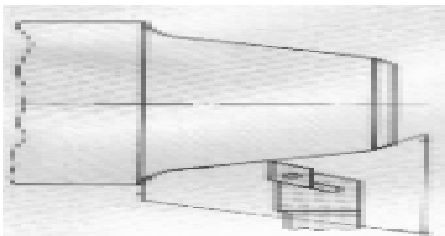
Fungsi utama mesin bubut konvensional adalah untuk membuat/memproduksi benda-benda berpenampang silindris, misalnya poros lurus (Gambar 1), poros bertingkat (*step shaft*) (Gambar 2), poros tirus (*cone shaft*) (Gambar 3), poros beralur (*groove shaft*) (Gambar 4), poros berulir (*screw thread*) (Gambar 5) dan berbagai bentuk bidang permukaan silindris lainnya misalnya anak buah catur (raja, ratu, pion dll)



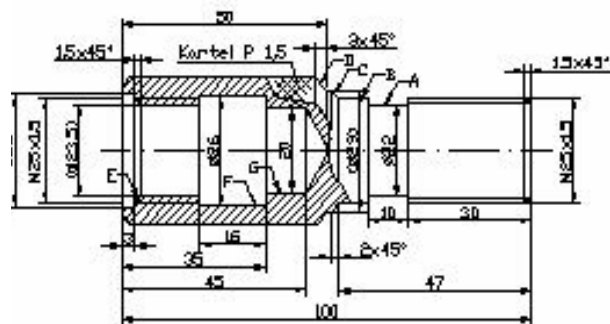
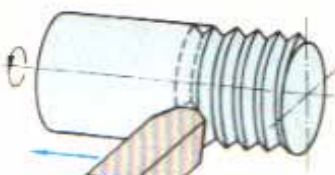
Gambar 1. Poros Lurus



Gambar 2. Poros Bertingkat (*Step Shaft*)



Gambar 3. Poros Tirus (*Cone Shaft*)



Gambar 4. Poros Beralur dan Berulir (*Screw Thread*)

1.3 Jenis-jenis Mesin Bubut Konvensional

Dilihat dari segi dimensinya, mesin bubut konvensional dibagi dalam beberapa kategori, yaitu : mesin bubut ringan, mesin bubut sedang, mesin bubut standar, dan mesin bubut berat. Mesin bubut berat digunakan untuk pembuatan benda kerja yang berdimensi besar, terbagi atas mesin bubut beralas panjang, mesin bubut lantai, mesin bubut tegak. Adapun gambarnya dapat dilihat sebagai berikut:

1.3.1 Mesin Bubut Ringan

Mesin bubut ringan (Gambar 5) dapat diletakan di atas meja, dan mudah dipindahkan sesuai dengan kebutuhan, Benda kerjanya berdimensi kecil (mini). Jenis ini umumnya digunakan untuk membubut benda-benda kecil dan biasanya dipergunakan untuk industri rumah tangga (*home industri*). Panjangnya mesin umumnya tidak lebih dari 1200 mm, dan karena bebanya ringan dapat diangkat oleh satu orang.



Gambar 5. Mesin bubut ringan

1.3.2 Mesin Bubut Sedang

Jenis mesin bubut sedang (Gambar 6) dapat membubut diameter benda kerja sampai dengan 200 mm dan panjang sampai dengan 100 mm cocok untuk industri kecil atau bengkel-bengkel perawatan dan pembuatan komponen. Umumnya digunakan pada

dunia pendidikan atau pusat pelatihan, karena harganya terjangkau dan mudah dioperasikan.



Gambar 6. Mesin bubut sedang

1.3.3 Mesin Bubut Standar

Jenis mesin bubut mesin bubut standar (Gambar 7) disebut sebagai mesin bubut standar karena disamping memiliki komponen seperti pada mesin ringan dan sedang juga telah dilengkapi berbagai kelengkapan tambahan yaitu keran pendingin, lampu kerja, bak penampung beram dan rem untuk menghentikan mesin dalam keadaan darurat

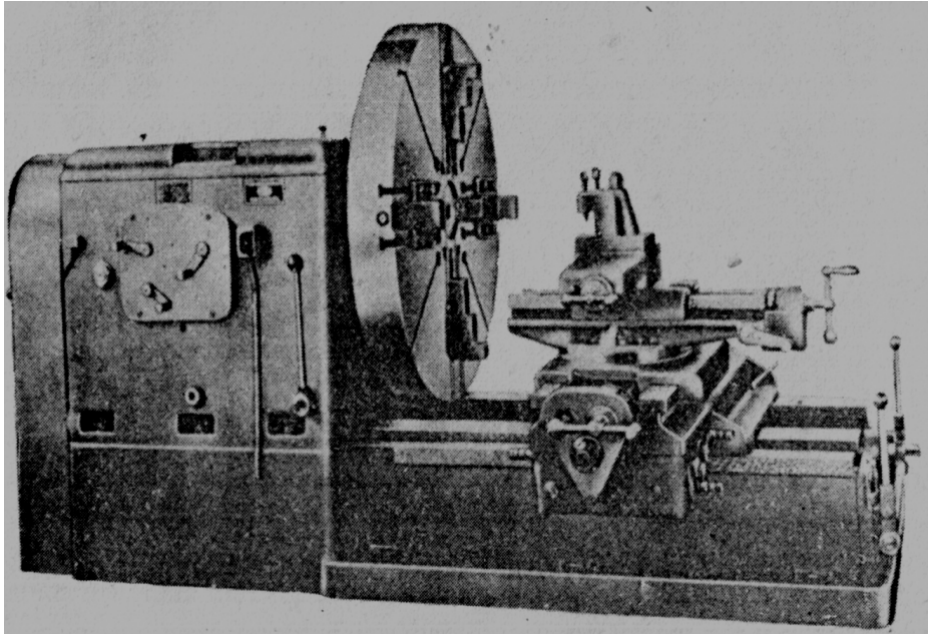


Gambar 7. Mesin bubut standar

1.3.4 Mesin Bubut Berat

1.3.4.1 Mesin bubut beralas panjang

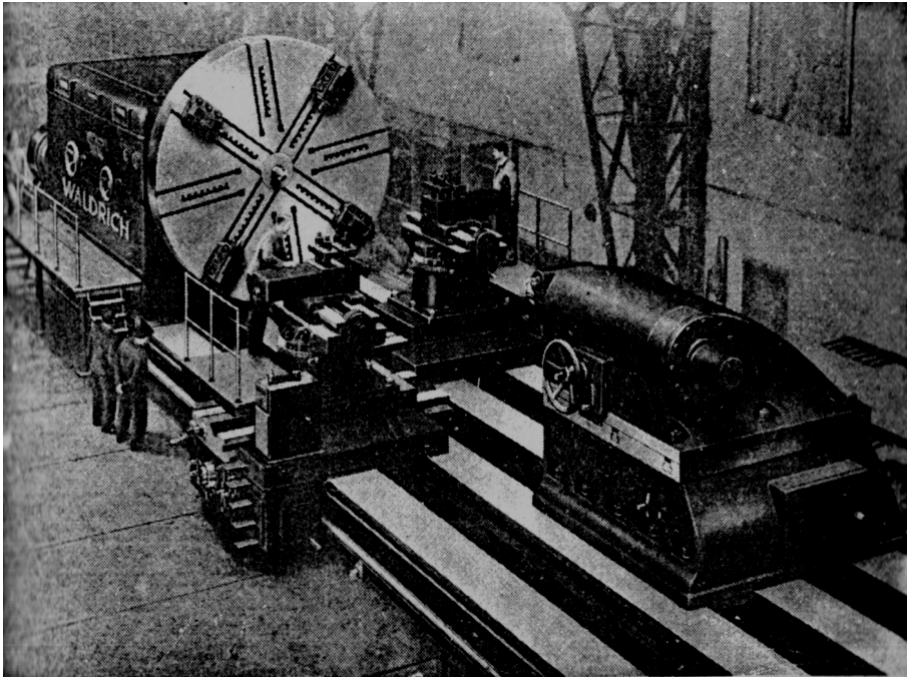
Mesin bubut beralas panjang (Gambar 8) mempunyai alas yang panjangnya mencapai 5 sampai dengan 7 meter dengan diameter cekam sampai dengan 2 meter sehingga cocok untuk industri besar dan membubut diameter benda yang besar misalnya poros baling-baling kapal, menyelesaikan hasil cetakan roda mesin pengeras jalan (wheel vibrator), roda-roda puli yang besar dan sebagainya.



Gambar 8. Mesin bubut beralas panjang

1.3.4.2 Mesin bubut rantai

Mesin bubut rantai (Gambar 9) mempunyai kegunaan yang sama dengan mesin bubut beralas panjang, tetapi memiliki kapasitas lebih besar lagi sehingga pergerakan penjepit pahat, kepala lepas dan pengikatan benda kerjanya pun harus dilakukan dengan cara hidrolik, pneumatik ataupun elektrik. Demikian pula pengikatan dan pelepasan benda kerjanya dibantu dengan alat angkat sehingga mesin ini hanya digunakan untuk industri mesin perkakas berskala besar.

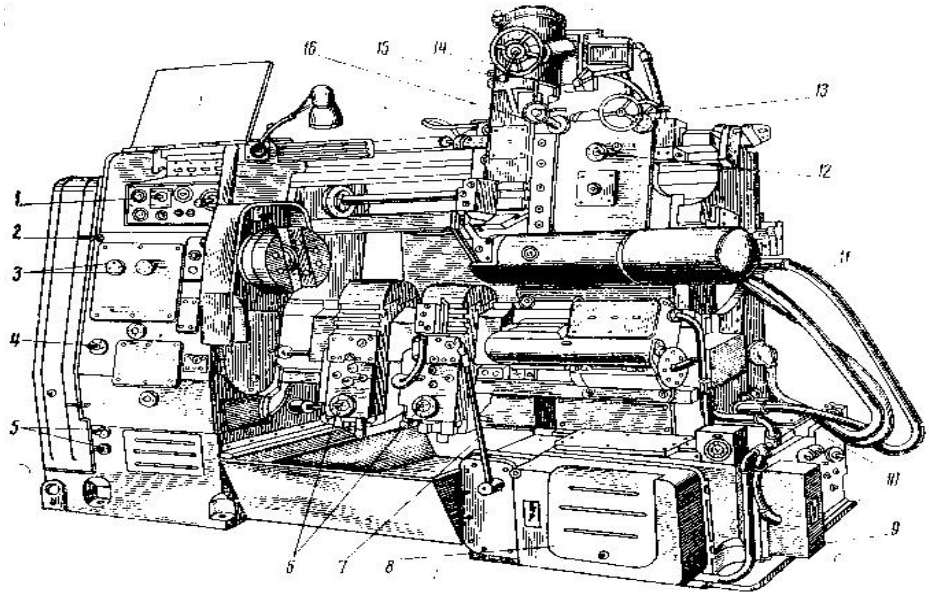


Gambar 9. Mesin bubut rantai

1.3.4.3 Mesin bubut rantai dengan pengendali

Mesin bubut rantai dengan pengendali (Gambar 10) bagian-bagiannya meliputi: 1). panel kontrol penyetelan., 2). panel kontrol pengerjaan., 3). soket segi enam untuk merubah kecepatan., 4). handel pelumasan dan pembersihan kepala lepas., 5). kran untuk pendingin., 6). sarung penyetel pahat dalam., 7). tuas kepala lepas., 8). panel kontrol eretan memanjang., 9). panel kontrol eretan melintang., 10). panel kontrol kepala lepas., 11). ulir pengikat kepala lepas., 12). handel pelumas., 13). roda pengatur gerak memanjang, 14). roda pengatur gerak pemakanan., 15). tuas penjepit pembawa, 16). roda pengatur pemberhentian

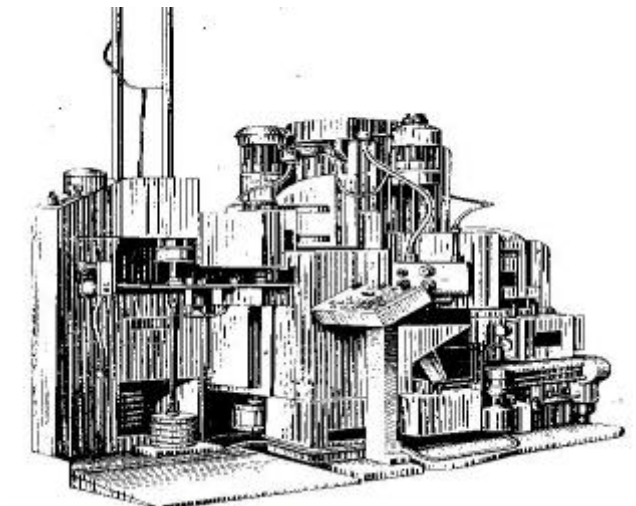
Jenis mesin bubut ini sering digunakan untuk membubut bakal roda-roda gigi yang besar baik bakal roda gigi lurus maupun bakal roda miring.



Gambar 10. Mesin bubut dengan pengendali

1.3.4.4 Mesin bubut tegak

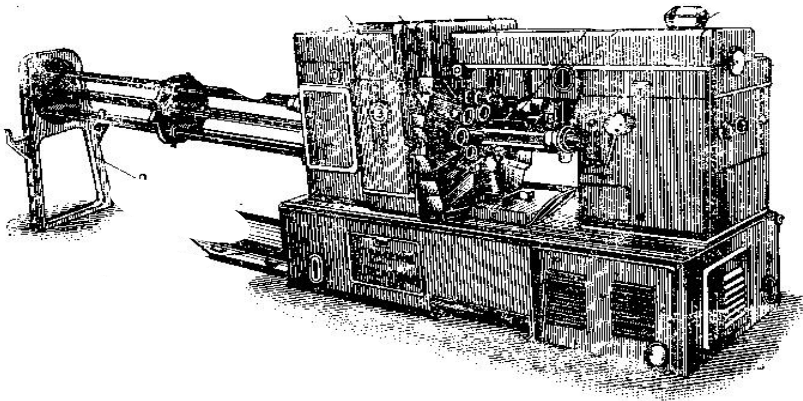
Jenis mesin bubut tegak (Gambar 11) dilihat dari konstruksinya berbeda dengan mesin bubut sebelumnya, karena letak kepala tetap dan kepala lepasnya pada posisi tegak. Cekam kepala tetapnya berada dibawah sedang kepala lepasnya berada diatas, khususnya untuk keperluan produksi poros dengan diameter relatif besar dan panjang.



Gambar 11. Mesin bubut tegak

1.3.4.5 Mesin bubut dengan enam spindel mendatar

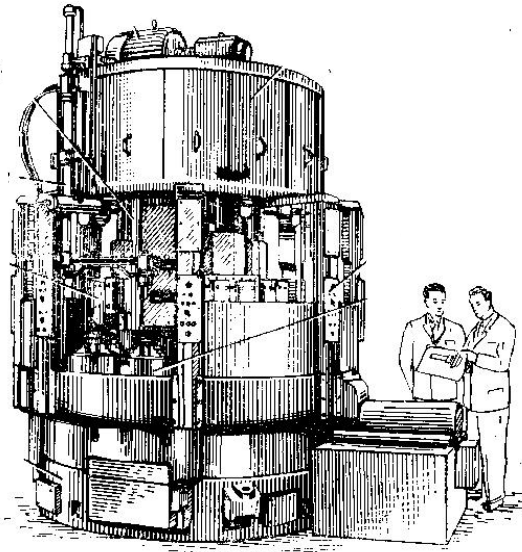
Mesin bubut dengan enam spindel mendatar (Gambar 12) memiliki enam spindel mendatar yang masing-masing dapat dipasang cekam dan dibelakangnya dilengkapi dudukan sekaligus sebagai pengarah masuknya bahan/benda kerja, sehingga dapat mencekam bahan yang memiliki ukuran panjang. Pencekaman dan majunya bahan serta pergantian posisi cekam dapat dilakukan secara otomatis (sistim hidrolik atau pneumatik) sehingga jenis mesin ini sangat cocok untuk memproduksi produk secara massal yang memiliki ukuran dan bentuk yang sama.



Gambar 12. Mesin bubut dengan enam spindel mendatar

1.3.4.6 Mesin bubut tegak dengan delapan spindel

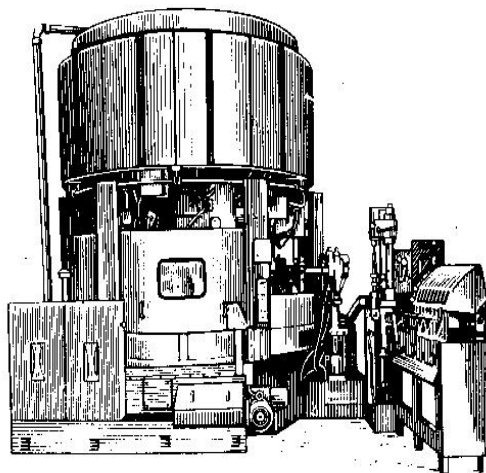
Mesin bubut dengan delapan spindel (Gambar 13) memiliki delapan spindel posisi tegak yang masing-masing dapat dipasang cekam yang berukuran besar. Prinsip kerjanya sama dengan mesin bubut dengan enam spindel mendatar, hanya saja pemasangan benda kerjanya pada posisi tegak. Karena memiliki ukuran sepindel yang besar, sehingga jenis mesin ini sangat cocok untuk produksi secara massal yang memiliki ukuran besar tetapi memiliki ukuran tidak terlalu panjang.



Gambar 13. Mesin bubut tegak dengan delapan spindel

1.3.4.7 Mesin bubut tegak dengan delapan spindel sistim rotari

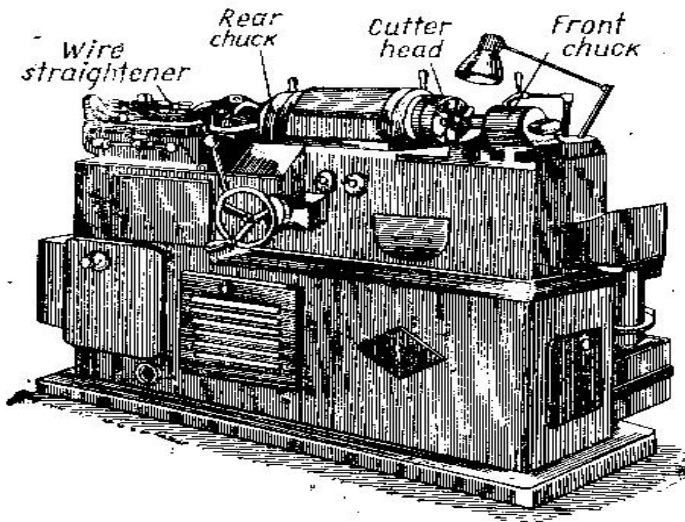
Mesin bubut dengan delapan spindel sistim rotari (Gambar 14) memiliki delapan spindel posisi tegak yang masing-masing dapat dipasang cekam yang berukuran besar. Prinsip kerjanya sama dengan mesin bubut dengan enam spindel mendatar, namun memiliki kelebihan yaitu masuknya bahan (*raw material*) dan keluarnya hasil produk dapat dilakukan secara otomatis (sistem hidrolis atau pneumatik). Sehingga prosesnya produksinya bisa lebih cepat bila dibandingkan dengan mesin bubut enam spindel mendatar .



Gambar 14. Mesin bubut tegak delapan spindel sistim rotari

1.3.4.8 Mesin bubut potong

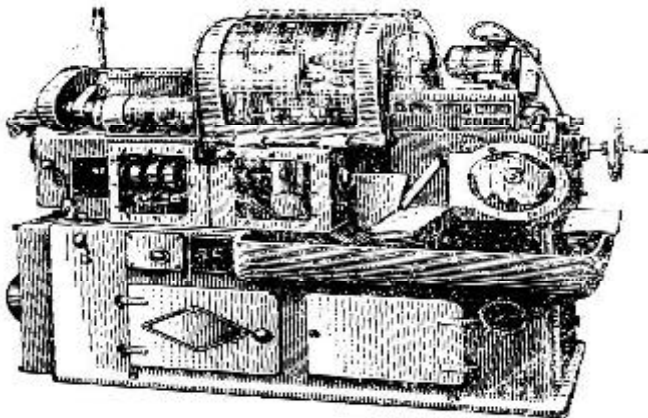
Mesin bubut potong (Gambar 15) berfungsi untuk memotong benda kerja khususnya kawat. Pemotongan dilakukan secara otomatis sehingga jenis mesin ini sangat cocok untuk memotong kawat secara massal yang memiliki ukuran panjang yang sama.



Gambar 15. Mesin bubut khusus untuk memotong

1.3.4.9 Mesin bubut ulir

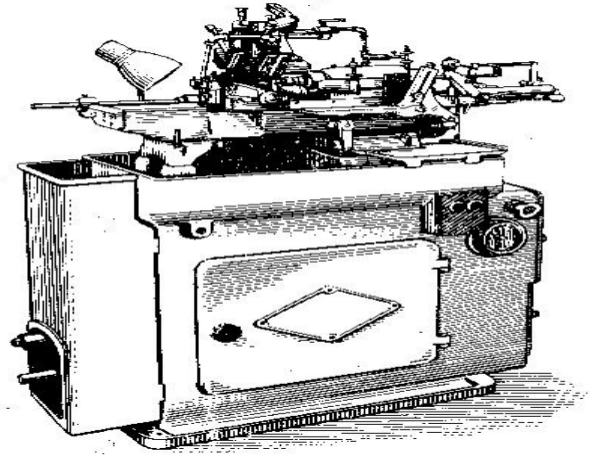
Mesin bubut ulir (Gambar 16) berfungsi khusus untuk membuat batang ulir luar (baut), konstruksinya hampir sama dengan mesin bubut konvensional ukuran sedang. Karena mesin ini dikhususkan untuk membuat ulir, sehingga sangat cocok untuk membuat ulir luar secara massal yang memiliki ukuran panjang dan jenis ulir yang sama.



Gambar 16. Mesin bubut ulir

1.3.4.10 Mesin bubut ulir tipe Swiss

Mesin bubut ulir tipe Swiss (Gambar 17) juga khusus berfungsi untuk membuat batang ulir luar (baut). Kontruksinya hampir sama dengan mesin bubut *turret*. Karena mesin ini dikhususkan untuk membuat ulir, sehingga ini sangat cocok untuk membuat ulir secara massal yang memiliki ukuran panjang dan jenis ulir yang sama.



Gambar 17. Mesin bubut khusus pembuat ulir tipe Swiss

1.3.4.11 Mesin bubut *turret*

Mesin bubut *turret* (Gambar 18) berfungsi seperti halnya mesin bubut konvensional berukuran sedang, namun memiliki kedudukan alat potong ada beberapa buah yang pergantian posisinya dapat dilakukan dengan mudah (sistem mekanik, hidrolis atau pneumatik). Jenis mesin ini pada umumnya memiliki ukuran yang relatif kecil, sehingga sangat cocok untuk memproduksi produk secara massal yang memiliki ukuran kecil.



Gambar 18. Mesin bubut *turret*

1.4 Bagian-bagian utama mesin bubut konvensional (Biasa)

Bagian-bagian utama pada mesin bubut konvensional pada umumnya sama walaupun merk atau buatan pabrik yang berbeda, hanya saja terkadang posisi handel/tuas, tombol, tabel penunjukan pembubutan dan rangkaian penyusunan roda gigi untuk berbagai jenis pembubutan letak/posisinya berbeda. Demikian juga cara pengoperasiannya karena memiliki fasilitas yang sama juga tidak jauh berbeda.

Berikut ini akan diuraikan bagian-bagian utama mesin bubut konvensional (biasa) yang pada umumnya dimiliki oleh mesin tersebut.

1.4.1 Sumbu Utama (*Main Spindle*)

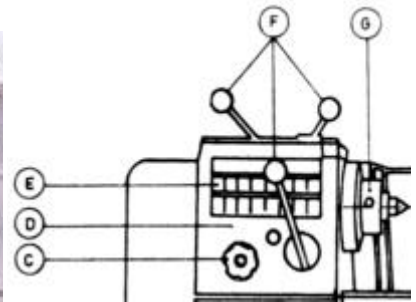
Sumbu utama atau dikenal dengan *main spindle* (Gambar 19 a dan 19 b) merupakan suatu sumbu utama mesin bubut yang berfungsi sebagaiudukan *chuck* (cekam), plat pembawa, kolet, senter tetap dan lain-lain. Terlihat pada (Gambar 19 a) adalah sebuah sumbu utama mesin bubut yang terpasang sebuah *chuck* atau cekam dimana didalamnya terdapat susunan roda gigi yang dapat digeser-geser melalui handel/tuas untuk mengatur putaran mesin sesuai kebutuhan pembubutan.

Terlihat pada (Gambar 19 b) adalah jenis lain sumbu utama mesin bubut yang ujungnya sedang terpasang sebuah senter tetap (G), yang berfungsi sebagai tempat kedudukan benda kerja pada saat pembubutan diantara dua senter. Di dalam kepala tetap ini terdapat serangkaian susunan roda gigi dan *roda pulley* bertingkat ataupun roda tunggal dihubungkan dengan sabuk V atau sabuk rata. Dengan demikian kita dapat memperoleh putaran yang berbeda-beda apabila hubungan diantara roda tersebut diubah-ubah menggunakan handel/tuas pengatur kecepatan (A), (C) dan (F). Roda (*Pully V*) bertingkat ini biasanya terdiri dari 3 atau 4 buah keping dengan sumbu yang berbeda dan diputar oleh sebuah motor listrik.

Putaran yang dihasilkan ada dua macam yaitu putaran cepat dan putaran lambat. Putaran cepat biasanya dilakukan pada kerja tunggal untuk membubut benda dengan sayatan tipis sedangkan putaran lambat untuk kerja ganda yaitu untuk membubut dengan tenaga besar dan pemakanannya tebal (pengasaran). Arah putaran mesin dapat dibalik menggunakan tuas pembalik putaran (C), hal ini diperlukan dengan maksud misalnya untuk membubut ulir atau untuk membubut dengan arah berlawanan sesuai dengan sudut mata potong pahat.



(a)



(b)

Gambar 19. Sumbu Utama

1.4.2 Meja Mesin (*bed*)

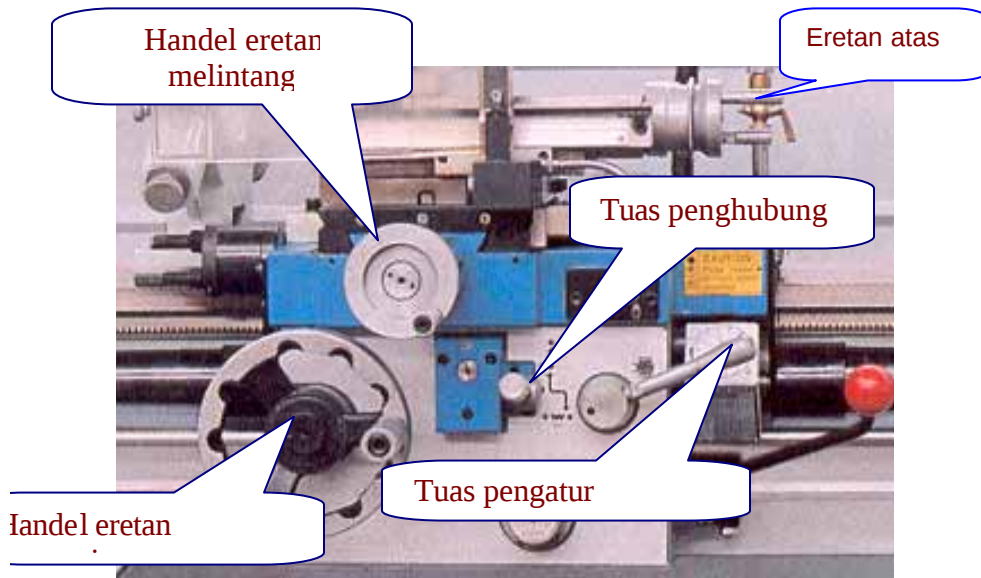
Meja mesin bubut (Gambar 20) berfungsi sebagai tempat dudukan kepala lepas, eretan, penyangga diam (*steady rest*) dan merupakan tumpuan gaya pemakanan waktu pembubutan. Bentuk alas ini bermacam-macam, ada yang datar dan ada yang salah satu atau kedua sisinya mempunyai ketinggian tertentu. Permukaannya halus dan rata sehingga gerakan kepala lepas dan lain-lain di atasnya lancar. Bila alas ini kotor atau rusak akan mengakibatkan jalannya eretan tidak lancar sehingga akan diperoleh hasil pembubutan yang tidak baik atau kurang presisi.



Gambar 20. Meja Mesin Bubut

1.4.3 Eretan (*carriage*)

Eretan (Gambar 21) terdiri atas eretan memanjang (*longitudinal carriage*) yang bergerak sepanjang alas mesin, eretan melintang (*cross carriage*) yang bergerak melintang alas mesin dan eretan atas (*top carriage*), yang bergerak sesuai dengan posisi penyetelan d atas eretan melintang. Kegunaan eretan ini adalah untuk memberikan pemakanan yang besarnya dapat diatur menurut kehendak operator yang dapat terukur dengan ketelitian tertentu yang terdapat pada roda pemutarnya. Perlu diketahui bahwa semua eretan dapat dijalankan secara otomatis ataupun manual.

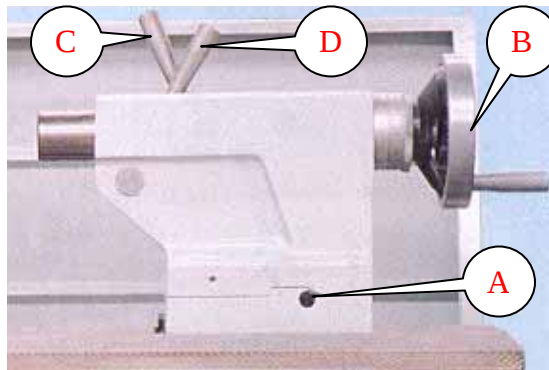


Gambar 21. Eretan (*carriage*)

1.4.4 Kepala Lepas (*tail stock*)

Kepala lepas sebagaimana (Gambar 22) digunakan untuk dudukan senter putar sebagai pendukung benda kerja pada saat pembubutan, dudukan bor tangkai tirus dan cekam bor sebagai menjepit bor. Kepala lepas dapat bergeser sepanjang alas mesin, porosnya berlubang tirus sehingga memudahkan tangkai bor untuk dijepit. Tinggi kepala lepas sama dengan tinggi senter tetap. Kepala lepas ini terdiri dari terdapat dua bagian yaitu alas dan badan, yang diikat dengan 2 baut pengikat (A) yang terpasang pada kedua sisi alas kepala lepas sekaligus berfungsi untuk pengatur pergeseran badan kepala lepas untuk keperluan agar dudukan senter putar sepusat dengan senter tetap atau sumbu mesin, atau tidak sepusat yaitu pada waktu membubut tirus diantara dua senter.

Selain roda pemutar (B), kepala lepas juga terdapat dua lagi lengan pengikat yang satu (C) dihubungkan dengan alas yang dipasang mur, dimana fungsinya untuk mengikat kepala lepas terhadap alas mesin agar tidak terjadi pergerakan kepala lepas dari kedudukannya. Sedangkan yang satunya (D) dipasang pada sisi tabung luncur/rumah senter putar, bila dikencangkan berfungsi agar tidak terjadi pergerakan longitudinal sewaktu membubut.



Gambar 22. Kepala Lepas

1.4.5 Tuas Pengatur Kecepatan Transporter dan Sumbu Pembawa

Tuas pengatur kecepatan (A) pada gambar 23, digunakan untuk mengatur kecepatan poros transporter dan sumbu pembawa. Ada dua pilihan kecepatan yaitu kecepatan tinggi dan kecepatan rendah. Kecepatan tinggi digunakan untuk pengerjaan benda-benda berdiameter kecil dan pengerjaan penyelesaian sedangkan kecepatan rendah digunakan untuk pengerjaan pengasaran, ulir, alur, mengkartel dan pemotongan (*cut off*).



Gambar 23. Tuas pengatur kecepatan

Besarnya kecepatan setiap mesin berbeda-beda dan dapat dilihat pada plat tabel yang tertera pada mesin tersebut.

1.4.6 Pelat tabel

Pelat tabel (B) pada gambar 24, adalah tabel besarnya kecepatan yang ditempel pada mesin bubut yang menyatakan besaran perubahan antara hubungan roda-roda gigi di dalam kotak roda gigi

ataupun terhadap roda pulley di dalam kepala tetap (*head stock*). Tabel ini sangat berguna untuk pedoman dalam pengerjaan sehingga dapat dipilih kecepatan yang sesuai dengan besar kecilnya diameter benda kerja atau menurut jenis pahat dan bahan yang dikerjakan

1.4.7 Tuas pengubah pembalik transporter dan sumbu pembawa

Tuas pembalik putaran (C) pada gambar 24, digunakan untuk membalikkan arah putaran sumbu utama, hal ini diperlukan bilamana hendak melakukan pengerjaan penguliran, pengkartelan, ataupun membubut permukaan



Gambar 24. Tuas pembalik putaran (C)

1.4.8 Plat Tabel Kecepatan Sumbu Utama

Plat tabel kecepatan sumbu utama (E) pada Gambar 25, menunjukkan angka-angka besaran kecepatan sumbu utama yang dapat dipilih sesuai dengan pekerjaan pembubutan.



Gambar 25. Plat tabel kecepatan sumbu utama

1.4.9 Tuas-Tuas Pengatur Kecepatan Sumbu Utama

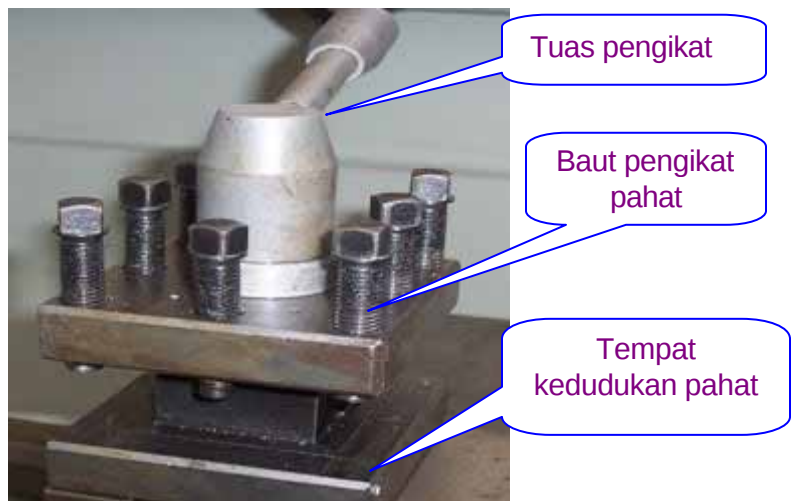
Tuas pengatur kecepatan sumbu utama (Gambar 26) berfungsi untuk mengatur kecepatan putaran mesin sesuai hasil dari perhitungan atau pembacaan dari tabel putaran.



Gambar 26. Tuas pengatur kecepatan sumbu utama

1.4.10 Penjepit Pahat (*Tools Post*)

Penjepit pahat digunakan untuk menjepit atau memegang pahat, yang bentuknya ada beberapa macam diantaranya seperti ditunjukkan pada gambar 27. Jenis ini sangat praktis dan dapat menjepit pahat 4 (empat) buah sekaligus sehingga dalam suatu pengerjaan bila memerlukan 4 (empat) macam pahat dapat dipasang dan disetel sekaligus.



Gambar 27. Penjepit pahat

1.4.11 Eretan Atas

Eretan atas sebagaimana gambar 28, berfungsi sebagaiudukan penjepit pahat yang sekaligus berfungsi untuk mengatur besaran majunya pahat pada proses pembubutan ulir, alur, tirus, *champer* (pingul) dan lain-lain yang ketelitiannya bisa mencapai 0,01 mm.



Gambar 28. Eretan atas

Eretan ini tidak dapat dijalankan secara otomatis, melainkan hanya dengan cara manual. Kedudukannya dapat diatur dengan memutarnya sampai posisi 360°, biasanya digunakan untuk membubut tirus dan pembubutan ulir dengan pemakanan menggunakan eretan atas.

1.4.12 Keran pendingin

Keran pendingin digunakan untuk menyalurkan pendingin (*collant*) kepada benda kerja yang sedang dibubut dengan tujuan untuk mendinginkan pahat pada waktu penyayatan sehingga dapat menjaga pahat tetap tajam dan panjang umurnya. Hasil bubutannyapun halus.



Gambar 29. Keran pendingin

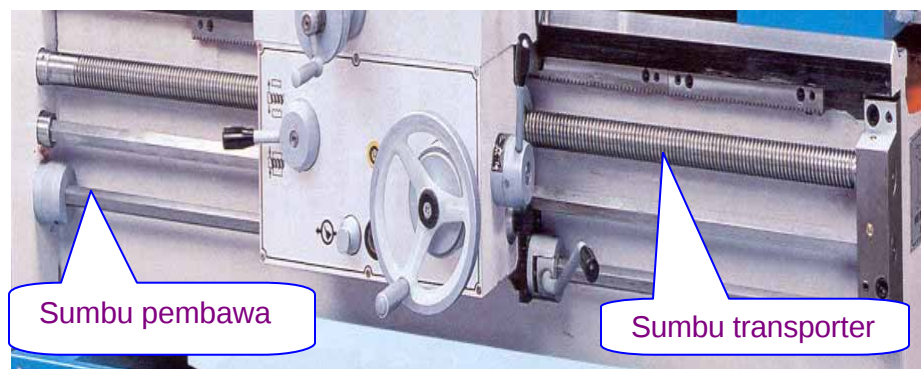
1.4.13 Roda Pemutar

Roda pemutar yang terdapat pada kepala lepas digunakan untuk menggerakkan poros kepala lepas maju ataupun mundur. Berapa panjang yang ditempuh ketika maju atau mundur dapat diukur dengan membaca cincin berskala (*dial*) yang ada pada roda pemutar tersebut. Pergerakan ini diperlukan ketika hendak melakukan pengeboran untuk mengetahui atau mengukur seberapa dalam mata bor harus dimasukkan.

1.4.14 Transporter dan Sumbu pembawa

Transporter atau poros transporter adalah poros berulir segi empat atau trapesium yang biasanya memiliki kisar 6 mm, digunakan untuk membawa eretan pada waktu kerja otomatis, misalnya waktu membubut ulir, alur dan atau pekerjaan pembubutan lainnya.

Sedangkan sumbu pembawa atau poros pembawa adalah poros yang selalu berputar untuk membawa atau mendukung jalannya eretan.



Gambar 30. Poros transporter dan Sumbu pembawa

1.4.15 Tuas Penghubung

Tuas penghubung sebagaimana digunakan untuk menghubungkan roda gigi yang terdapat pada eretan dengan poros transporter sehingga eretan akan dapat berjalan secara otomatis sepanjang alas mesin. Tuas penghubung ini mempunyai dua kedudukan. Kedudukan di atas berarti membalik arah gerak putaran (arah putaran berlawanan jarum jam) dan posisi ke bawah berarti gerak putaran searah jarum jam.

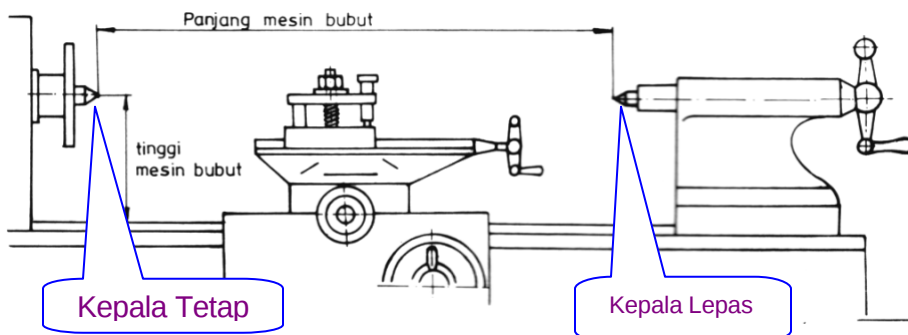
1.4.16 Eretan Lintang

Eretan lintang sebagaimana ditunjukkan pada berfungsi untuk menggerakkan pahat melintang alas mesin atau arah ke depan atau ke belakang posisi operator yaitu dalam pemakanan benda kerja. Pada roda eretan ini juga terdapat *dial* pengukur untuk mengetahui berapa panjang langkah gerakan maju atau mundurnya pahat.

1.5 Dimensi Utama Mesin Bubut

Ukuran mesin bubut ditentukan oleh panjangnya jarak antara ujung senter kepala lepas dan ujung senter kepala tetap (Gambar 31). Misalnya tinggi mesin bubut 200 mm, berarti mesin tersebut hanya mampu menjalankan eretan melintangnya sepanjang 200 mm atau mampu melakukan pembubutan maksimum benda kerja yang memiliki radius 200 mm (berdiameter 400 mm). Demikian pula misalnya panjang mesin 1000 mm, berarti hanya dapat menjalankan eretan memanjangnya sepanjang 1000 mm.

Namun demikian beberapa mesin bubut ada yang mempunyai fasilitas atau kelengkapan untuk menambah ukuran diameter benda kerja yang dapat dikerjakan dengan beberapa alat khusus atau didesain khusus pula, misalnya untuk menambah ukuran diameter yaitu dengan membuka pengikat alas diujung kepala tetap.



Gambar 31. Dimensi Utama Mesin Bubut

1.6 Perbedaan Mesin Bubut Konvensional dengan CNC

Tabel 1. Perbedaan mesin bubut konvensional dengan CNC

No	Kegiatan	Mesin bubut konvensional	Mesin bubut CNC
1	Pengendalian	manual	Komputer
2	Cara kerjanya	mudah	Sulit / kompleks
3	Hasil kerjanya	teliti	Sangat teliti
4	Program	jobsheet	Input data
5.	Seting pahat	Cepat	Lama

Cara pengendalian mesin bubut dapat dilakukan dengan konvensional atau dengan komputer yaitu sistem numerik (*numerical control*) atau dengan *Computer Numerical Control (CNC)*. Perintah-perintahnya menggunakan bahasa numerik melalui kode N dan kode G. Sebagai contoh untuk memerintahkan spindle berputar searah jarum jam cukup memasukkan perintah M03 maka spindle akan jalan, demikian pula untuk menghentikannya cukup dimasukkan perintah M05. Mesin CNC sebelum dioperasikan memerlukan perencanaan dari awal sampai dengan akhir. Bahkan dilakukan pengujian melalui layar monitor atau benda Uji dahulu, setelah semuanya benar baru diproduksi secara massal.

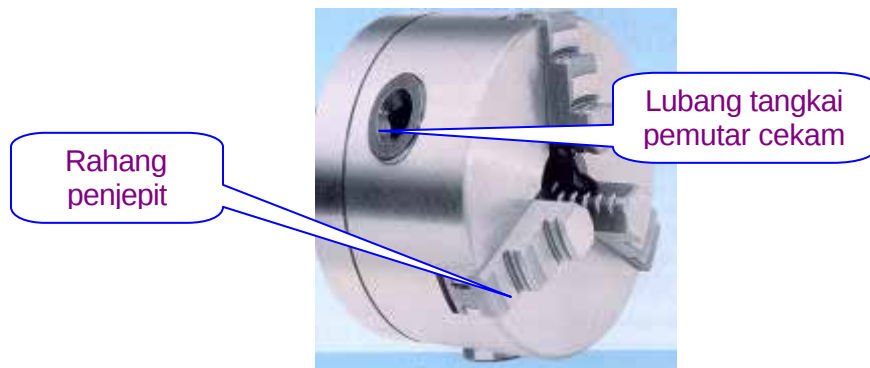
Berbeda dengan mesin konvensional, operator harus melakukan perencanaan setelah itu langsung melaksanakan (*eksekusi*). Sebagai contoh operator ingin mengurangi diameter poros 2 mm, maka operator langsung melaksanakannya. Selain itu operator harus mengetahui tombol atau handel yang diperlukan untuk mengendalikan mesin tersebut.

1.7 Alat Kelengkapan Mesin Bubut

1.7.1 Chuck (Cekam)

Cekam adalah sebuah alat yang digunakan untuk menjepit benda kerja. Jenisnya ada yang berahang tiga sepusat (*Self centering Chuck*) yang dapat dilihat pada Gambar 32, dan ada juga yang berahang tiga dan empat tidak sepusat (*Independenc Chuck*) yang dapat dilihat pada Gambar 32.

Cekam rahang tiga sepusat, digunakan untuk benda-benda silindris, dimana gerakan rahang bersama-sama pada saat dikencangkan atau dibuka. Sedangkan gerakan untuk rahang tiga dan empat tidak sepusat, setiap rahang dapat bergerak sendiri tanpa diikuti oleh rahang yang lain, maka jenis ini biasanya untuk mencekam benda-benda yang tidak silindris atau digunakan pada saat pembubutan eksentrik.



Gambar 32. Cekam Rahang Tiga Sepusat (*Self centering Chuck*)

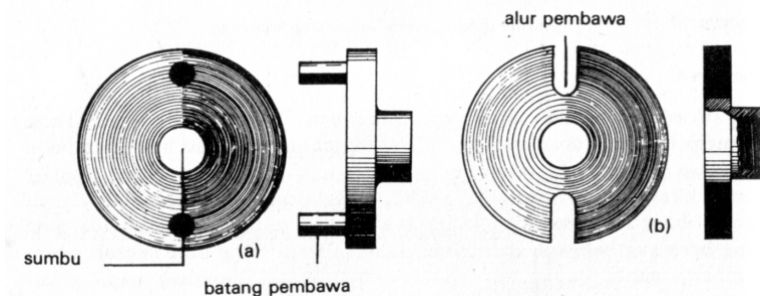


Gambar 33. Cekam Rahang Tiga dan Empat Tidak Sepusat (*Independenc Chuck*)

Perlu diketahui bahwa cekam rahang tiga maupun rahang empat dapat digunakan untuk menjepit bagian dalam atau bagian luar benda kerja. Posisi rahang dapat dibalik apabila dipergunakan untuk menjepit benda silindris atau untuk benda yang bukan silindris, misalnya flens, benda segi empat dll.

1.7.2. Plat pembawa

Plat pembawa ini berbentuk bulat pipih digunakan untuk memutar pembawa sehingga benda kerja yang terpasang padanya akan ikut berputar dengan poros mesin (Gambar 34), permukaannya ada yang beralur (Gambar 34 b) dan ada yang berlubang (Gambar 34 a).

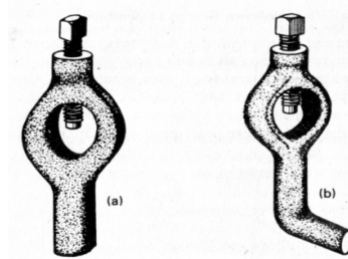


Gambar 34. Plat pembawa

1.7.3. Pembawa

Pembawa ada 2 (dua) jenis, yaitu pembawa berujung lurus (Gambar 35 a) dan pembawa berujung bengkok (Gb. 35 b). Pembawa

berujung lurus digunakan berpasangan dengan plat pembawa rata (Gambar 34 a) sedangkan pembawa berujung bengkok dipergunakan dengan plat pembawa beralur (Gambar 34 b). Caranya adalah benda kerja dimasukkan ke dalam lubang pembawa, terbatas dengan besarnya lubang pembawa kemudian dijepit dengan baut yang ada pada pembawa tersebut, sehingga akan dapat berputar bersama-sama dengan sumbu utama. Hal ini digunakan bilamana dikehendaki membubut menggunakan dua buah senter.



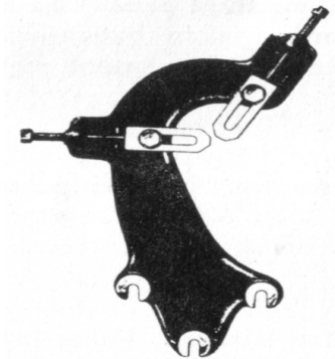
Gambar 35. Pembawa

1.7.4. Penyangga

Penyangga ada dua macam yaitu penyangga tetap (*steady rest*) Gambar 36 a, dan penyang jalan (*follower rest*) Gambar 36 b. Penyangga ini digunakan untuk membubut benda-benda yang panjang, karena benda kerja yang panjang apabila tidak dibantu penyangga maka hasil pembubutan akan menjadi berpenampang elip/oval, tidak silindris dan tidak rata.



(a) Tetap

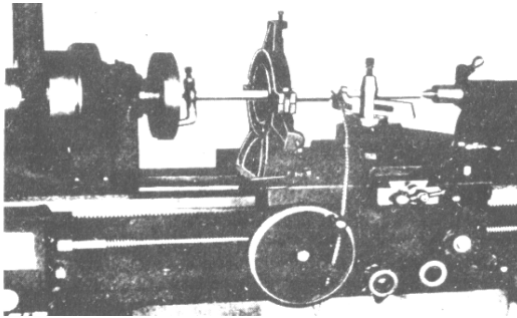


(b) Jalan

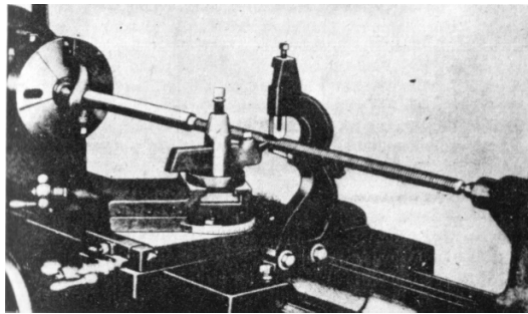
Gambar 36. Penyangga

Apalagi bila membubut bagian dalam maka penyangga ini mutlak diperlukan. Penyangga tetap diikat dengan alas mesin sehingga dalam keadaan tetap pada kedudukannya sedang penyangga jalan diikatkan pada meja eretan, sehingga pada saat eretan memanjang bergerak maka penyangga jalan mengikuti tempat kedudukan eretan tersebut.

Contoh penggunaan penyangga tetap dan penyangga jalan dapat dilihat pada Gambar 37 a dan Gambar 37 b.



(a)

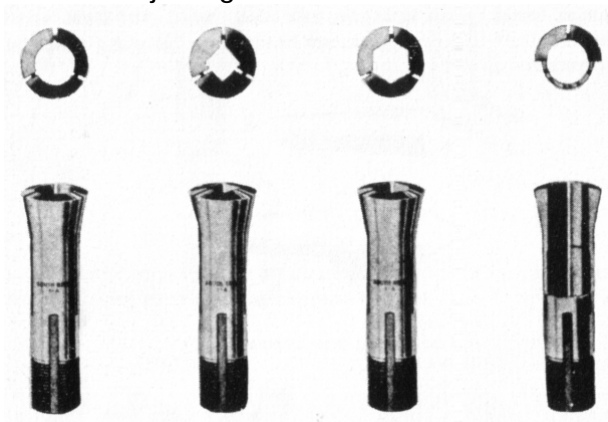


(b)

Gambar 37. Penggunaan penyangga

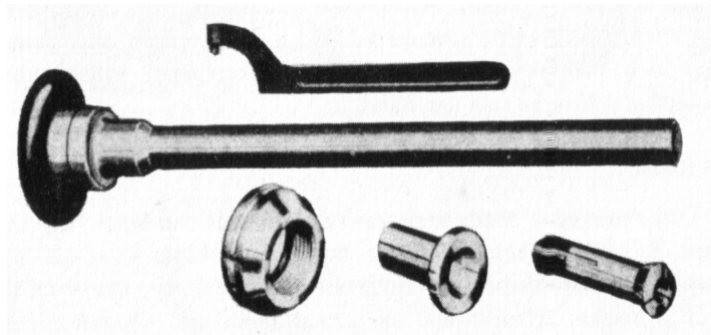
1.7.5. Kolet (*Collet*)

Kolet digunakan untuk menjepit benda silindris yang sudah halus dan biasanya berdiameter kecil. Bentuknya bulat panjang dengan leher tirus dan berlubang (Gambar 38), ujungnya berulir dan kepalanya dibelah menjadi tiga.



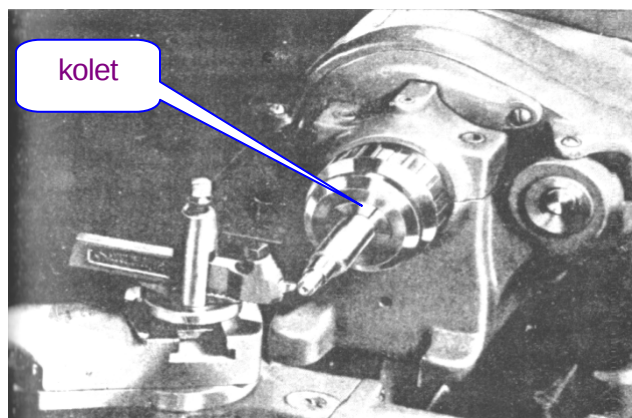
Gambar 38. Kolet

Kolet mempunyai ukuran yang ditunjukkan pada bagian mukanya yang menyatakan besarnya diameter benda yang dapat dicekam. Misalnya kolet berukuran 8 mm, berarti kolet ini dipergunakan untuk menjepit benda kerja berukuran $\varnothing$ 8 mm. Pemasangan kolet adalah pada kepala tetap dan dibantu dengan kelengkapan untuk menarik kolet tersebut (Gambar 39). Karena kolet berbentuk tirus, alat penariknyapun berbentuk lubang tirus, dengan memutar ke kanan uliran batangnya.



Gambar 39. Kelengkapan kolet

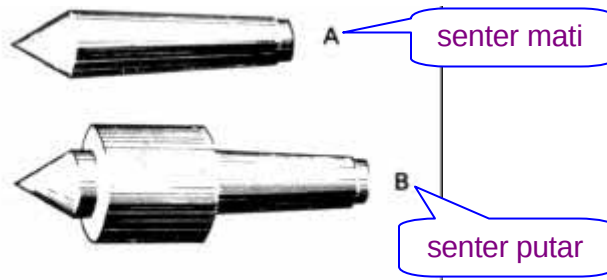
Contoh penggunaan kolet untuk membubut benda kerja dapat dilihat pada Gambar 40.



Gambar 40. Contoh penggunaan kolet

1.7.6. Senter

Senter (Gambar 41) terbuat dari baja yang dikeraskan dan digunakan untuk mendukung benda kerja yang akan dibubut. Ada dua jenis senter yaitu senter mati (tetap) dan senter putar. Pada umumnya senter putar pemasangannya pada ujung kepala lepas dan senter tetap pemasangannya pada sumbu utama mesin (*main spindle*).



Gambar 41. Senter

Bagian senter yang mendukung benda kerja mempunyai sudut 60° , dan dinamakan senter putar karena pada saat benda kerjanya berputar senternya pun ikut berputar. Berbeda dengan senter mati (tetap) untuk penggunaan pembubutan antara dua senter, benda tersebut hanya ikut berputar bersama mesin namun ujungnya tidak terjadi gesekan dengan ujung benda kerja yang sudah diberi lubang senter. Walaupun tidak terjadi gesekan sebaiknya sebelum digunakan, ujung senter dan lubang senter pada benda kerja diberi *grease*/gemuk atau pelumas sejenis lainnya.

1.7.7. Taper Attachment (Kelengkapan tirus)

Alat ini digunakan untuk membubut tirus. Selain menggunakan alat ini membubut tirus juga dapat dilakukan dengan cara menggeser kedudukan kepala lepas ataupun menggunakan eretan atas.



Gambar 42. Taper attachment

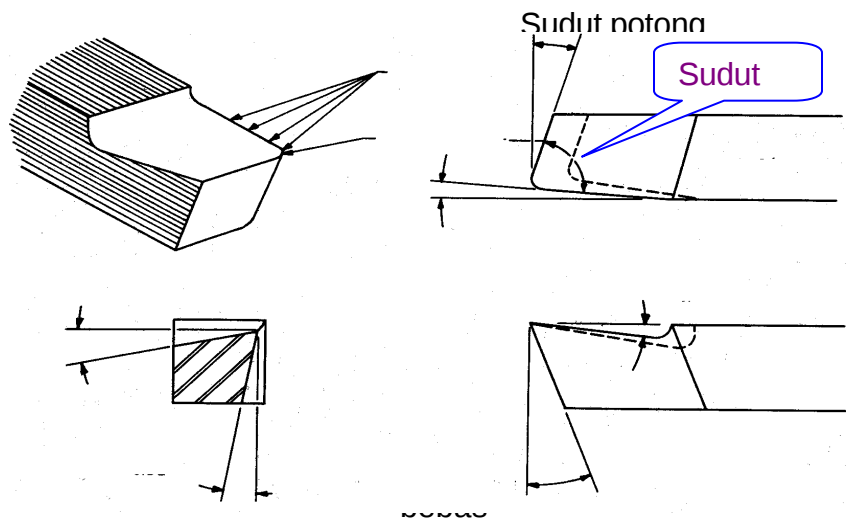
1.8 Alat Potong

Yang dimaksud dengan alat potong adalah alat/pisau yang digunakan untuk menyayat produk/benda kerja. Dalam pekerjaan pembubutan salah satu alat potong yang sering digunakan adalah pahat bubut. Jenis bahan pahat bubut yang banyak digunakan di industri-industri dan bengkel-bengkel antara lain baja karbon, HSS, karbida, diamond dan ceramik.

1.8.1 Geometris alat potong

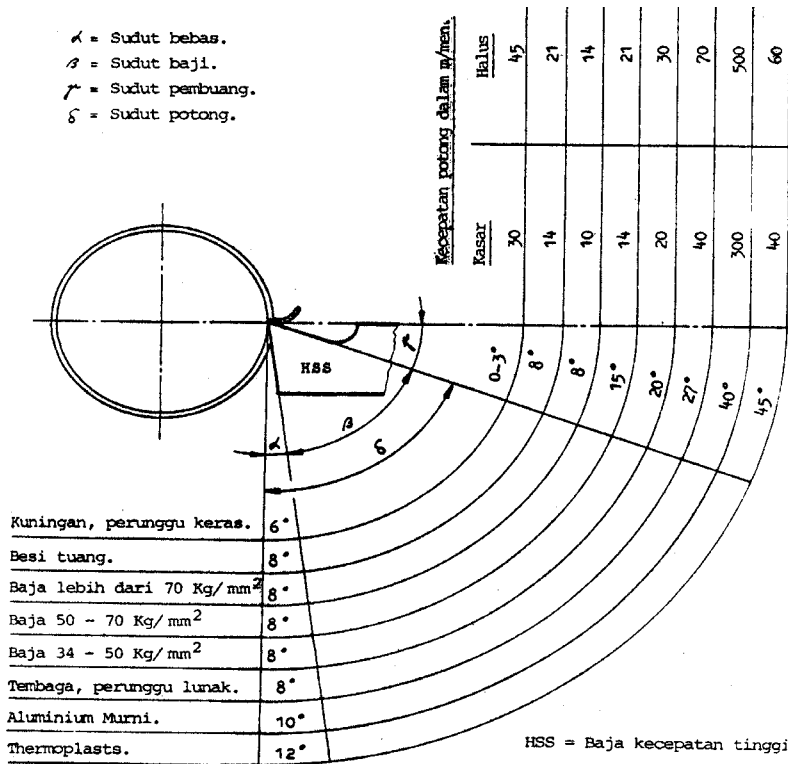
Hal yang sangat penting diperhatikan adalah bagaimana alat potong dapat menyayat dengan baik, dan untuk dapat menyayat dengan baik alat potong diperlukan adanya sudut baji, sudut bebas dan sudut tatal sesuai ketentuan, yang semua ini disebut dengan istilah geometris alat potong.

Sesuai dengan bahan dan bentuk pisau, geometris alat potong untuk penggunaan setiap jenis logam berbeda. Gambar 43 menunjukkan geometris pahat bubut, dan tabel 1 menunjukkan penggunaan sudut tatal dan sudut bebas pahat bubut.



Gambar 43. Geometris pahat bubut

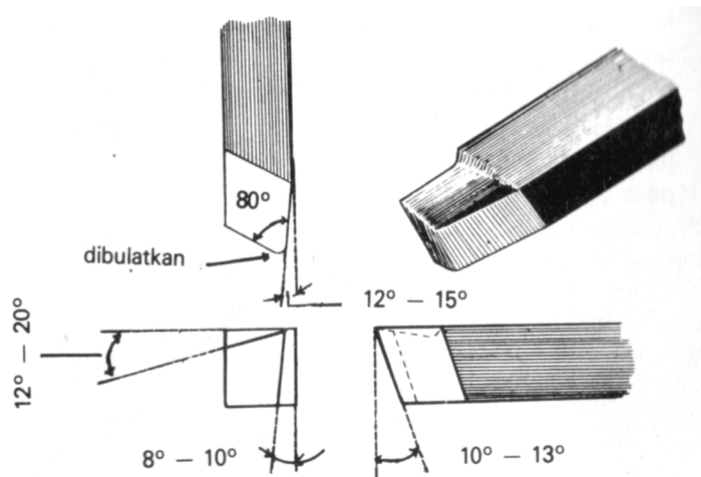
Tabel 2. Penggunaan sudut tatal dan sudut bebas pahat bubut.



Selain itu sudut kebebasan pahat juga harus dipertimbangkan berdasarkan penggunaan, arah pemakanan dan arah putaran mesin. Gambar 44 sampai dengan Gambar 47 menunjukkan sudut-sudut kebebasan pahat berdasarkan pertimbangan tersebut.

a. Pahat bubut rata kanan

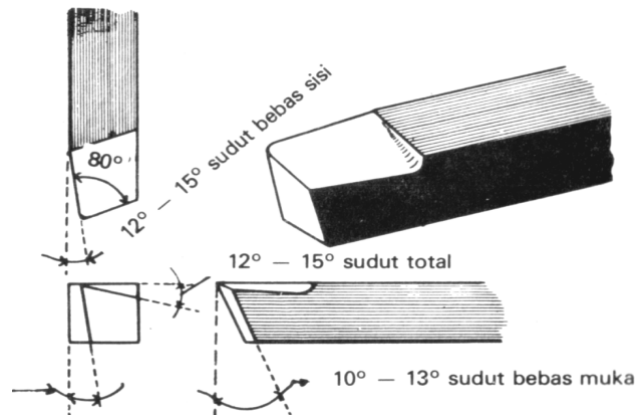
Pahat bubut rata kanan memiliki sudut baji 80° dan sudut-sudut bebas lainnya sebagaimana gambar 44, pada umumnya digunakan untuk pembubutan rata memanjang yang pemakanannya dimulai dari kiri ke arah kanan mendekati posisi cekam.



Gambar 44. Pahat bubut rata kanan

b. Pahat bubut rata kiri

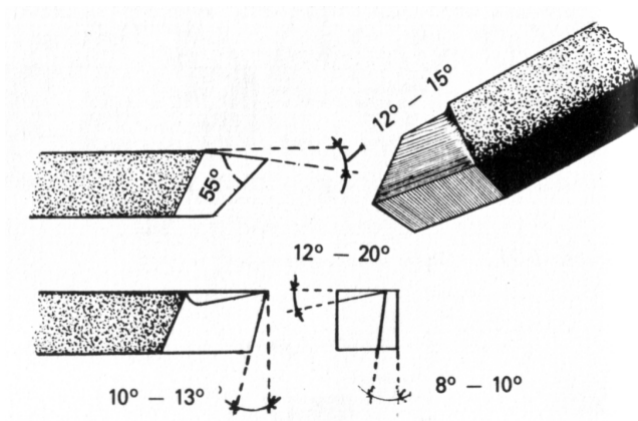
Pahat bubut rata kiri memiliki sudut baji 55° dan sudut-sudut bebas lainnya sebagaimana Gambar 45, pada umumnya digunakan untuk pembubutan rata memanjang yang pemakanannya dimulai dari kiri ke arah kanan mendekati posisi kepala lepas.



Gambar 45. Pahat bubut rata kiri

c. Pahat bubut muka

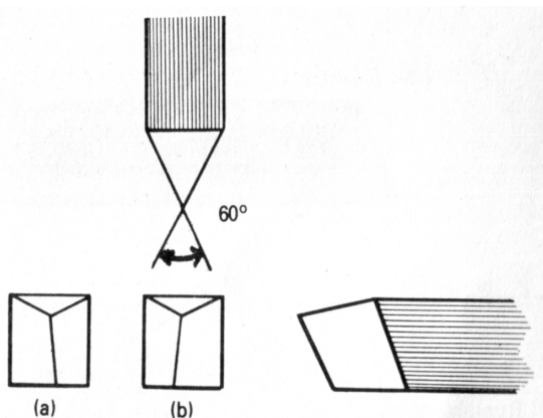
Pahat bubut muka memiliki sudut baji 55° dan sudut-sudut bebas lainnya sebagaimana Gambar 46, pada umumnya digunakan untuk pembubutan rata permukaan benda kerja (*facing*) yang pemakanannya dapat dimulai dari luar benda kerja ke arah mendekati titik senter dan juga dapat dimulai dari titik senter ke arah luar benda kerja tergantung arah putaran mesinnya.



Gambar 46. Pahat bubut muka

d. Pahat bubut ulir

Pahat bubut ulir memiliki sudut puncak tergantung dari jenis ulir yang akan dibuat, sudut puncak 55° adalah untuk membuat ulir jenis *whitworth*. Sedangkan untuk pembuatan ulir jenis metrik sudut puncak pahat ulirnya dibuat 60° . Gambar 47 menunjukkan besarnya sudut potong pahat ulir metrik.



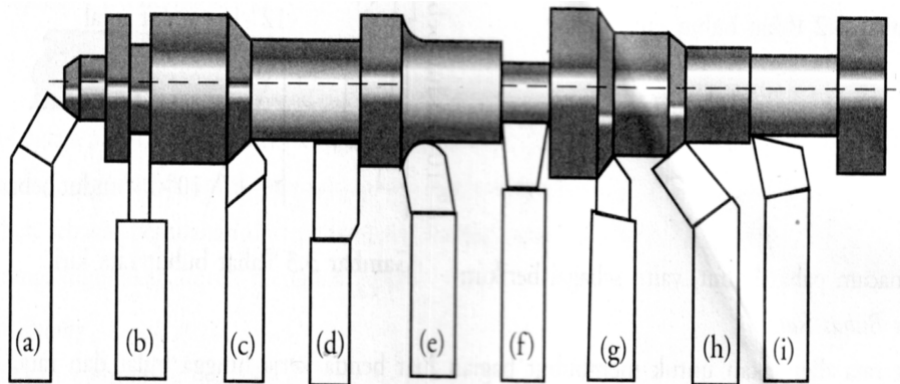
Gambar 47. Pahat bubut ulir metrik.

Sudut potong dan sudut baji merupakan sudut yang dipersyaratkan untuk memudahkan pemotongan benda kerja, sudut bebas adalah sudut untuk membebaskan pahat dari bergesekan terhadap benda kerja dan sudut tatal adalah sudut untuk memberi jalan tatal yang terpotong.

1.8.2 Penggunaan pahat bubut luar

Sebagaimana dijelaskan di atas bahwa salahsatu alat potong yang sering digunakan pada proses pembubutan adalah pahat bubut. Bentuk, jenis dan bahan pahat ada bermacam-macam yang tentunya disesuaikan dengan kebutuhan.

Prosesnya adalah benda kerja yang akan dibubut bergerak berputar sedangkan pahatnya bergerak memanjang, melintang atau menyudut tergantung pada hasil pembubutan yang diinginkan. Gambar 48 adalah menunjukan macam-macam pahat bubut dan penggunaannya.



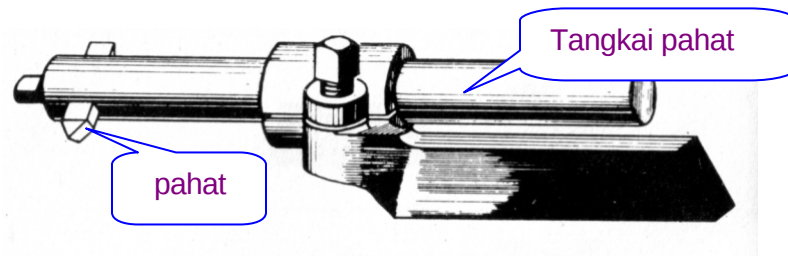
Gambar 48. Jenis jenis pahat bubut dan kegunaannya

Keterangan:

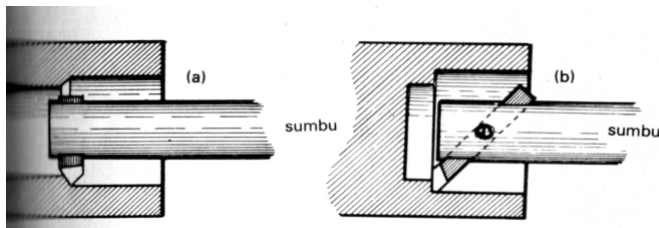
a. pahat kiri., b. Pahat potong., c. Pahat kanan., d. Pahat rata., e. pahat radius., f. pahat alur., g Pahat ulir., h. Pahat muka., i. Pahat kasar

1.8.3 Pahat bubut dalam

Sealin pahat bubut luar, pada proses pembubutan juga sering menggunakan pahat bubut dalam. Pahat jenis ini digunakan untuk membubut bagian dalam atau memperbesar lubang yang sebelumnya telah dikerjakan dengan mata bor. Bentuknya juga bermacam-macam dapat berupa pahat potong, pahat alur ataupun pahat ulir, ada yang diikat pada tangkai pahat (Gambar 49). Bentuk ada yang khusus sehingga tidak diperlukan tangkai pahat. Contoh pemakaian pahat bubut dalam ketika memperbesar lubang (Gambar 50 a) dan membubut rata bagian dalam (Gambar 50 b)



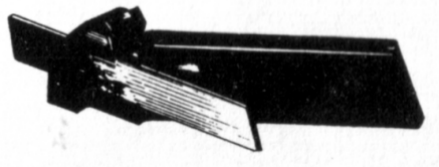
Gambar 49. Pahat bubut dalam



Gambar 50. Contoh pembubutan dalam

1.8.4 Pahat potong

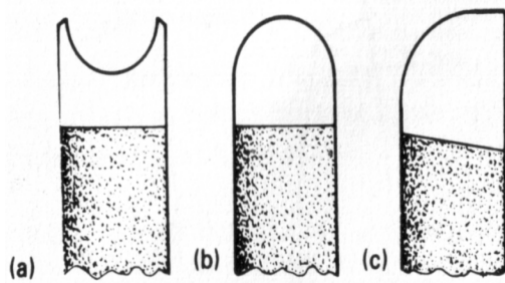
Pahat potong (Gambar 51) adalah jenis pahat potong yang menggunakan tangkai digunakan untuk memotong benda kerja.



Gambar 51. Pahat potong

1.8.5 Pahat bentuk

Pahat bentuk digunakan untuk membentuk permukaan benda kerja, bentuknya sangat banyak dan dapat diasah sesuai bentuk yang dikehendaki operatornya. (Gambar 52 a,b dan c) adalah jenis-jenis pahat berbentuk radius.

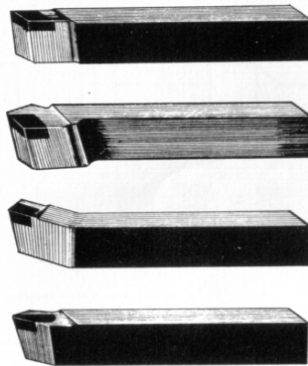


Gambar 52. Pahat bentuk

1.8.6 Pahat keras

Pahat keras yaitu pahat yang terbuat dari logam keras yang mengandung bahan karbon tinggi yang dipadu dengan bahan-bahan lainnya, seperti *Cemented Carbide*, *Tungsten*, *Wide* dan lain-lain. Pahat jenis ini tahan terhadap suhu kerja sampai dengan kurang lebih 1000°C , sehingga tahan aus/gesekan tetapi getas/rapuh dan dalam pengoperasiannya tidak harus menggunakan pendingin, sehingga cocok untuk mengerjakan baja, besi tuang, dan jenis baja lainnya dengan pemakanan yang tebal namun tidak boleh mendapat tekanan yang besar.

Di pasaran pahat jenis ini ada yang berbentuk segi tiga, segi empat dan lain-lain (Gambar 53) yang pengikatan dalam tangkainya dengan cara dipateri keras (*brassing*) atau dijepit menggunakan tangkai dan baut khusus.

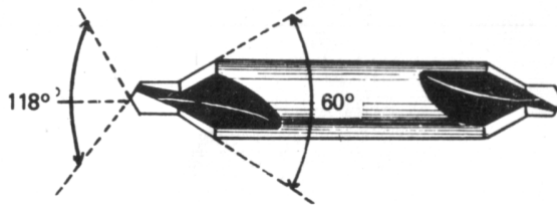


Gambar 53. Pahat keras

1.8.7 Bor senter

Bor senter (Gambar 54) digunakan untuk membuat lubang senter diujung benda kerja sebagai tempat kedudukan senter putar atau tetap yang kedalamannya disesuaikan dengan kebutuhan yaitu

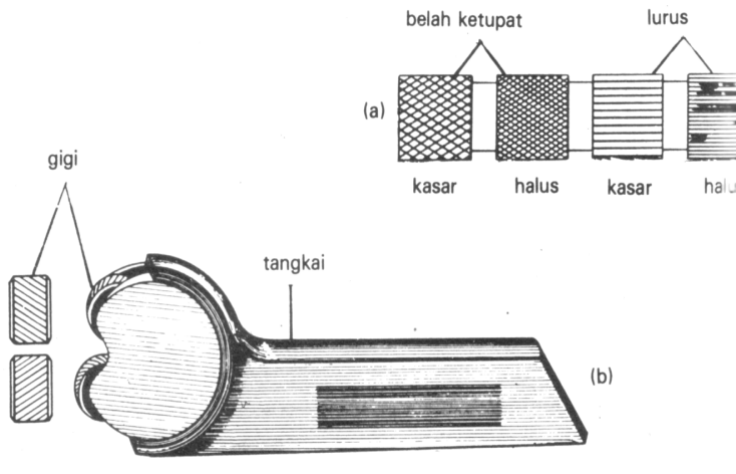
sekitar $1/3 \div 2/3$ dari panjang bagian yang tirus pada bor senter tersebut. Pembuatan lubang senter pada benda kerja diperlukan apabila memiliki ukuran yang relatif panjang atau untuk mengawali pekerjaan pengeboran.



Gambar 54. Bor senter

1.8.8 Kartel

Kartel adalah suatu alat yang digunakan untuk membuat alur-alur kecil pada permukaan benda kerja, agar tidak licin yang biasanya terdapat pada batang-batang penarik atau pemutar yang dipegang dengan tangan. Hasil pengkartelan ada yang belah ketupat, dan ada yang lurus tergantung gigi kartelnya. Jenis gigi kartel dapat dilihat pada Gambar 55.



Gambar 55. Kartel

1.9 Kecepatan potong (*Cutting Speed*) CS

Yang dimaksud dengan kecepatan potong (CS) adalah kemampuan alat potong menyayat bahan dengan aman menghasilkan tatal dalam satuan panjang /waktu (m/menit atau feet/menit).

Pada gerak putar seperti mesin bubut, kecepatan potong (CS) adalah keliling kali putaran atau $\pi \cdot d \cdot n$, di mana d adalah diameter

pisau/benda kerja dalam satuan milimeter dan n adalah kecepatan putaran pisau/benda kerja dalam satuan putaran/menit (rpm).

Karena nilai kecepatan potong untuk setiap jenis bahan sudah ditetapkan secara baku (Tabel 2), maka komponen yang bisa diatur dalam proses penyayatan adalah putaran mesin/benda kerja. Dengan demikian rumus untuk menghitung putaran menjadi:

$$N = \frac{C_s}{p.d} \dots \text{rpm}$$

Karena satuan C_s dalam meter/menit sedangkan satuan diameter pisau/benda kerja dalam millimeter, maka rumus menjadi :

$$N = \frac{1000 C_s}{p.d} \text{ rpm}$$

Contoh: Benda yang akan dibubut berdiameter 30 mm dengan kecepatan potong (C_s) 25 m/menit, maka besarnya putaran mesin (n)

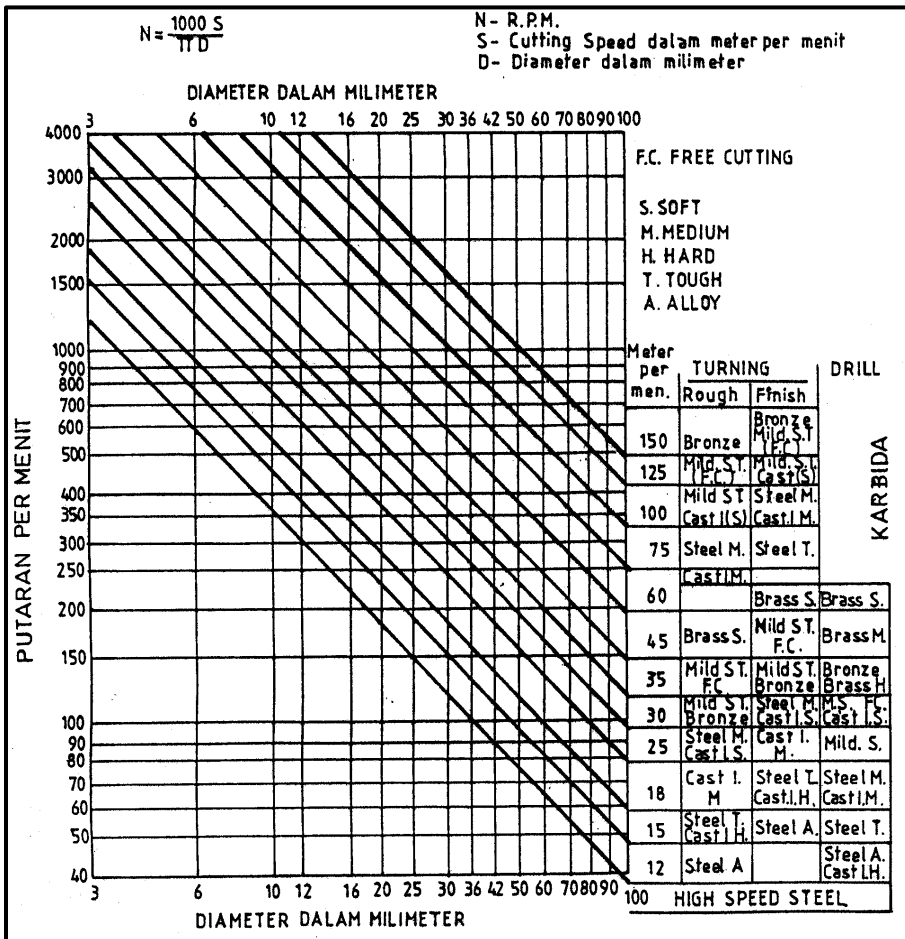
diperoleh:
$$n = \frac{1000 \cdot 25}{3,14 \cdot 30} = 265,392 \text{ rpm}$$

Dalam menentukan besarnya kecepatan potong dan putaran mesin, selain dapat dihitung dengan rumus diatas juga dapat dicari pada tabel kecepatan potong pembubutan (Tabel 3 dan 4) yang hasil pembacaannya mendekati dengan angka hasil perhitungan.

Tabel 3. Kecepatan potong pahat HSS (*High Speed Steel*)

KECEPATAN POTONG YANG DIANJURKAN UNTUK PAHAT HSS						
MATERIAL	PEMBUBUTAN DAN PENGEBORAN				PENGULIRAN	
	PEKERJAAN KASAR		PEKERJAAN PENYELESAIAN			
	m/m enit	ft/mi n	m/mi n	ft/min	m/min	ft/min
Baja mesin	27	90	30	100	11	35
Baja perkakas	21	70	27	90	9	30
Besi tuang	18	60	24	80	8	25
Perunggu	27	90	30	100	8	25
Aluminium	61	200	93	300	18	60

Tabel 4. Daftar kecepatan potong pembubutan



1.10 Waktu pengerjaan

Yang dimaksud dengan waktu pengerjaan disini adalah durasi waktu (lamanya waktu) yang digunakan untuk menyelesaikan pekerjaan. durasi ini sangat penting diperhatikan sehubungan dengan efisiensi pengerjaan. Apalagi dikaitkan dengan sistem bisnis komersial atau kegiatan unit produksi di sekolah, waktu pengerjaan sangat penting untuk diperhitungkan. Hal-hal yang berkaitan dengan waktu pengerjaan adalah :

a. Kecepatan pemakanan (f)

yang dimaksud dengan kecepatan pemakanan adalah jarak tempuh gerak maju pisau/benda kerja dalam satuan milimeter permenit atau *feet* permenit. Pada gerak putar, kecepatan pemakanan,

f adalah gerak maju alat potong/benda kerja dalam n putaran benda kerja/pisau per menit.

Pada mesin bubut, tabel kecepatan pemakanan f dinyatakan dalam satuan millimeter perputaran sehingga $f = f \cdot n$.

Besarnya kecepatan pemakanan dipengaruhi oleh:

- jenis bahan pahat yang digunakan
- jenis pekerjaan yang dilakukan, misalnya membubut rata, mengulir, memotong atau mengkartel dan lain-lain
- menggunakan pendinginan atau tidak
- jenis bahan yang akan dibubut, misalnya besi, baja, baja tahan karat (*stainless steel*), atau bahan-bahan non fero lainnya
- kedalaman pemakanan

Sebagai pedoman umum untuk mengetahui besarnya kecepatan pemakanan dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Kecepatan Pemakanan untuk pahat HSS

Pemakanan yang disarankan untuk pahat HSS				
Material	Pekerjaan kasar		Pekerjaan penyelesaian	
	Milimeter permenit	Inch permenit	milimeter permenit	inch permenit
Baja mesin	0,25-0,50	0,010-0,020	0,07-0,25	0,003-0,010
Baja perkakas	0,25-0,50	0,010-0,020	0,07-0,25	0,003-0,010
Besi tuang	0,40-0,65	0,015-0,025	0,13-0,30	0,005-0,012
Perunggu	0,40-0,65	0,015-0,025	0,07-0,25	0,003-0,010
Aluminium	0,40-0,75	0,015-0,030	0,13-0,25	0,005-0,010

Pekerjaan kasar yang dimaksud adalah pekerjaan pendahuluan dimana pemotongan atau penyayatan benda kerja tidak diperlukan hasil yang halus dan presisi, sehingga kecepatan pemakanannya dapat dipilih angka yang besar dan selanjutnya masih dilakukan pekerjaan penyelesaian (*finishing*). Pekerjaan ini dapat dilakukan dengan gerakan otomatis ataupun gerakan manual, namun demikian tidak boleh mengabaikan kemampuan pahat dan kondisi benda kerja. Semakin tebal penyayatan hendaknya semakin rendah putarannya untuk menjaga umur pahat dan tidak terjadi beban lebih terhadap motor penggeraknya.

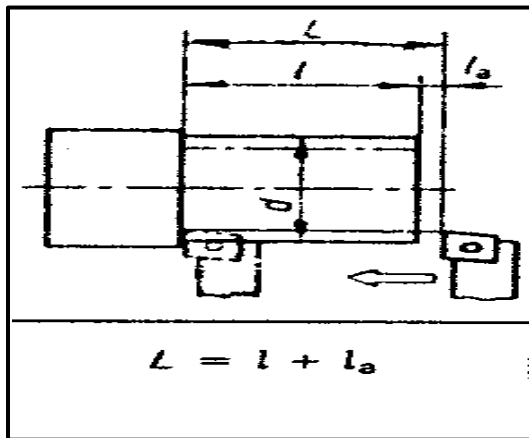
Sedangkan pekerjaan penyelesaian yang dimaksud adalah pekerjaan penyelesaian (*finishing*) akhir yang memerlukan kehalusan dan kepresisian ukuran tertentu, sehingga kecepatan pemakanannya harus menggunakan angka yang kecil dan tentunya harus menggunakan putaran mesin sesuai perhitungan atau data dari tabel kecepatan potong.

b. Frekwensi pemakanan (i)

Yang dimaksud dengan frekwensi pemakanan adalah jumlah pengulangan penyayatan mulai dari penyayatan pertama hingga selesai. Frekwensi pemakanan tergantung pada kemampuan mesin, jumlah bahan yang harus dibuang, sistem penjepitan benda kerja dan tingkat *finishing* yang diminta.

c. Panjang benda kerja / jarak tempuh alat potong (L).

Pada proses pembubutan, jarak tempuh pahat sama dengan panjang benda kerja yang harus dibubut ditambah kebebasan awal (Gambar 56).



Gambar 56. Jarak tempuh pahat bubut

d. Perhitungan waktu pengerjaan mesin bubut (T)

Pada proses pembubutan perhitungan waktu pengerjaan waktu pengerjaan = (Jarak tempuh pahat x frekwensi pemakanan) dibagi (Kecepatan pemakanan kali kecepatan putaran mesin)

$$T = \frac{L \cdot i}{F} \text{ menit (jam)}$$

Dimana $F = f \cdot n$
 f = kecepatan pemakanan
 n = putaran mesin
 $L = l + l_a$

Contoh: Diketahui panjang benda kerja yang akan dibubut (l) 96 mm, kebebasan awal pahat dari permukaan benda kerja (l_a) 4 mm, putaran mesin (n) 420 rpm dan frekwensi pemakanan (i) 1 kali, serta kecepatan pemakanannya 0,25 mm/menit. Maka waktu pengerjaannya adalah:

$$T = \frac{L \cdot i}{F} = \frac{(96 + 4) \cdot 1}{0.25 \cdot 400} = 2 \text{ Menit}$$

1.11 Cara Membubut

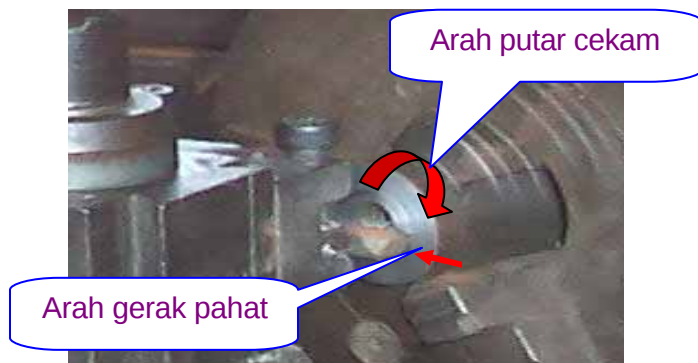
1.11.1 Membubut muka

Membubut permukaan (Gambar 57) hendaklah diperhatikan beberapa hal berikut ini :

- a. jangan terlalu panjang keluar benda kerja terikat pada cekam
- b. pahat harus setinggi senter
- c. gerakan pahat maju mulai dari sumbu benda kerja dengan putaran benda kerja searah jarum jam atau gerakan pahat maju menuju sumbu benda kerja dengan putaran benda kerja berlawanan arah jarum jam (putaran mesin harus berlawanan dengan arah mata sayat alat potong).



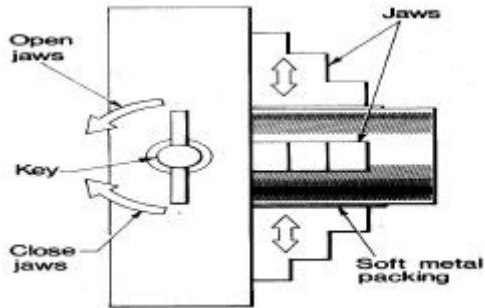
Gambar 57 . Membubut permukaan



Gambar 58. Arah gerakan pahat dan benda kerja

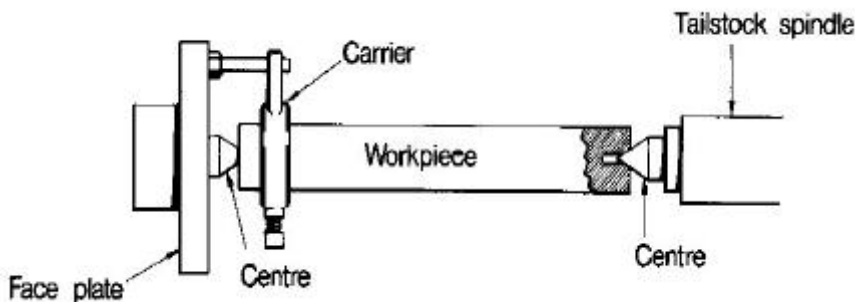
1.11.2 Membubut lurus

Pekerjaan membubut lurus untuk jenis pekerjaan yang panjangnya relatif pendek, dapat dilakukan dengan pencekaman langsung (Gambar 59)



Gambar 59. Pembubutan lurus benda yang pendek

Untuk pekerjaan membubut lurus yang dituntut hasil kesepusatan yang presisi, maka pembubutannya harus dilakukan diantara dua senter (Gambar 60)

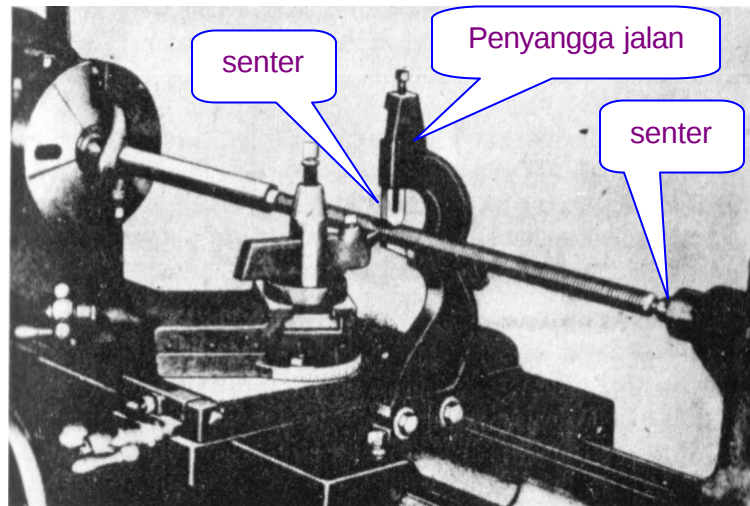


Gambar 60. Pembubutan lurus benda yang panjang

Sedangkan pekerjaan membubut lurus seperti ditunjukkan pada gambar 57, untuk benda yang panjang dan berdiameter kecil maka harus diperhatikan beberapa hal berikut ini :

- benda kerja didukung dengan dua buah senter
- gunakan penyangga, plat pembawa dan pembawa bila benda kerjanya panjang.
- pahat harus setinggi senter
- pilih besarnya kecepatan putaran menggunakan rumus atau menggunakan tabel
- setel posisi pahat menyentuh benda kerja dan set *dial* ukur pada eretan melintang menunjuk posisi 0
- setel posisi pahat pada batas ujung maksimum awal langkah pada *dial* eretan memanjang posisi 0

- g. pengukuran sebaiknya menggunakan alat ukur mesin itu sendiri
- h. gunakan pahat yang mempunyai sudut potong yang tepat
- i. jalankan mesin dan perhatikan besarnya pemakanan serta hasil penyayatannya.



Gambar 61. Pembubutan lurus untuk batang panjang

1.11.3 Membubut tirus (konis)

Membubut tirus serupa dengan membubut lurus hanya bedanya gerakan pahat disetel mengikuti sudut tirus yang dikehendaki pada eretan atas, atau penggeseran kepala lepas atau dengan alat bantu taper attachment (perlengkapan tirus). Jenis pahatnyaapun serupa yang digunakan dalam membubut lurus. Penyetelan peralatan eretan atas, atau penggeseran kepala lepas atau dengan alat bantu *taper attachment* pada saat membubut tirus tergantung pada sudut ketirusan benda kerja yang akan dikerjakan.

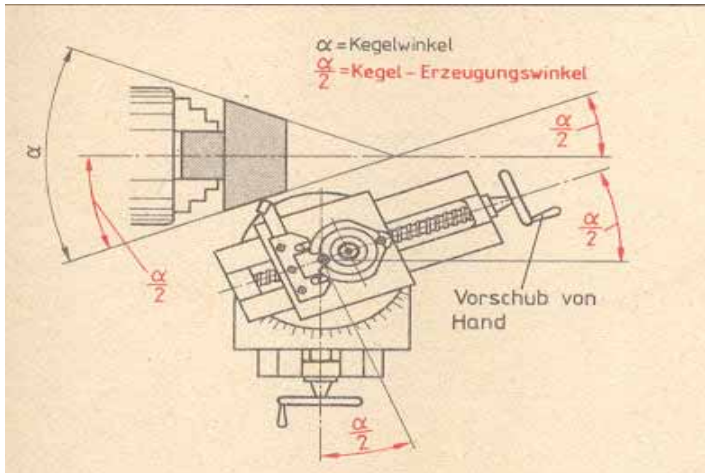
Pembubutan tirus dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya:

- a. Dengan penggeseran eretan atas.

Pembubutan tirus dengan penggeseran eretan atas, dapat dilakukan dengan mengatur/menggeser eretan atas sesuai besaran derajat yang dikehendaki. Dalam hal ini pergeseran eretan atas dari posisi sejajar dengan senter mesin digeser/diputar sebesar sudut yang dikehendaki.

Pembubutan tirus dengan cara ini hanya terbatas pada panjang titik tertentu (relatif pendek), sebab tergantung pada besar kecilnya eretan atas yang dapat digeserkan. Kelebihan pembubutan tirus dengan cara ini dapat melakukan pembuatan tirus dalam dan luar,

juga bentuk-bentuk tirus yang besar, sedangkan kekurangannya adalah tidak dapat dikerjakan secara otomatis, jadi selalu dilakukan dengan tangan. Gambar 62 menunjukkan besarnya cara pembubutan tirus dengan menggeser eretan atas.



Gambar 62. Pembubutan tirus dengan menggeser eretan atas.

Berdasarkan gambar di atas pembubutan tirus dengan penggeseran eretan dapat dihitung dengan rumus:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{D-d}{2}}{l} = \frac{D-d}{2l} \text{ Dimana: } D = \text{diameter besar ketirusan}$$

d = diameter kecil ketirusan

l = panjang ketirusan

α = sudut pergeseran eretan atas

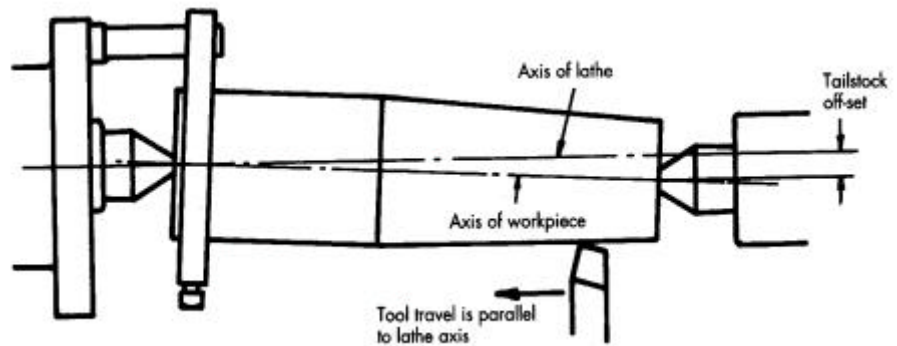
Contoh: Dalam pembubutan tirus diketahui, $D = 50 \text{ mm}$; $d = 34 \text{ mm}$, panjang ketirusan $l = 60 \text{ mm}$, Jadi penggeseran eretan atasnya adalah:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D-d}{2l} = \frac{50-34}{2.60} = 0,133 \rightarrow \alpha = 7^{\circ} 37''$$

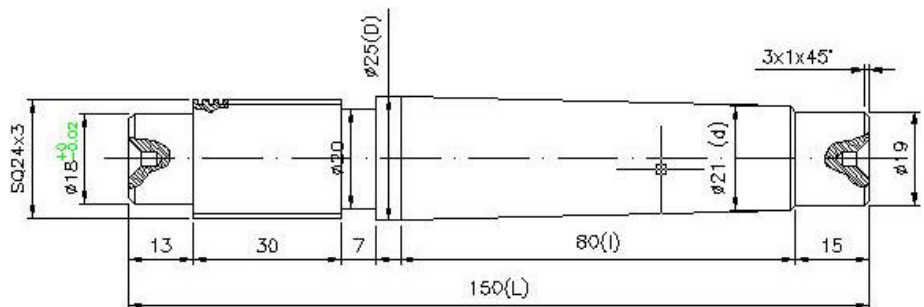
Jadi eretan harus digeser sebesar $\alpha = 7^{\circ} 37''$

b. Dengan Pengeseran Kepala Lepas

Pembubutan tirus dengan penggeseran eretan atas (Gambar 62), hanya dapat dilakukan untuk pembubutan bagian tirus luar saja dan kelebihanannya dapat melakukan pembubutan tirus yang panjang dengan perbandingan ketirusan yang kecil (terbatas). Cara penyayatannya dapat dilakukan secara manual dengan tangan dan otomatis. Gambar 63 menunjukkan gambar kerja pembubutan tirus diantara dua senter.



Gambar 63. Membubut tirus diantara dua senter



Gambar 64. Gambar kerja membubut tirus diantara dua senter

Berdasarkan gambar di atas pembubutan tirus dengan penggeseran kepala lepas/offset (X) dapat dihitung dengan rumus:

$$X = \frac{L}{l} \cdot \frac{(D - d)}{2}$$

Dimana : X = Jarak penggeseran kepala lepas

D = Diameter tirus terbesar

d = Diameter tirus terkecil

L = Panjang benda kerja total

l = Panjang tirus yang dibubut (tirus efektif)

Contoh 1: Sebuah benda kerja akan dibubut tirus pada mesin bubut yang data-datanya sebagaimana gambar 60, yaitu panjang total benda kerja 150 mm, panjang tirus efektif 80 mm, diameter tirus yang besar (D) 25 mm dan ukuran diameter tirus yang kecil (D) 21 mm. Jarak penggeseran kepala lepasnya adalah:

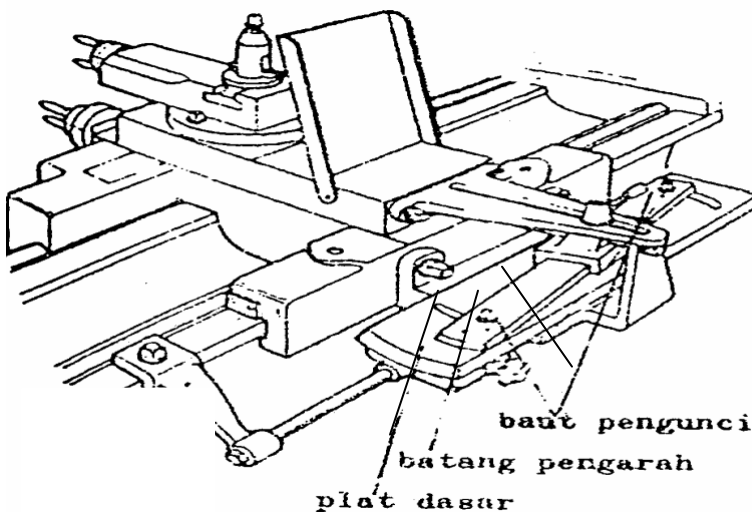
$$X = \frac{L}{l} \cdot \frac{(D - d)}{2} = \frac{150}{80} \cdot \frac{(25 - 21)}{2} = 3,75 \text{ mm}$$

Jadi jarak penggeseran kepala lepas adalah **3.75 mm**

c. Dengan menggunakan perlengkapan tirus (*Taper Attachment*).

Pembubutan dengan cara ini dapat diatur dengan memasang pelengkapan tirus yang dihubungkan dengan eretan lintang. Satu set perlengkapan tirus yang tersedia diantaranya (Gambar 65):

- Busur skala (plat dasar)
- Alat pembawa
- Sepatu geser
- Baut pengikat (baut pengunci)
- Lengan pembawa



Gambar 65. Perlengkapan tirus

Pembawa dapat disetel dengan menggesernya pada busur kepala sesuai dengan hasil perhitungan ketirusan, biasanya garis pembagian pada busur kepala ditetapkan dalam taper per feet bukan taper tiap inchi.

Untuk menghitung besaran taper per feet dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$Tpf = \frac{D - d}{p} 12$$

Dimana: Tpf = taper per feet

D = diameter kertirusan yang besar

d = diameter ketirusan kecil

p = panjang ketirusan

Contoh : Sebuah benda kerja akan dibubut tirus pada mesin bubut mempunyai diameter ketirusan yang besar (D) = 2", dan diameter ketirusan yang kecil (d) = 13/4" panjang ketirusannya = 8".

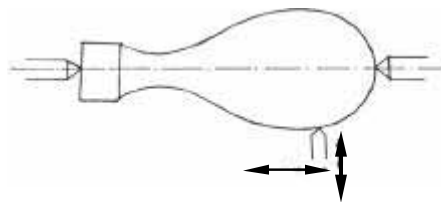
Busur skala attachment mempunyai pembagian tiap strip = 1/16 ". Hitung berapa strip alat pembawa pada *attachment* harus digeserkan !

$$\text{Jawab : } Tpf = \frac{D - d}{p} 12 = \frac{2'' - 1\frac{3}{4}''}{8''} 12 = \frac{3''}{8}$$

Setiap setiap skala busur *attachment* bernilai 1/18 inchi, sedangkan benda kerja mempunyai $Tpf = 3/8''$, jadi alat pembawanya harus digeser 3/8 dibagi 1/16 sama dengan 6 strip pada busur skala.

1.11.4 Membubut bentuk

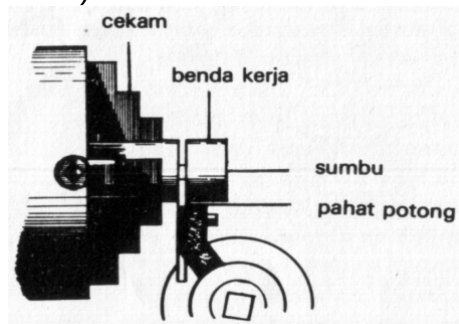
Membubut bentuk radius (Gambar 66), bulat atau bentuk khusus lainnya dapat dilakukan pada mesin bubut copi. Namun dapat juga bentuknya langsung mengikuti bagaimana bentuk asahan pahatnya itu sendiri, khususnya untuk bentuk-bentuk yang relatif tidak lebar (luas). Karena bidang pahat yang memotong luasannya relatif besar bila dibandingkan pembubutan normal, maka besarnya pemakanan dan kecepatan putarnya pun tidak boleh besar sehingga memperkecil terjadinya penumpulan dan patahnya benda kerja maupun pahat.



Gambar 66. Membubut bentuk

1.11.5 Membubut alur (memotong)

Pada pekerjaan memotong benda kerja, harus diperhatikan tinggi mata pahat pemotongnya harus setinggi senter, bagian yang keluar dari penjepit pahat harus pendek, kecepatan putaran mesin harus perlahan-lahan (kerja ganda), bagian yang akan dipotong harus sedikit lebih lebar dibandingkan dengan lebar mata pahatnya agar pahat tidak terjepit. Benda yang akan dipotong sebaiknya tidak dijepit dengan senter (lihat Gambar 67).

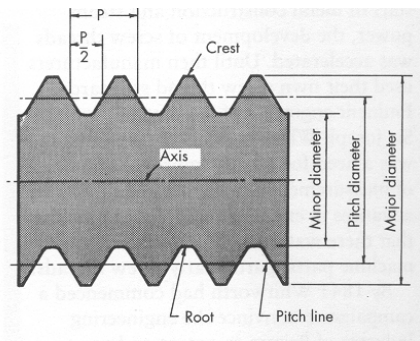


Gambar 67. Membubut alur

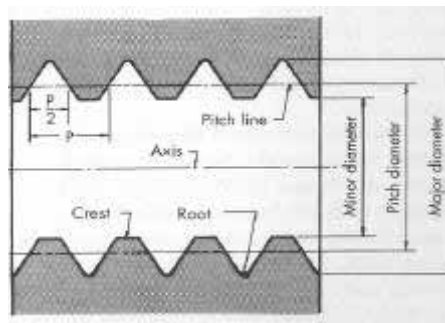
Apabila diperlukan dan bendanya panjang boleh dijepit menggunakan senter tetapi tidak boleh pemotongan dilakukan sampai putus, dilebihkan sebagian untuk kemudian digergaji, atau dilanjutkan dengan dengan pahat tersebut tetapi tanpa didukung dengan senter, hal ini untuk menghindari terjadinya pembengkokan benda kerja dan patahnya pahat.

1.11.6 Membubut ulir

Mesin bubut dapat dipergunakan untuk membubut ulir luar/baut dan ulir dalam/mur dan dari sisi bentuk juga dapat membuat ulir segi tiga, segi empat, trapesium dan lain-lain. Gambar 68 menunjukkan profil dan dimensi ulir segitiga luar (baut) dan gambar 69 menunjukkan profil dan dimensi ulir segitiga dalam (mur) dalam satuan metris.



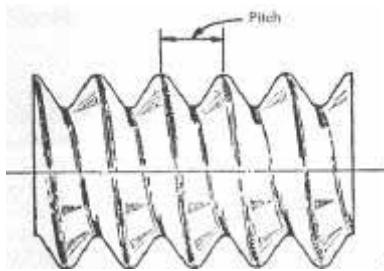
Gambar 68. Ulir segitiga luar



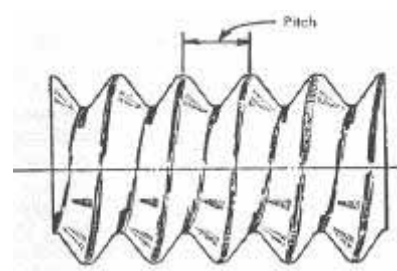
Gambar 69. Ulir segitiga dalam

Dari sisi arah uliran jenis ulir ada yang arah ulirnya ke kanan (disebut ulir kanan), dan ada yang arah ulirnya kekiri (disebut ulir kiri). Arah uliran ini dibuat sesuai kebutuhan ulir tersebut penggunaannya untuk apa dan digunakan dimana, serta salah satu pertimbangan lain yang tidak kalah pentingnya adalah arah gaya yang diterima ulir tersebut. Gambar 70 menunjukkan jenis ulir segitiga kanan dan gambar 71 menunjukkan jenis ulir segitiga kiri.

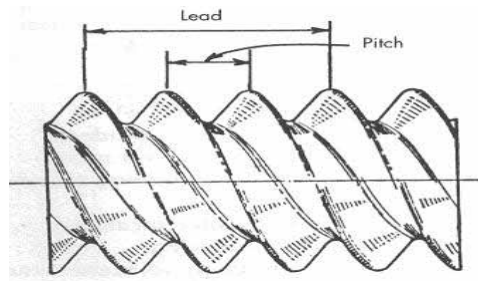
Sedangkan bila dilihat jalannya uliran ada yang disebut ulir tunggal, ulir dua jalan (ganda) dan yang lebih dari dua jalan disebut ulir majemuk. Gambar 72 menunjukkan ulir segitiga dua jalan.



Gambar 70. Ulir segitiga kanan

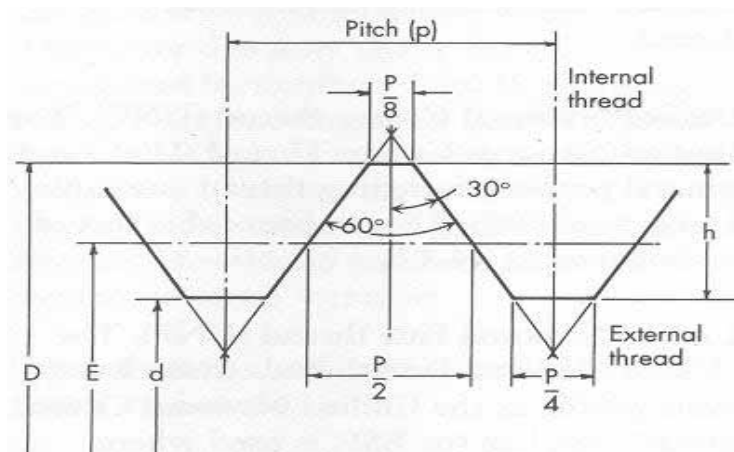


Gambar 71. Ulir segitiga kiri

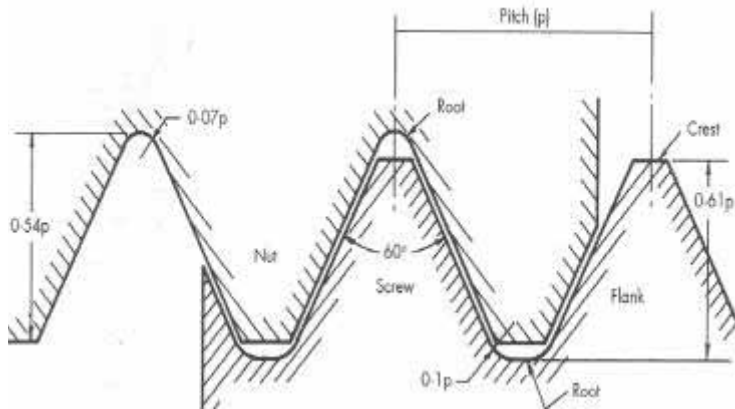


Gambar 72. Ulir segitiga dua jalan

Untuk mendapatkan data standar ukuran dan profil ulir, baik itu jenis ulir metris, inchi atau jenis ulir lainnya dapat dilihat pada tabel ulir. Dengan melihat data ulir dari tabel kita dapat menentukan kisar/gang, diameter luar ulir termasuk diameter lubang ulir. Gambar 73 menunjukkan data standar profil ulir jenis metrik. Dan untuk menentukan kedalaman ulir baik itu ulir luar maupun dalam dapat dilihat pada gambar 74.



Gambar 73. Standar profil ulir jenis metrik.

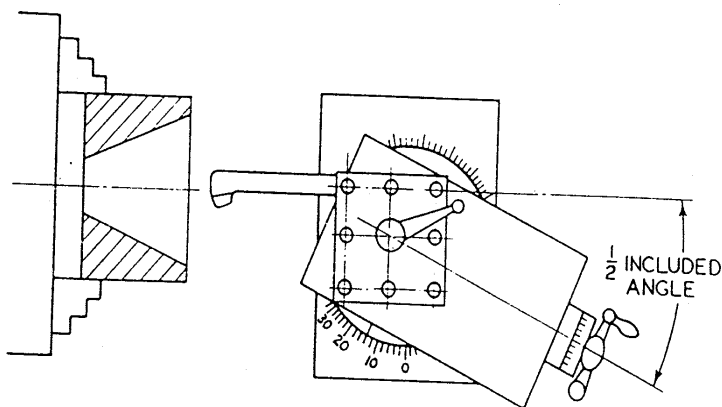


Gambar 74. Standar kedalam an ulir metrik.

Dari data gambar di atas dapat dijadikan acuan bahwa kedalam an ulir luar (baut) adalah $0,61 \times Pitch/kisar$ dan kedalam an ulir dalam (Mur) adalah $0,54 \times Pitch/kisar$. Dan untuk memudahkan mur terpasang pada baut, pada umumnya diameter nominal baut dikurangi sebesar $0.1 \times kisar$.

1.11.7 Membubut dalam

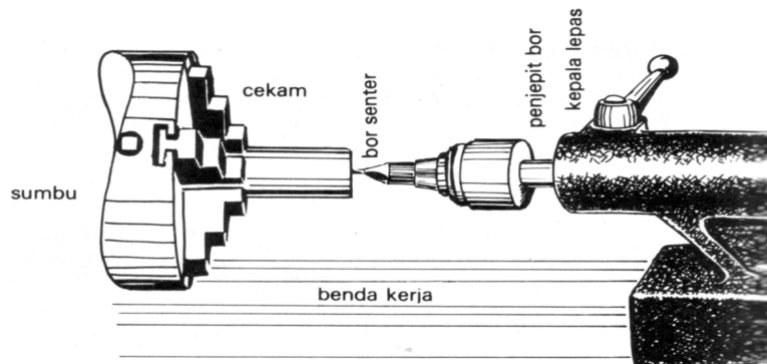
Pekerjaan membubut dalam dilakukan biasanya setelah dilakukan pengeboran atau sudah ada lubang terlebih dahulu (Gambar 75). Jadi pembubutan dalam hanya bersifat perluasan lubang atau membentuk bagian dalam benda. Untuk mengetahui kedalam an yang dicapai maka pada saat awal mata pahat hendaknya disetel pada posisi 0 dial ukur kepala lepas sehingga tidak setiap saat harus mengukur kedalam an atau jarak tempuh pahatnya.



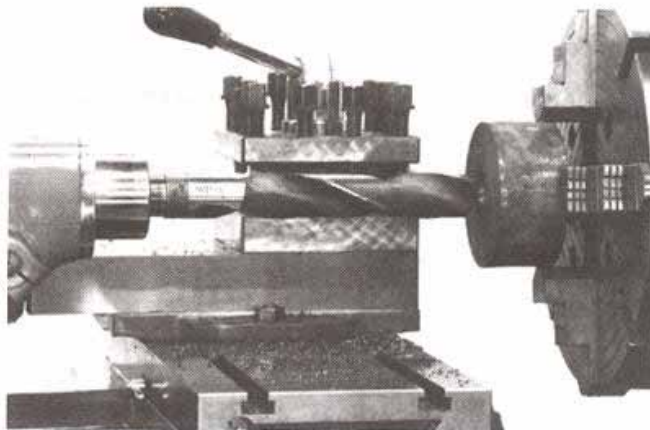
Gambar 75. Membubut dalam tirus.

1.11.8 Mengebor

Sebelum dilakukan pengeboran benda kerja dibor senter terlebih dahulu (Gambar 76). Pada saat pengeboran besarnya putaran mengikuti besar kecilnya diameter mata bor yang digunakan dan harus diberi pendinginan untuk menjaga mata bor tetap awet dan hasilnya pengeboran bisa maksimal.



Gambar 76 a. Pengeboran lubang senter.



Gambar 76 b. Pengeboran lubang senter.

1.12 Tes formatif

1.12.1 Soal-soal

- a. Apa perbedaan yang mendasar antara mesin bubut konvensional dengan mesin bubut CNC?
- b. Sebutkan komponen-komponen utama mesin bubut konvensional beserta fungsinya?

1.12.2 Kunci Jawaban

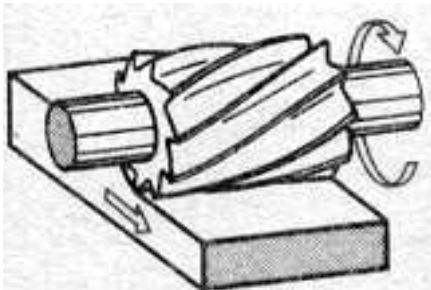
- a. Perbedaan yang mendasar antara mesin bubut konvensional dengan mesin bubut CNC adalah pada cara pengendaliannya, cara pengendalian mesin bubut konvensional dengan manual (pengerjaan tangan) dan membutuhkan keterampilan manual operator sedangkan CNC adalah dengan komputer.
- b. Komponen-komponen utama mesin bubut konvensional adalah sebagai berikut:
 - 1) Tuas Pengatur Kecepatan Transporter dan Sumbu Pembawa : untuk mengatur kecepatan poros transporter dan sumbu pembawa.
 - 2) Pelat table : untuk pedoman dalam pengerjaan sehingga dapat dipilih kecepatan yang sesuai dengan besar kecilnya diameter benda kerja atau menurut jenis pahat dan bahan yang dikerjakan.
 - 3) Tuas pengubah pembalik transporter dan sumbu pembawa: untuk membalikkan arah putaran sumbu utama, hal ini diperlukan bilamana hendak melakukan pengerjaan penguliran, pengkartelan, ataupun membubut permukaan.
 - 4) Kepala Tetap : sebagai tempat serangkaian susunan roda gigi dan roda pulley bertingkat ataupun roda tunggal dihubungkan dengan sabuk V atau sabuk rata.
 - 5) Plat Tabel Kecepatan Sumbu Utama : menunjukkan angka-angka besaran kecepatan sumbu utama yang dapat dipilih sesuai dengan pekerjaan pembubutan.
 - 6) Tuas-Tuas Pengatur Kecepatan Sumbu Utama : untuk mengatur kecepatan putaran sumbu utama.
 - 7) Sumbu Utama (*Main Spindle*) : sebagai tempat kedudukan benda kerja yang akan dibubut, biasanya dipasangkan chuck, plat pembawa, dan kolet.
 - 8) Alas Mesin (*bed*) : digunakan sebagai tempat kedudukan kepala lepas, eretan, penyangga diam (*steady rest*) dan merupakan tumpuan gaya pemakanan waktu pembubutan
 - 9) Eretan (*carriage*) : untuk memberikan pemakanan (*feeding*) yang besarnya dapat diatur menurut ukuran (*dial*) yang terdapat pada roda pemutarnya.

- 10) Penjepit Pahat (*Tools Post*) : untuk menjepit atau memegang pahat.
- 11) Eretan Atas : biasa digunakan untuk membubut tirus.
- 12) Keran pendingin : digunakan untuk menyalurkan pendingin (*collant*) kepada benda kerja yang sedang dibubut.
- 13) Kepala Lepas (*tail stock*) : diigunakan untuk mendukung benda kerja, kedudukan bor dan sebagai tempat menjepit bor.
- 14) Pengikat Kepala Lepas : untuk menjaga dan mengatur pergerakan kepala lepas.
- 15) Roda Pemutar : untuk menggerakkan poros kepala lepas maju ataupun mundur, panjang yang ditempuh dapat dibaca dari (cincin berskala) dial yang ada pada roda pemutar tersebut.
- 16) Transporter : untuk membawa eretan pada waktu kerja otomatis.
- 17) Sumbu Pembawa : digunakan untuk membawa atau mendukung jalannya eretan.
- 18) Tuas Penghubung : untuk menghubungkan roda gigi yang terdapat pada eretan dengan poros transpoter sehingga eretan akan dapat berjalan secara otomatis sepanjang alas mesin.
- 19) Eretan Lintang : untuk menggerakkan pahat melintang alas mesin atau arah kedepan atau kebelakang posisi operator yaitu dalam pemakanan benda kerja.

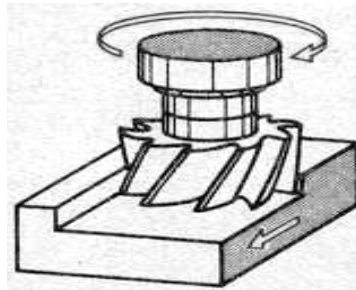
2. Mesin Frais Konvensional

2.1 Pengertian

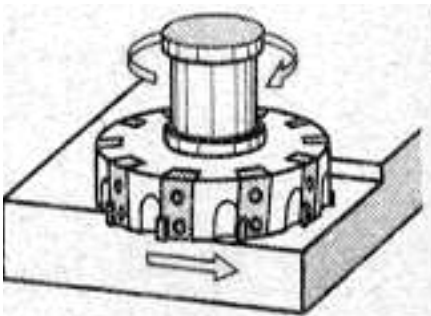
Mesin frais (*milling machine*) adalah mesin perkakas yang dalam proses kerja pemotongannya dengan menyayat/memakan benda kerja menggunakan alat potong bermata banyak yang berputar (*multipoint cutter*). Pada saat alat potong (*cutter*) berputar, gigi-gigi potongnya menyentuh permukaan benda kerja yang dijepit pada ragam meja mesin frais sehingga terjadilah pemotongan/penyayatan dengan kedalaman sesuai penyetingan sehingga menjadi benda produksi sesuai dengan gambar kerja yang dikehendaki (Gambar 77).



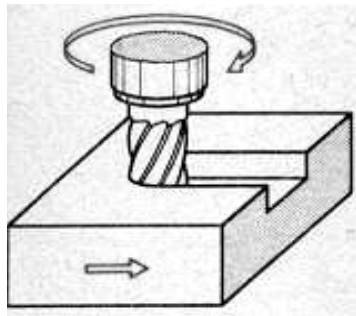
(a)



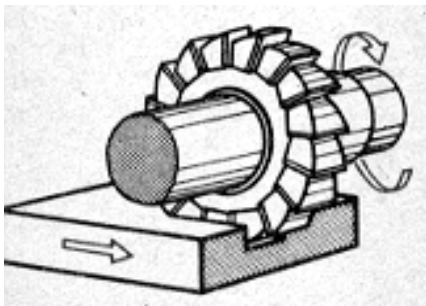
(b)



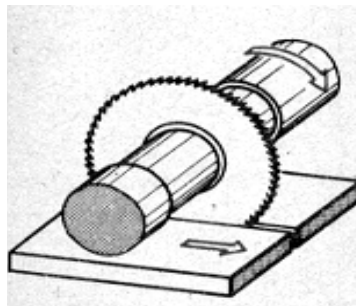
(c)



(d)



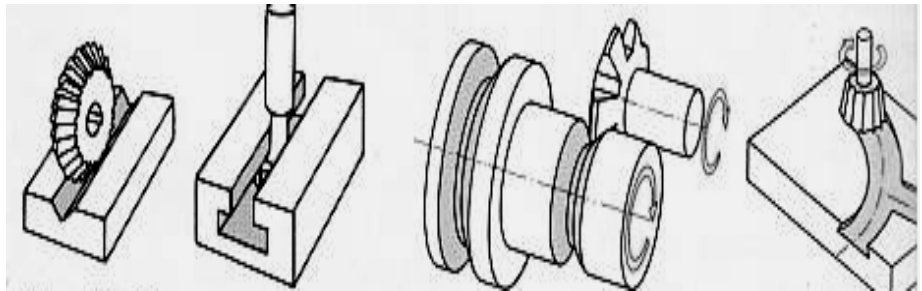
(e)



(f)

Gambar 77. Prinsip pemotongan pada mesin frais

Pada Gambar (77 a) menunjukkan prinsip pemotongan/ pengefraisan datar bagian permukaan (*face milling*) dimana *cutter* bergerak berputar memotong keatas (*cutting up*) sedang benda kerjanya bergerak lurus melawan *cutter* pada mesin frais horizontal. Demikian pula yang terjadi pada mesin frais tegak (Gambar 77 b, 77 c dan 77 d), sedangkan gambar (77 e) menunjukkan pemotongan bagian muka dan sisi (*side and face cutting*) dan gambar (77 f) menunjukkan pemotongan pada mesin frais horizontal. Pada gambar 78 diperlihatkan prinsip pemotongan berbagai jenis alur (*slot*).



Gambar 78. Pemotongan alur

Dengan prinsip-prinsip pemotongan diatas, kita dapat melakukan pembuatan benda kerja dengan berbagai bentuk-bentuk diantaranya:

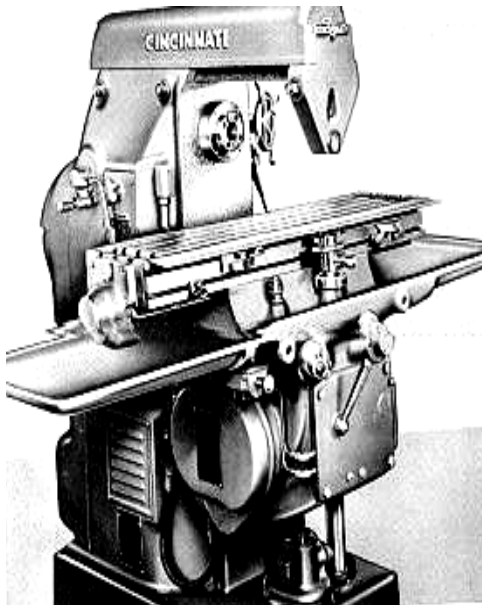
- a. Bidang rata datar
- b. Bidang rata miring menyudut
- c. Bidang siku
- d. Bidang sejajar
- e. Alur lurus atau melingkar
- f. Segi beraturan atau tidak beraturan
- g. Pengeboran lubang atau memperbesar lubang dan lain-lain.

Selain bentuk-bentuk tersebut diatas, kita juga dapat melakukan pembuatan benda kerja dengan bentuk yang lain dimana bentuk ini sangat dipengaruhi oleh bentuk pisau dan arah gerakannya alat serta perlengkapan lain yang digunakan diantaranya:

- a. Roda gigi lurus
- b. Roda gigi helik
- c. Roda gigi payung
- d. Roda gigi cacing
- e. Nok/eksentrik
- f. Ulir yang memilki kisar/pitch yang besar, dan lian-lain.

2.2. Jenis-jenis mesin frais

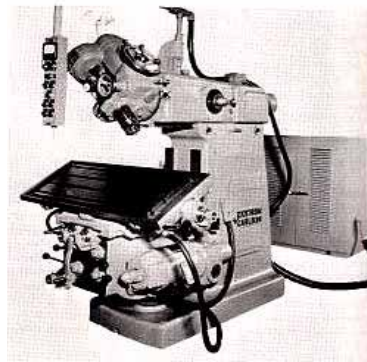
Mesin frais merupakan jenis mesin perkakas yang sangat cepat berkembang dalam teknologi penggunaannya, sehingga dengan mesin ini dapat digunakan untuk membentuk dan meratakan permukaan, membuat alur (*splines*), membuat roda gigi dan ulir dan bahkan dapat dipergunakan untuk mengebor dan meluaskan lubang. Tetapi yang paling banyak dijumpai adalah jenis mesin tiang dan lutut (*column-and-knee*), meja tetap (*fixed-bed*) dan pengendalian manual sebelum mesin-mesin pengendalian computer dikembangkan. Jenis mesin frais yang lain yang prinsip kerjanya khusus seperti mesin frais yaitu mesin hobbing (*hobbing machines*), mesin pengulir (*thread machines*), mesin pengalur (*spline machines*) dan mesin pembuat pasak (*key milling machines*). Untuk produksi massal biasanya dipergunakan jenis mesin yang menggunakan banyak sumbu (*multi spindles planer type*) dan meja yang bekerja secara berputar terus menerus (*continuous action-rotary table*) serta jenis mesin frais drum (*drum type milling machines*)



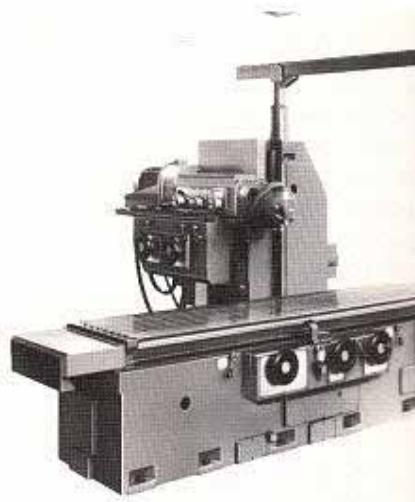
Gambar 79. Mesin frais *horizontal*



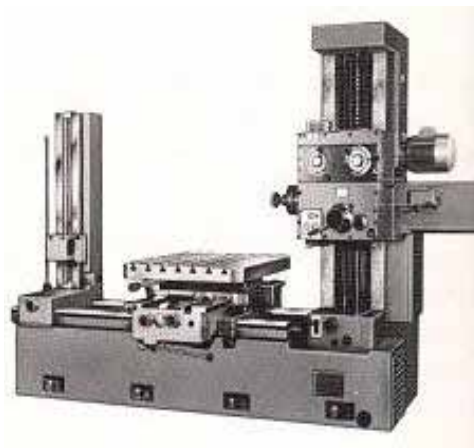
Gambar 80. Mesin frais *vertical*



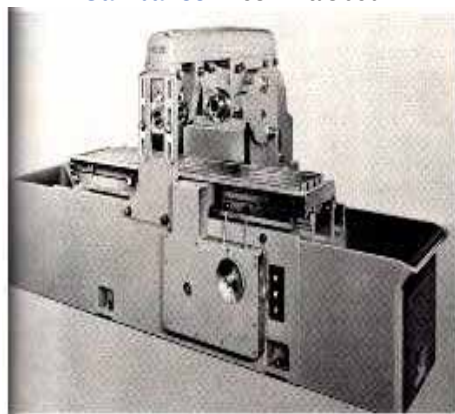
Gambar 81. Mesin frais *Universal*



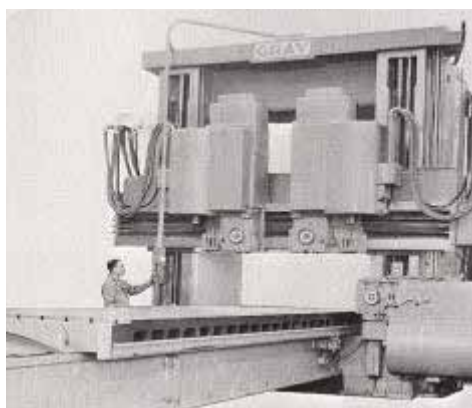
Gambar 82. Mesin frais *universal*



Gambar 83. Mesin frais *bed*



Gambar 84. Mesin frais *duplex*



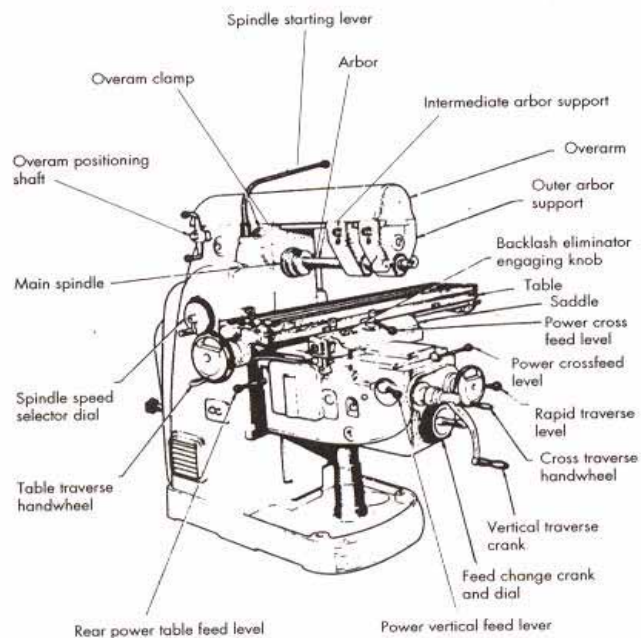
Gambar 85. Mesin frais *planer*



Gambar 86. Mesin frais roda gigi (*gear hobbing machine*)

2.2.1. Mesin frais *horizontal*

Mesin frais *horizontal* (Gambar 87), alasnya (*base*) dari besi tuang kelabu, yang mendukung seluruh komponen dan dibaut fondasi serta berfungsi untuk menampung cairan pendingin yang mengalir ke bawah, dimana di dalam kolom (*coulumn*) terdapat mesin pompa yang memompa cairan tersebut untuk kemudian disirkulasi lagi ke atas meja (*table*).

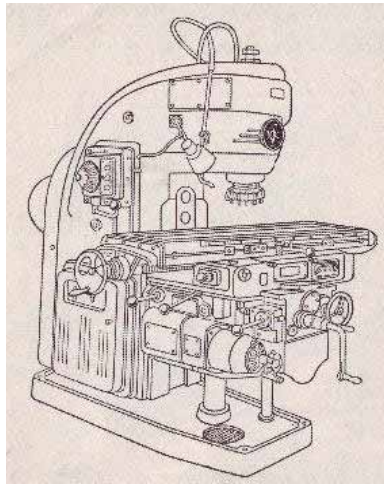


Gambar 87. Bagian-bagian utama mesin frais *horizontal*

Pada bagian kolom yang mendukung seluruh rangka terdapat kotak roda gigi kecepatan, motor dengan sabuk transmisi. Kolom ini adalah merupakan komponen utama mesin frais yang berbentuk *box* dimana lengan mesin (*overarm*) dan spindel tempat memasang poros arbor.

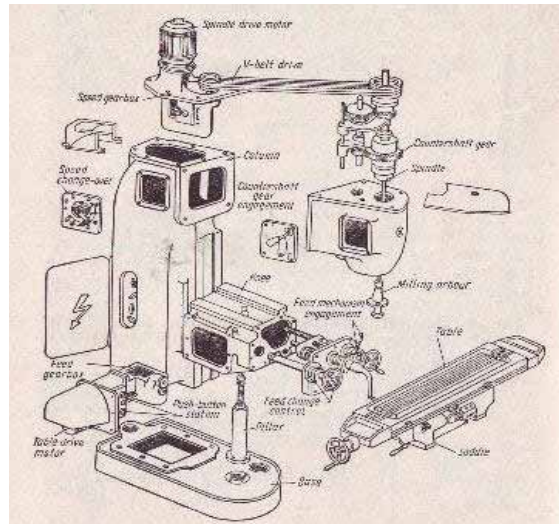
2.2.2. Mesin frais tegak (*vertical*)

Sesuai dengan namanya, yang dimaksud *vertical* sebenarnya adalah poros spindelnya yang dikonstruksikan dalam posisi tegak (Gambar 88).



Gambar 88. Mesin frais tegak

Semua bagian yang terdapat pada mesin frais tegak sama seperti pada mesin frais *horizontal* hanya saja posisi spindelnya tegak, untuk lebih jelasnya nama-nama bagian mesin frais tegak dapat dilihat pada gambar 89 di bawah ini.



Gambar 89. Komponen-komponen mesin frais tegak

Mesin frais *universal* (Gambar 90) adalah salah satu jenis mesin frais yang dapat digunakan pada posisi tegak (*vertical*) dan mendatar (*horizontal*) dan memiliki meja yang dapat digeser/diputar pada kapasitas tertentu.



Gambar 90. Mesin frais *universal*

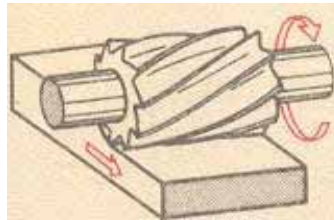
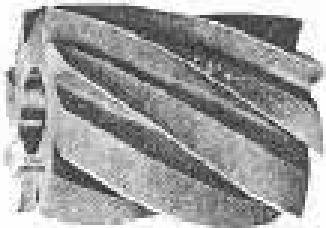
2.3. Alat-alat potong (*cutter*) mesin frais

2.3.1 Jenis-Jenis Pisau Frais

Pisau mesin frais/*Cutter* mesin frais baik horisontal maupun *vertical* memiliki banyak sekali jenis dan bentuknya. Pemilihan pisau frais berdasarkan pada bentuk benda kerja, serta mudah atau kompleksnya benda kerja yang akan dibuat. Adapun jenis-jenis pisau frais, antara lain:

a. Pisau Mantel (*Helical milling cutter*)

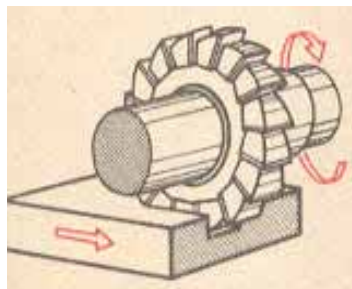
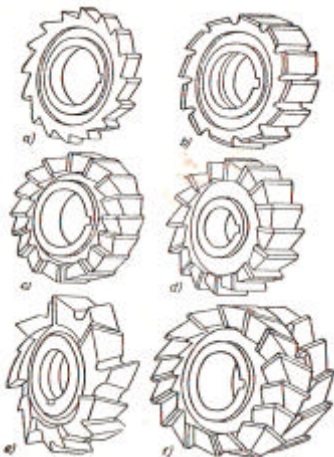
Pisau jenis ini dipakai pada mesin frais *horizontal*. Biasanya digunakan untuk pemakanan permukaan kasar (*Roughing*) dan lebar.



Gambar 91. Cutter mantel

b. Pisau Alur (*slot milling cutter*)

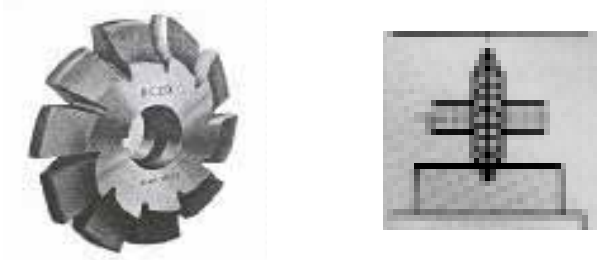
Pisau alur berfungsi untuk membuat alur pada bidang permukaan benda kerja. Jenis pisau ini ada beberapa macam yang penggunaannya disesuaikan dengan kebutuhan. Gambar 92 a dan b menunjukkan jenis pisau alur mata sayat satu sisi, gambar 92 c dan d menunjukkan pisau alur dua mata sayat yaitu muka dan sisi, gambar 92 e dan f menunjukkan pisau alur dua mata sayat yaitu muka dan sisi dengan mata sayat silang.



Gambar 92. Pisau alur dan penggunaanya.

c. Pisau frais gigi (Gear cutter)

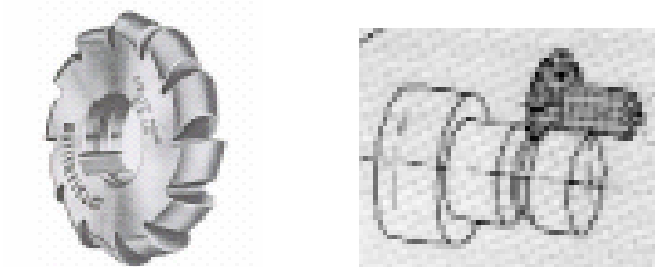
Pisau frais gigi ini digunakan untuk membuat roda gigi sesuai jenis dan jumlah gigi yang diinginkan. Gambar 93 menunjukkan salah satu jenis *gear cutter*.



Gambar 93. *Gear cutter*

d. Pisau frais radius cekung (Convex cutter)

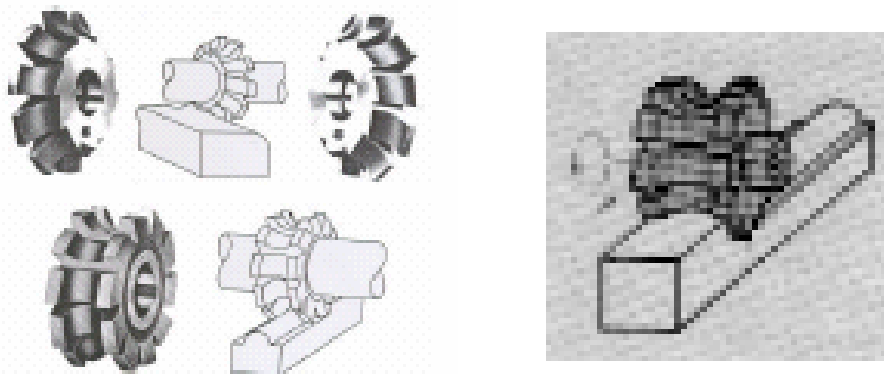
Pisau jenis ini digunakan untuk membuat benda kerja yang bentuknya memiliki radius dalam (cekung)



Gambar 94 . *Cutter Radius Cekung*

e. Pisau frais Radius Cembung (Concave Cutter)

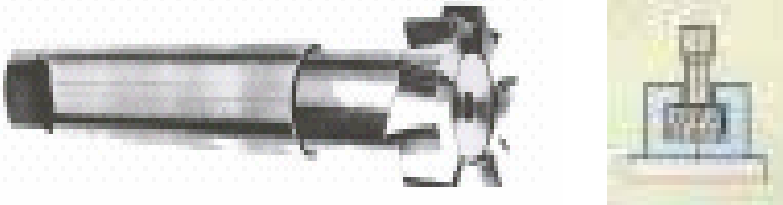
Pisau jenis ini digunakan untuk membuat benda kerja yang bentuknya memiliki radius dalam (cekung)



Gambar 95. *Cutter Radius Cembung*

f. Pisau frais alur T (T Slot Cutter)

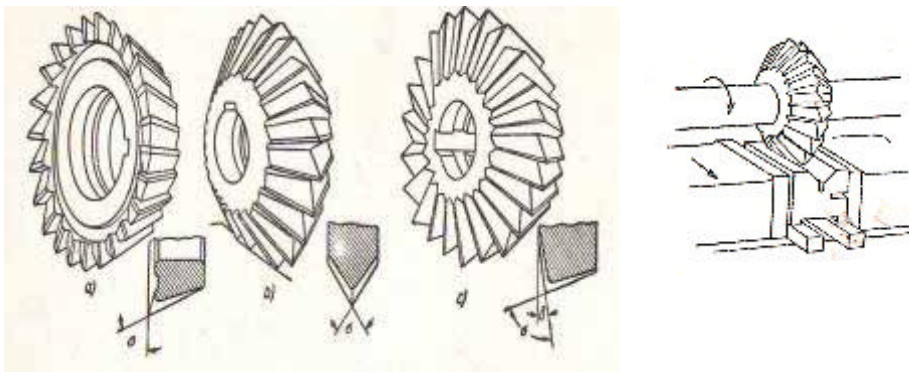
Pisau jenis ini hanya digunakan untuk untuk membuat alur berbentuk “T” seperti halnya pada meja mesin frais.



Gambar 96. Cutter alur “T”

g. Pisau frais sudut

Pisau jenis ini digunakan untuk membuat alur berbentuk sudut yang hasilnya sesuai dengan sudut pisau yang digunakan. Pisau jenis ini memiliki sudut-sudut yang berbeda diantaranya: 30°, 45°, 50°, 60°, 70° dan 80°. Gambar 97 a menunjukkan pisau satu sudut 60° (angle cutter), Gambar 97 b menunjukkan pisau dua sudut 45°x45° (double angle cutter), Gambar 97 c menunjukkan pisau dua sudut 30°x60° (double angle cutter).



Gambar 97. Pisau sudut dan penggunaannya

h. Pisau Jari (Endmill Cutter)

Ukuran pisau jenis ini sangat bervariasi mulai ukuran kecil sampai ukuran besar. Cutter ini biasanya dipakai untuk membuat alur pada bidang datar atau pasak dan jenis pisau ini pada umumnya dipasang pada posisi tegak (mesin frais *vertical*), namun pada kondisi tertentu dapat juga dipasang posisi *horizontal* yaitu langsung dipasang pada spindle mesin frais.



Gambar 98 . Cutter Endmill

i. Pisau frais muka dan sisi (*Shell endmill cutter*)

Jenis pisau ini memiliki mata sayat dimuka dan disisi, dapat digunakan untuk mengefrais bidang rata dan bertingkat. Gambar 99 menunjukkan pisau frais muka dan sisi.



Gambar 99. Shell endmill cutter

j. Pisau frais Pengasaran (*Heavy Duty Endmill Cutter*)

Pisau jenis ini mempunyai satu ciri khas yang berbeda dengan *cutter* yang lain. Pada sisinya berbentuk alur helik yang dapat digunakan untuk menyayat benda kerja dari sisi potong *cutter*, Sehingga *cutter* ini mampu melakukan penyayatan yang cukup besar



Gambar 100. Pisau pengasaran

k. Pisau frais gergaji (*Slitting saw*)

Pisau frais jenis ini digunakan untuk memotong atau membelah benda kerja. Selain itu juga dapat digunakan untuk membuat alur yang memiliki ukuran lebar kecil.



Gambar 101. Pisau frais gergaji.

2.3.2. Cara pemasangan cutter pada poros spindle mesin frais.

Posisi pemasangan pemasangan pisau untuk mesin frais tegak (*vertical*)) Gambar 102 (a), sedangkan Gambar 102 b untuk mesin frais menadatar (*horisontal*).



(a)

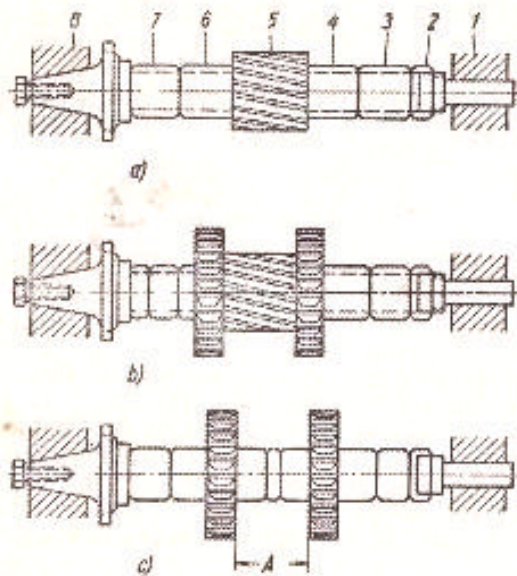


(b)

Gambar 102. Cara pemasangan pisau frais

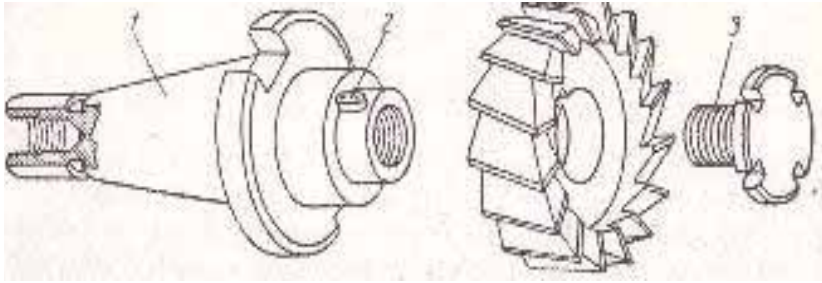
Arbor ditempatkan pada lubang poros kerucut 8 (Gambar 103), sedangkan ujung lainnya disangga/ditahan dengan bantalan 1 pada lengan (*overarm*). Gambar 103 a, menunjukkan mesin frais *horizontal* dengan satu pisau mantel (5) terpasang pada arbor. Pisau dapat ditempatkan disepanjang arbor dengan merubah kedudukan *collar* (ring arbor) 3, 4, 6 dan 7 yang terpasang pada arbor di kedua sisi *cutter*. *Collar* paling ujung kiri 7 mendukung ujung arbor sedang *collar* ujung kanan 3 menahan arbor dengan dikuatkan oleh mur 2 pada ujung arbor. Gambar 103 b, menunjukkan beberapa *cutter* yang dipasang pada arbor untuk berbagai keperluan pemotongan sesuai dengan *cutter* terpasang. *Collar* standar pada mesin frais dengan lebar antara 1 sampai dengan 50 mm, yaitu : 1,0; 1,1; 1,2; 1,25; 1,3; 1,75; 2,0; 2,5; 3,0; 3,25; 5,0; 6,0; 7,5; 8,0; 10; 20; 30; 40 dan 50 mm.

Collar (ring arbor) digunakan untuk memberi ruang dua *cutter* atau lebih pada jarak tertentu satu dengan yang lainnya. Gambar 103 c menunjukkan dua buah *cutter* dengan jarak A, jarak diperoleh dengan memilih dan mengatur *collar-collar* tersebut. Kadang-kadang dalam mengatur jarak ini operator harus menambah dengan shim yang terbuat dari aluminium atau tembaga diantara *collar* tersebut untuk mendapatkan ketelitian jarak penempatan *cutter*.



Gambar 103. Posisi *cutter* pada arbor

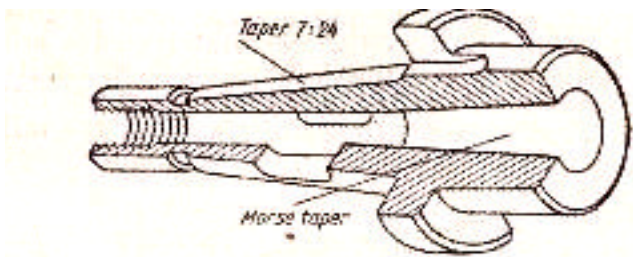
Pisau sebaiknya diletakkan sedekat mungkin dengan ujung poros untuk menghindari pembebanan berlebih ketika sedang pemakanan, untuk diperlukan beberapa cara pemasangan pisau yang tepat pada arbor. Gambar 104 menunjukkan pemasangan pisau pada sebuah *stub arbor*.



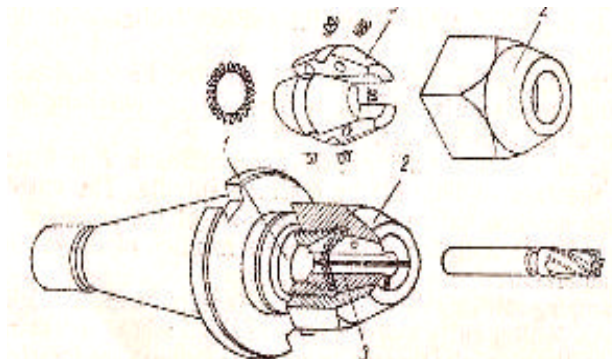
Gambar 104. *Stub arbor*

Mengefrais bagian permukaan dan sisi tidak memerlukan arbor mendatar, untuk ini cukup menggunakan *stub arbor*. Caranya bagian batang tirus (1) dimasukkan pada lubang poros spindle mesin, namun sebelumnya pisau terlebih dahulu dimasukkan pada bagian silinder *stub arbor* dan diikat dengan baut (3). Untuk mencegah bergesernya pisau pada saat mendapat beban besar, digunakan pasak (2).

Untuk jenis pisau yang memiliki tangkai tirus, pemasangannya dapat menggunakan *adaptor* (Gambar 105). Dan Untuk *cutter* dengan batang lurus cara pengikatannya menggunakan *Collet chuck* seperti pada gambar 106.



Gambar105. *Adaptor*



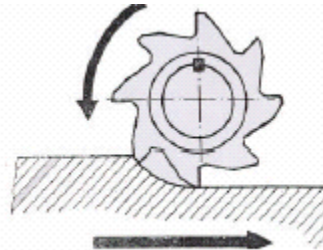
Gambar 106. Pengikatan *cutter* batang lurus.

2.3.3 Metoda pemotongan benda kerja

Metode pemotongan pada kerja frais dibagi menjadi 3, antara lain : pemotongan searah jarum jam, pemotongan berlawanan arah jarum jam dan netral.

a. Pemotongan Searah Benda Kerja

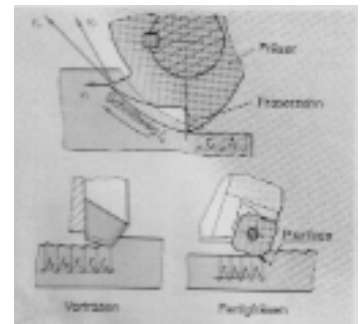
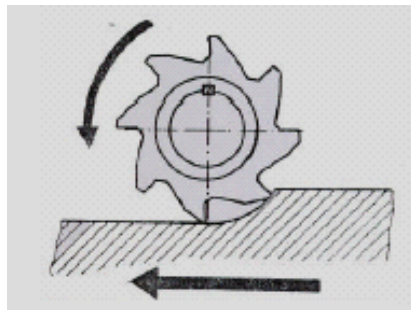
Yang dimaksud pemotongan searah adalah pemotongan yang datangnya benda kerja searah dengan putaran sisi potong *cutter*. Pada pemotongan ini hasilnya kurang baik karena meja (benda kerja) cenderung tertarik oleh *cutter*.



Gambar 107. Pemotongan Searah Benda Kerja

b. Pemotongan Berlawanan Arah Benda Kerja

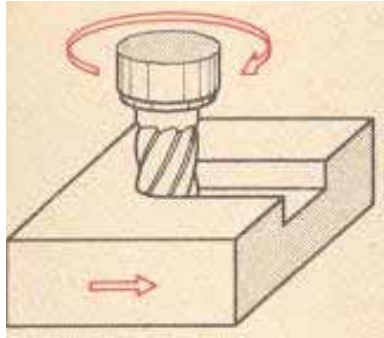
Yang dimaksud pemotongan berlawanan arah adalah pemotongan yang datangnya benda kerja berlawanan dengan arah putaran sisi potong *cutter*. Pada pemotongan ini hasilnya dapat maksimal karena meja (benda kerja) tidak tertarik oleh *cutter*.



Gambar 108. Pemotongan berlawanan arah Benda Kerja

c. Pemotongan netral.

Pemotongan netral yaitu pemotongan yang terjadi apabila lebar benda yang disayat lebih kecil dari ukuran diameter pisau atau diameter pisau tidak lebih besar dari bidang yang disayat. Pemotongan jenis ini hanya berlaku untuk mesin frais *vertical* (Gambar 109).



Gambar 109. Pemotongan netral

2.4 Jenis-jenis bahan pisau

Bahan *cutter* sangat berpengaruh terhadap kemampuan *cutter* dalam menyayat benda kerja. *Cutter* mesin frais dibuat dari berbagai jenis bahan antara lain :

2.4.1 Unalloyed tool steel

Baja perkakas bukan paduan dengan kadar karbon 0,5 – 1,5% kekerasannya akan hilang jika suhu kerja mencapai 250° C, oleh karena itu material ini tidak cocok untuk kecepatan potong tinggi.

2.4.2 Alloy tool steel

Baja perkakas paduan yang mengandung karbon *Cromium*, *vanadium* dan *molybdenum*. Baja ini terdiri dari baja paduan tinggi dan paduan rendah. HSS (*High Speed Steel*) adalah baja paduan tinggi yang tahan terhadap keausan sampai suhu 600° C.

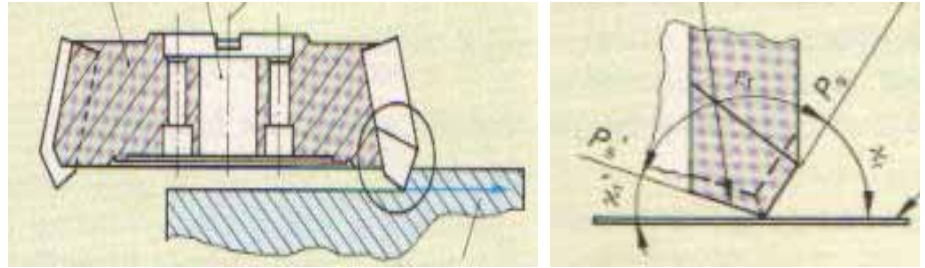
2.4.3 Cemented Carbide

Susunan bahan ini terdiri dari *tungsten* atau *molybdenum*, *cobalt* serta carbon. *Cemented Carbide* biasanya dibuat dalam bentuk tip yang pemasangannya dibaut pada holdernya (pemegang *cutter*). Pada suhu 9000C bahan ini masih mampu memotong dengan baik, *cemented carbide* sangat cocok untuk proses pengefraisan dengan kecepatan tinggi. Dengan demikian waktu pemotongan dapat lebih cepat dan putaran yang tinggi pada umumnya dapat menghasilkan kualitas permukaan yang halus.

2.4.4 Geometri Alat Potong/Pisau Frais

Salah satu faktor yang menentukan baik buruknya kualitas hasil pengerjaan proses frais adalah bentuk/geometri permukaan atau bidang-bidang utama dari alat potong/*cutter* frais itu sendiri. Untuk pekerjaan-pekerjaan khusus, *cutter* yang digunakan juga harus

dipersiapkan secara khusus pula. Permukaan *cutter* yang harus diperhatikan pada waktu menggerinda/mengasah adalah sudut tatal, sudut bebas sisi, sudut bebas depan, sudut bebas mata potong, dan sudut bebas belakang.



Gambar 110. Sudut-sudut alat potong/pisau frais/cutter

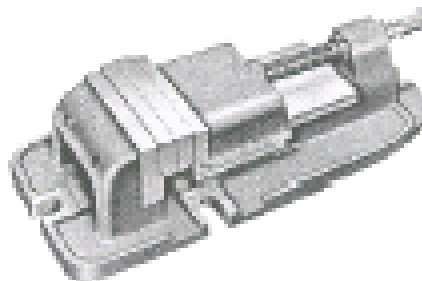
2.5 Perlengkapan mesin frais

2.5.1 Ragum (catok)

Benda kerja yang akan dikerjakan dengan mesin frais harus dijepit dengan kuat agar posisinya tidak berubah waktu difrais. Berdasarkan gerakannya ragum dibagi menjadi 3 jenis, antara lain: ragum biasa, ragum berputar, dan ragum *universal*.

a. Ragum biasa

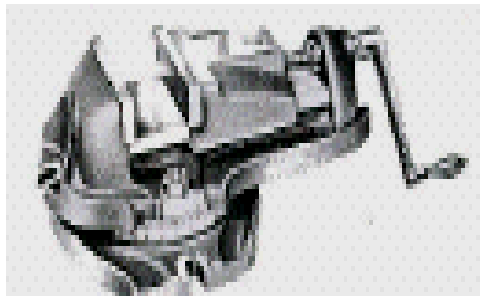
Ragum biasa digunakan untuk menjepit benda kerja yang bentuknya sederhana dan biasanya hanya digunakan untuk mengefrais bidang datar saja. Bagian bawah ragum dapat disetel posisinya sesuai dengan posisi benda kerja yang akan difrais. Bila sudah sesuai baru kemudian diikat kuat dengan mur baut ke meja mesin freis. Adanya ikatan ini diharapkan benda kerja tidak akan mengalami perubahan posisi saat dikerjakan dengan mesin frais. Adapun gambar ragum biasa dapat dilihat di bawah ini:



Gambar 111. Ragum Biasa

b. Ragum berputar

Ragum ini digunakan untuk menjepit benda kerja yang harus membentuk sudut terhadap *spindle*. Bentuk ragum ini sama dengan ragum biasa tetapi pada bagian bawahnya terdapat alas yang dapat diputar hingga sudut 360°. Ragum ini juga diletakkan di atas meja mesin frais secara *horizontal* yang diikat dengan mur baut dengan kuat. Bagian tengahnya terdapat skala nonius yang dapat digunakan untuk menentukan sudut putaran yang dikehendaki.



Gambar 112. Ragum Putar

c. Ragum universal

Ragum ini mempunyai dua sumbu perputaran, sehingga dapat diatur letaknya baik secara *horizontal* maupun vertikal. Ragum *universal* dapat mengatur sudut benda kerja yang akan dikerjakan dalam berbagai posisi. Sehingga pengerjaan benda kerja dapat dari arah *vertical* maupun *horizontal*.



Gambar 113. Ragum universal

Pemasangan ragum pada pada meja mesin frais langkah-langkahnya yang hampir sama untuk semua jenis ragum. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

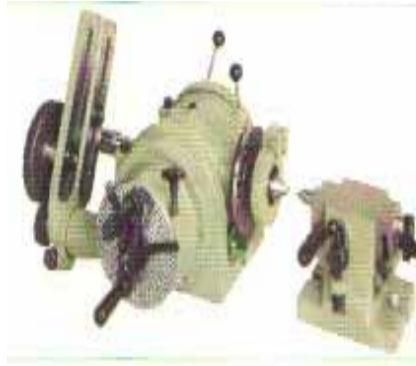
- Periksa ragum dalam kondisi baik dan bersih.
- Usahakan pemasangan ragum berada di tengah-tengah benda kerja, hal ini bertujuan untuk mendapatkan keleluasaan kerja.
- Luruskan lubang baut pengikat agar bertepatan dengan alur meja mesin, selanjutnya kerasi baut-baut pengikat.

Sebelum baut-baut terikat dengan kuat, pastikan bahwa bibir ragum benar-benar sejajar dengan pergerakan meja. Untuk mengecek kesejajaran ragum tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan dial indikator dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Ikatlah ragum dengan baut pengunci dan ingat pengikatannya jangan terlalu keras (sebelum kedudukan ragum benar-benar sejajar).
- Siapkan batang/balok pengetes dan dial indicator stand magnitnya untuk setting kesejajaran ragum. Selanjutnya pasang balok pengetes pada ragum dan stand magnit pada kolom mesin.
- Kenakan ujung penggerak jarum (sensor) pada sisi batang pengetes.
- Gerakan/geser meja mesin searah dengan sisi batang/balok pengetes yang sudah terpasang pada ragum dan lihat selisih berapa mm pergerakan sepanjang batang pengetes.
- Pukulah ragum dengan palu lunak sedikit demi sedikit hingga jarum indicator bergerak separuh dari selisih pergerakan sepanjang batang pengetes.
- Geser meja berlawanan arah dengan pergerakan awal. Bila jarum indikator masih bergerak dengan demikian ragum belum sejajar.
- Ulangi lagi dengan cara yang sama hingga jarum indicator tidak bergerak lagi, dengan demikian ragum sudah sejajar dengan pergerakan meja mesin.
- Kencangkan kedua baut pengikat ragum secara bergantian dan bertahap hingga baut benar-benar kencang. Ingat dalam mengencangkan baut ragum jangan sampai merubah posisi dari ragum tersebut.

2.5.2 Kepala pembagi (*dividing head*)

Kepala pembagi (Gambar 114) adalah peralatan mesin frais yang digunakan untuk membentuk segi beraturan pada poros yang panjang. Pada peralatan ini biasanya dilengkapi dengan plat pembagi yang berfungsi untuk membantu pembagian yang tidak dapat dilakukan dengan pembagian langsung.



Gambar 114. Kepala pembagi

Pemasangan *dividing head* juga harus sejajar dengan meja mesin. Cara mengecek keseajarannya sama dengan mengecek kesejajaran ragum, yang berbeda adalah batang pengetesnya berupa batang bulat sedangkan untuk mengetes kesejajaran ragum berupa balok empat persegi panjang.

Namun selain harus sejajar pada pergerakan sisi samping batang pengetes, *dividing head* juga harus sejajar pada bagian sisi atas batang pengetes dengan sumbu kedua ujung senter. Untuk mengecek kesejajaran pada sisi bagian atas dapat digunakan prosedur pengecekannya seperti dibawah ini :

- a. Pastikan senter tetap dan lubang spindle dalam keadaan bersih kemudian masukkan senter tetap dalam lubang *spindle*.
- b. Pasang batang pengetes diantara kedua ujung senter tetap.
- c. Lepaskan hubungan gigi *spindle* dengan sumbu cacing untuk memudahkan memutar *spindle* kepala pembagi dan kendurkan baut pengencang rumah kepala pembagi untuk memudahkan penyetelan.
- d. Pasang *stand magnit* pada kolom mesin dan atur ujung sensor dial indikator hingga menyentuh pada bagian atas batang pengetes.
- e. Selanjutnya lakukan penyetelan kesejajaran kepala pembagi dengan menggeser meja hingga sampai batas ujung batang pengetes. Apabila posisi jarum penunjuk tidak bergerak dengan demikian tidak perlu ada peyetelan, sehingga baut pada rumah kepala pembagi dikencangkan kembali.
- f. Bila belum sejajar lakukan penyetelan kesejajaran pada bagian atas senter dengan cara yang sama seperti pada saat meyetel kesejajaran ragum.

2.5.3 Kepala Lepas

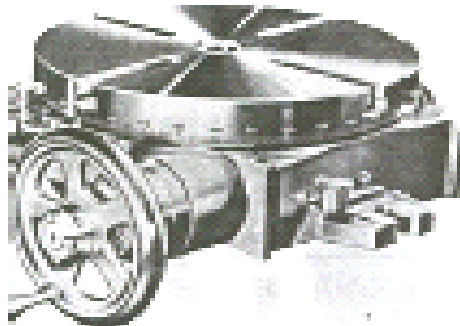
Kepala lepas (Gambar 115) digunakan untuk menyangga benda kerja yang dikerjakan dengan *dividing head*. Sehingga waktu disayat benda kerja tidak terangkat atau tertekan ke bawah.



Gambar 115. Kepala Lepas

2.5.4 Rotary Table

Rotary table (Gambar 116) digunakan untuk membagi segi-segi beraturan misalnya kepala baut. Di samping itu juga dapat digunakan untuk membagi jarak-jarak lubang yang berpusat pada satu titik misalnya membagi lubang baut pengikat pada *flendes*.



Gambar 116 . Rorotary table

2.5.5 Stub arbor

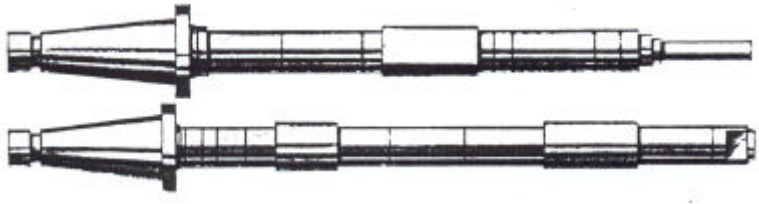
Bagian ini adalah tempat dudukan (pengikatan) *cutter* sebelum dipasang pada sarung tirus pada sumbu utama.



Gambar 117. Adaptor

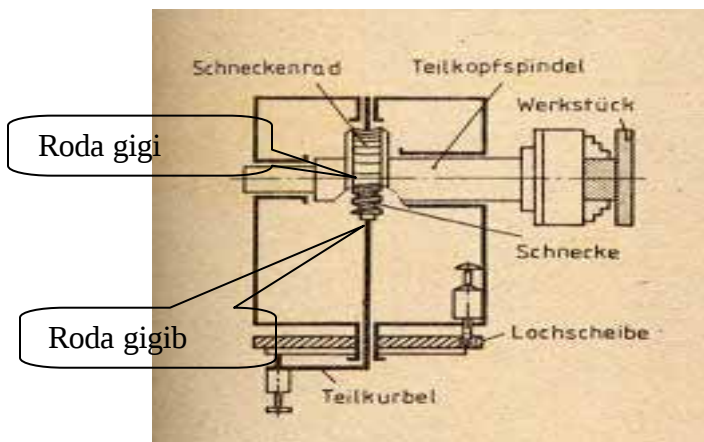
2.5.6 Arbor

Pisau pada mesin frais *horizontal* dipasang pada arbor yang posisinya diatur dengan pemasangan ring arbornya. Arbor jenis ini biasanya digunakan untuk mesin frais horisontal saja.



Gambar 118. Arbor

2.6 Penggunaan kepala pembagi (*Dividing head*)



Gambar 119. Kepala Pembagi

Kepala pembagi adalah peralatan mesin frais yang terdiri dari 2 bagian utama yaitu : roda gigi cacing dan ulir cacing. Perbandingan antara jumlah gigi cacing dengan ulir cacing nya disebut **ratio**. Ratio *dividing head* ada dua jenis **1 : 40** dan **1 : 60**, tetapi yang paling banyak dipakai adalah **1 : 40**.

Posisi kedudukan *dividing head* dapat diputar 90° sehingga *dividing head* juga dapat berfungsi sebagai *rotary table*. Dalam pelaksanaannya untuk membuat segi-segi ke-n, jika tidak dapat digunakan pembagian langsung, pembagiannya ini menggunakan bantuan plat pembagi.

Contoh :

Jika kita akan membentuk suatu benda segi 7 beraturan. Karena angka 7 adalah bilangan prima maka hal ini tidak dapat dibagi langsung, melainkan harus menggunakan bantuan plat pembagi. Yang mana penghitungan putaran engkolnya dapat dihitung dengan rumus :

$$N_c = \frac{i}{z} = \frac{40}{7} = 5\frac{5}{7} = 5\frac{15}{21}$$

keterangan :

$$\begin{aligned} i &= \text{ratio} \\ z &= \text{jumlah sisi} \end{aligned}$$

Maka dengan demikian untuk membentuk benda tersebut setiap satu permukaan harus diputar 5 putaran tambah 15 lubang pada sektor 21.

2.7 Penggunaan rotary table

Rotary table adalah suatu alat yang digunakan untuk membagi jarak suatu bentuk benda dalam satuan derajat sampai ketelitian detik.

Contoh: Bila kita membuat suatu sprocket dengan jumlah gigi 27, maka jarak antara gigi yang satu dengan sebelahnyanya adalah :

$$N_c = \frac{360^\circ}{z} = \frac{360^\circ}{27} = 13^\circ 19' 58,8''$$

Jadi jarak antara gigi yang satu denganyang sebelahnyanya membentuk sudut **13° 19' 58,8"**

2.8 Kecepatan potong (cutting speed) CS

Yang dimaksud dengan kecepatan potong (CS) adalah kemampuan alat potong menyayat bahan dengan aman menghasilkan tatal dalam satuan panjang /waktu (m/menit atau feet/menit).

Pada gerak putar seperti mesin frais, **kecepatan potong (CS) adalah keliling kali putaran atau $\pi \cdot d \cdot n$; di mana π adalah nilai konstan 22/7= 3.14; d adalah diameter pisau dalam satuan milimeter dan n adalah kecepatan putaran pisau dalam satuan putaran/menit (rpm).**

Karena nilai kecepatan potong untuk setiap jenis bahan sudah ditetapkan secara baku (Tabel 6), maka komponen yang bisa diatur dalam proses penyayatan adalah putaran mesin/pisau. Dengan demikian rumus untuk menghitung putaran menjadi:

$$n = \frac{C_s}{\pi \cdot d} \dots \text{rpm}$$

Karena satuan Cs dalam meter/menit sedangkan satuan diameter pisau/benda kerja dalam millimeter, maka rumus menjadi :

$$n = \frac{1000 \text{ Cs}}{p.d} \text{ rpm}$$

Contoh: Akan mengefraisi dengan pisau HHS berdiameter 30 mm dengan kecepatan potong (Cs) 25 m/menit, maka besarnya putaran

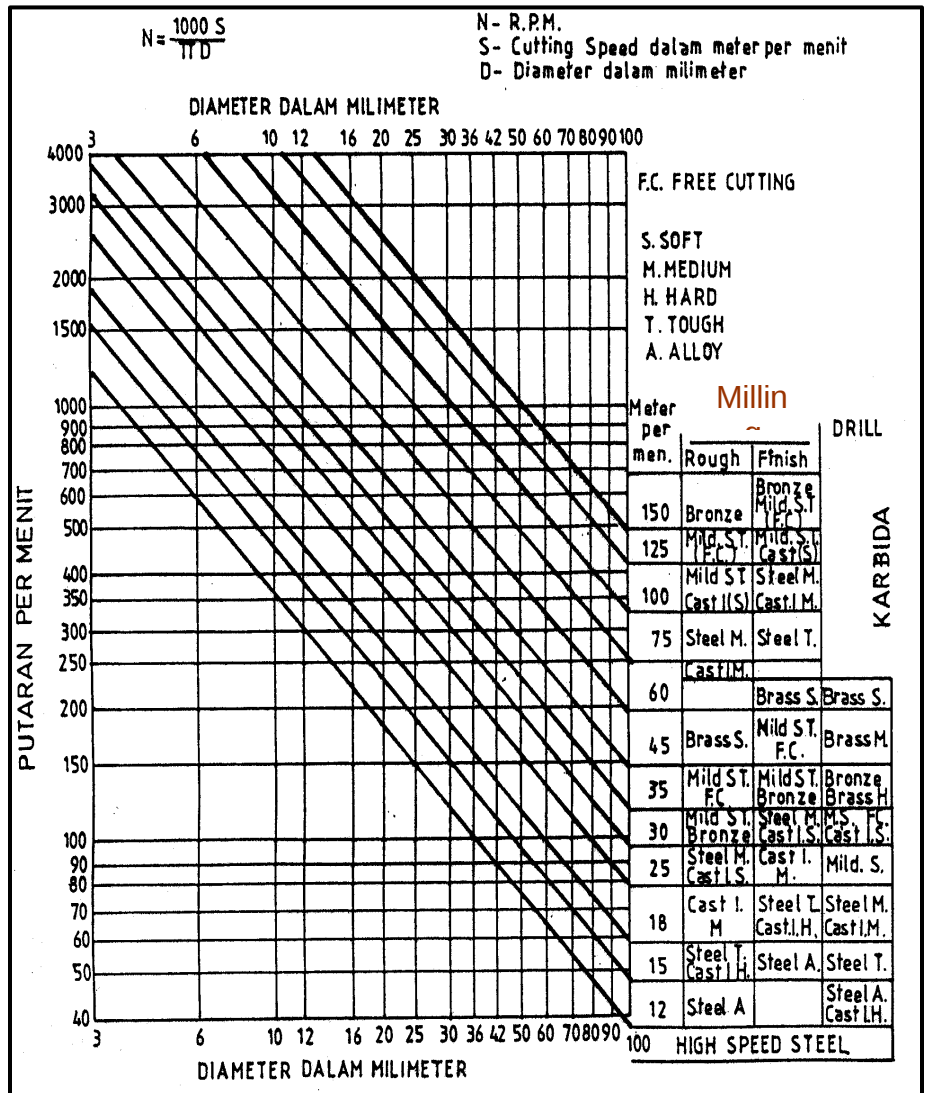
mesin (n) diperoleh:
$$n = \frac{1000 \cdot 25}{3,14 \cdot 30} = 265,392 \text{ rpm}$$

Dalam menentukan besarnya kecepatan potong dan putaran mesin, selain dapat dihitung dengan rumus diatas juga dapat dicari pada tabel kecepatan potong pembubutan (tabel 6 dan 7) yang hasil pembacaannya mendekati dengan angka hasil perhitungan.

Tabel 6 Kecepatan potong untuk beberapa jenis bahan

Bahan	Cutter HSS		Cutter Karbida	
	Halus	kasar	Halus	kasar
Baja Perkakas	75 - 100	25 - 45	185 - 230	110 - 140
Baja Karbon Rendah	70 - 90	25 - 40	170 - 215	90 - 120
Baja karbon Menengah	60 - 85	20 - 40	140 - 185	75 - 110
Besi Cor Kelabu	40 - 45	25 - 30	110 - 140	60 - 75
Kuningan	85 - 110	45 - 70	185 - 215	120 - 150
Alumunium	70 - 110	30 - 45	140 - 215	60 - 90

Tabel 7. Daftar kecepatan potong/putaran mesin frais



2.9 Waktu pengerjaan

Yang dimaksud dengan waktu pengerjaan disini adalah durasi waktu (lamanya waktu) yang digunakan untuk menyelesaikan pekerjaan. durasi ini sangat penting diperhatikan sehubungan dengan efisiensi pengerjaan. Apalagi dikaitkan dengan sistem bisnis komersial atau kegiatan unit produksi disekolah, waktu pengerjaan sangat penting untuk diperhitungkan. Hal-hal yang berkaitan dengan waktu pengerjaan adalah :

a. Kecepatan pemakanan (**f**)

yang dimaksud dengan kecepatan pemakanan adalah jarak tempuh gerak maju pisau/benda kerja dalam satuan milimeter permenit atau feet permenit. Pada gerak putar, kecepatan pemakanan, (**f**) adalah gerak maju alat potong/benda kerja dalam (**n**) putaran benda kerja/pisau per menit.

Pada mesin frais, kecepatan pemakanan dinyatakan dalam satuan millimeter permenit di mana dalam pemakaiannya perlu disesuaikan dengan jumlah mata potong pisau yang digunakan. kecepatan pemakanan tiap mata potong pisau frais, (**f**) untuk setiap jenis pisau dan setiap jenis bahan sudah dibakukan tinggal dipilih mana yang cocok. Dengan demikian kecepatan maju meja mesin dapat ditentukan dengan rumus $f = f \cdot z \cdot n$.

Tabel 8. Kecepatan pemakanan (*feeding*) pergigi untuk HSS :

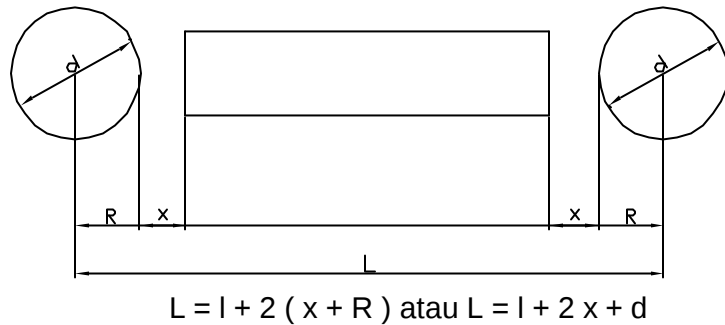
pisau	feed/tooth (mm)
spiral (slab) mill (up to 30° helix angle of tooth)	0,1 ÷ 0,25
spiral mill (30 + 00° helix angle)	0,05 ÷ 0,2
face mill and shell end mill	0,1 ÷ 0,5
end mill	0,1 ÷ 0,25
saw	0,05 ÷ 0,1
slotting cutter	0,05 ÷ 0,15
form cutter	0,05 ÷ 0,2

b. Frekwensi pemakanan (**i**)

Yang dimaksud dengan frekwensi pemakanan adalah jumlah pengulangan penyayatan mulai dari penyayatan pertama hingga selesai. Frekwensi pemakanan tergantung pada kemampuan mesin, jumlah bahan yang harus dibuang, sistem penjepitan benda kerja dan tingkat *finishing* yang diminta.

c. Panjang benda kerja / jarak tempuh alat potong (**L**).

Pada mesin frais, jarak tempuh meja/benda kerja adalah panjang benda kerja ditambah diameter pisau ditambah kebebasan pisau.



Gambar 120. Jarak tempuh pada pengefraisan *Vertical*

d. Perhitungan waktu pengerjaan (**T**)

Waktu pengerjaan = (Jarak tempuh meja x frekwensi pemakanan) dibagi Kecepatan gerakan meja mesin.

$$T = \frac{L \cdot i}{f} \text{ di mana } f = f \cdot z \cdot n$$

Dimana:

T = waktu pengerjaan

i = frekwensi pemakanan

z = jumlah mata potong

Contoh: Hitung waktu pengefraisan bila diketahui jumlah mata potong pisau (z) 4 buah, panjang benda kerja 250 mm, jarak tempuh total (L) 285 mm, kecepatan pemakanan (f) 0,2 mm, dan putaran mesinnya (n) 400 rpm. Bila frekwensi pemakanannya (i) satu kali, maka waktu pemesinannya adalah:

$$T = \frac{L \cdot i}{f \cdot z \cdot n} = \frac{285 \cdot 1}{0,2 \cdot 4 \cdot 400} = 0,89 \text{ menit}$$

2.10 Langkah-langkah pengoperasian Mesin frais

Pengoperasian mesin frais pada dasarnya sama dengan mengoperasikan mesin perkakas lainnya yaitu harus berpedoman pada petunjuk pengopersian atau biasa disebut SOP (*Standart Operation Sheet*)

Dari berbagai mesin perkakas yang ada mesin frais termasuk salah satu mesin yang dapat digunakan untuk membuat berbagai macam bentuk komponen sebagaimana sudah diuraikan di atas. Dengan demikian diperlukan langkah-langkah yang cermat dan teliti dalam mengoperasikannya. Langkah-langkah yang dapat sebagai acuan dalam mengopersikan mesin frais antara lain :

- a. Pelajari dan ikuti petunjuk SOP sebelum mengoperasikan mesin frais
- b. Pelajari gambar kerja untuk menentukan langkah kerja yang efektif dan efisien.
- c. Tentukan karakteristik bahan yang akan dikerjakan untuk menentukan
- d. Tentukan jenis cutter/alat potong dan media pendingin yang akan digunakan.
- e. Tapkan kualitas hasil penyayatan yang diinginkan.
- f. Tentukan geometri alat potong yang digunakan dengan tepat
- g. Menentukan alat bantu yang dibutuhkan di dalam proses.
- h. Tentukan roda-roda gigi pengganti apabila dikehendaki adanya pengerjaan-pengerjaan khusus.
- i. Tentukan parameter-parameter pemotongan yang berpengaruh dalam proses pengerjaan (kecepatan potong, putaran mesin, kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan, waktu pemotongan dll).

Untuk melaksanakan langkah-langkah diatas, kita terlebih dulu harus dapat menghidupkan mesin. Setiap mesin mempunyai bagian sendiri-sendiri yang digunakan untuk menghidupkan mesin, sebagai contoh pada mesin frais HMT. Untuk menghidupkan kita harus mengaktifkan saklar aliran listrik kemudian kita menekan swit "on" untuk mengalirkan arus listrik, sedangkan untuk mematikan kita cukup menekan swit "off" maka dengan demikian putaran mesin akan berhenti. Sedangkan pada mesin Bridge port peletakan handle-handle untuk menghidupkan mesin tidak sama dengan mesin HMT. Akan tetapi pada prinsipnya cara menghidupkan sama dengan mesin HMT termasuk jenis mesin frais lainnya.

2.11 Jenis-jenis Pemotongan/pemakanan pada mesin frais

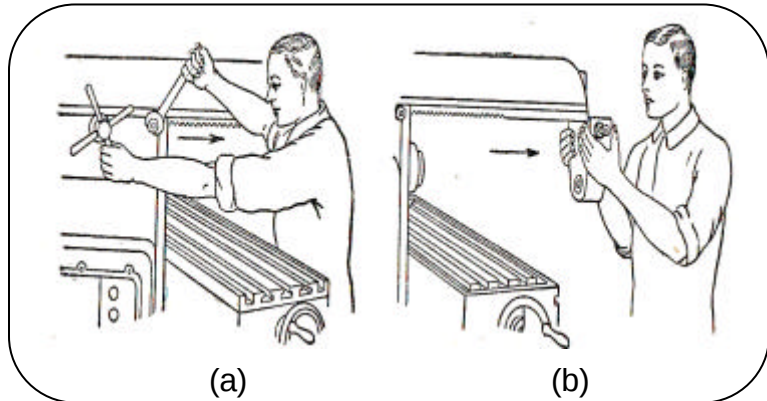
Pemotongan/pemakanan pada mesin frais ada berbagai jenis, diantaranya dapat dilakukan dengan posisi mendatar (*horisontal*), tegak (*vertical*), miring/menyudut dan lain-lain. Sedangkan pengikatan benda kerjanya dapat dilakukan dengan ragum, rotary table, kepala pembagi, diklem/diikat langsung pada meja dan lain-lain.

2.11.1 Pemotongan mendatar (horisontal)

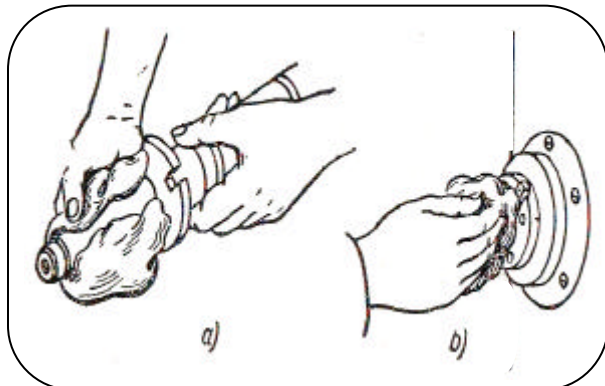
Dalam melakukan pemotongan mendatar, jenis mesin yang digunakan adalah mesin frais horizontal, dan pisau yang digunakan adalah jenis pisau frais mantel. Berikut adalah langkah-langkah pengefraisan rata dengan posisi mendatar:

- a. Siapkan perlengkapan mesin yang diperlukan meliputi ragum mesin, arbor dan satu set kollar (ring arbor) dengan diameter lubang sama dengan diameter lubang alat potong yang akan digunakan berikut kelengkapan lainnya.

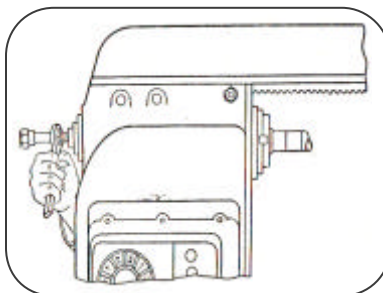
- b. Majukan lengan (Gb. 121 a) dan lepaskan pendukung arbor (Gb. 121 b)
- c. Bersihkan lubang dan arbor bagian tirusnya (Gb. 122)
- d. Pasang arbor pada spindel mesin dan ikat arbor dengan memutar mur pengikat dibelakang bodi mesin (Gb. 123)



Gambar 121. Pemasangan arbor

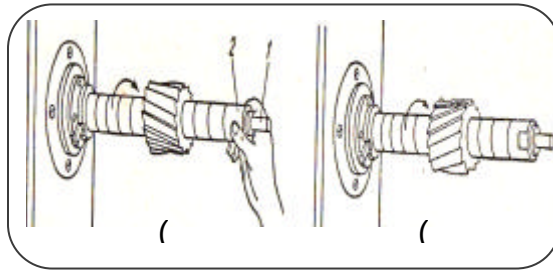


Gambar 122. Membersihkan bagian tirus



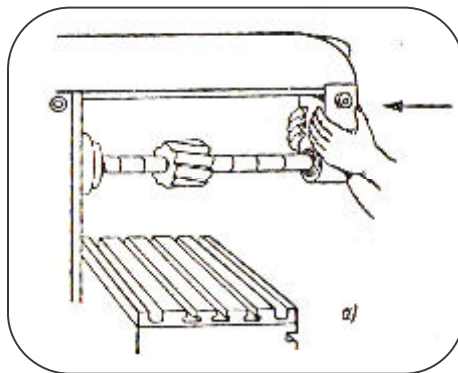
Gambar 123. Mengikat arbor

- e. Pasang pisau (*cutter*) dan ring arbor (*kollar*) pada arbor (Gambar 124), (a) posisi pengikatan yang benar dan (b) posisi pengikatan yang salah apabila yang gunakan pisau mantel helik kiri.



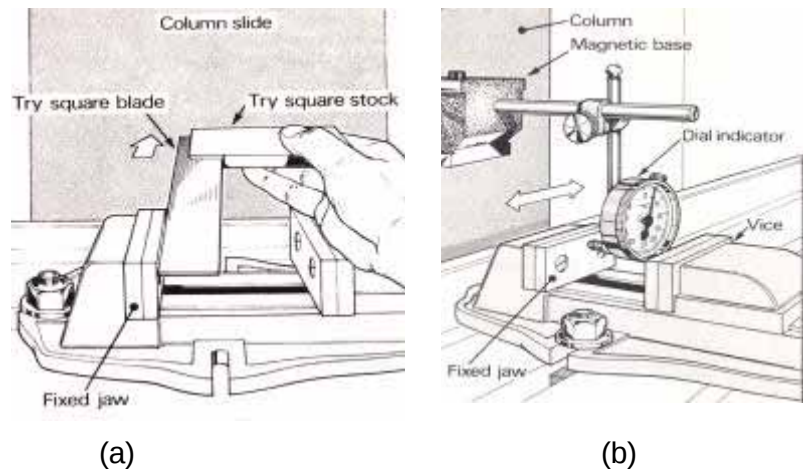
Gambar 124. Pemasangan cutter dan kollar (*ring arbor*)

- f. Pasang pendukung arbor (*support*) pada lengan mesin dengan posisi tidak jauh dari pisau dan ikat dengan kuat (Gambar 125).



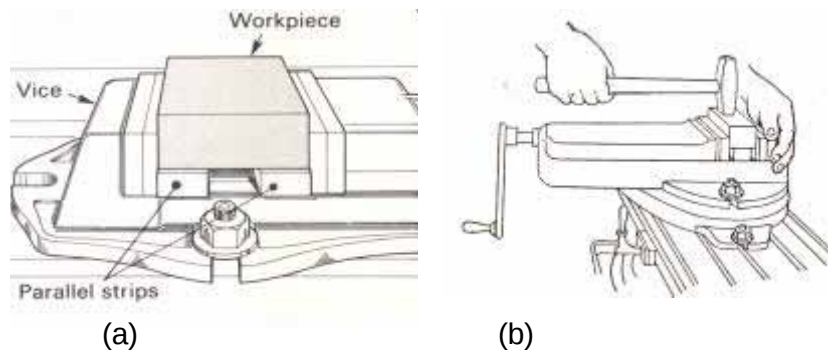
Gambar 125. Pemasangan pendukung arbor

- g. Selanjutnya pasang ragam pada meja mesin frais pada posisi kurang lebih ditengah-tengah meja mesin agar mendapatkan area kerja yang maksimal.
- h. Lakukan pengecekan kesejajaran ragam. Apabila jenis pekerjaannya tidak dituntut hasil kesejajaran dengan kpresisian yang tinggi, pengecekan kesejajaran ragam dapat dilakukan dengan penyiku (Gambar 126 a). Dan apabila hasil kesejajarannya dituntut dengan kepresisian yang tingi, pengecekan kesejajaran ragam harus dilakukan dengan dial indikator (Gambar 126 b).



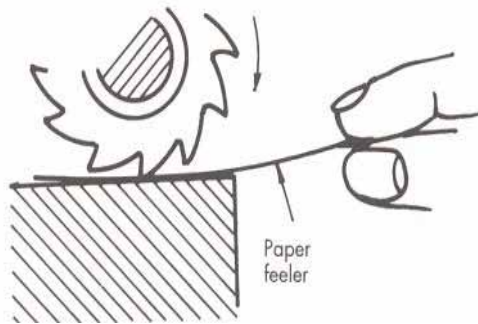
Gambar 126. Pengecekan kesejajaran ragum

- i. Pasang benda kerja pada ragum dengan diganjal parallel pad dibawahnya (Gambar 127 a). Untuk mendapatkan pemasangan benda kerja agar dapat duduk pada parallel dengan baik, sebelum ragum dikencangkan dengan kuat pukul benda kerja secara pelan-pelan dengan palu lunak (Gambar 127 b).

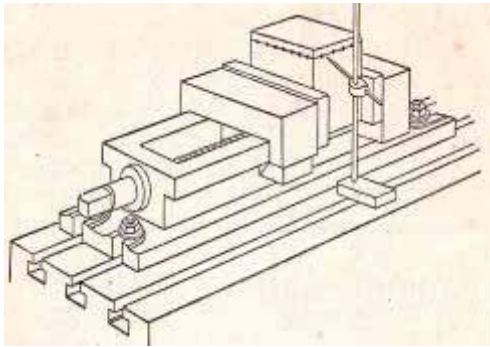


Gambar 127 . Pemasangan benda kerja pada ragum

- j. Selanjutnya lakukan setting nol untuk persiapan melakukan pemakanan dengan cara menggunakan kertas (Gambar 128 a). Dan untuk jenis pekerjaan yang tidak menuntut hasil dengan kepresisian tinggi, batas kedalaman pemakanan dapat diberi tanda dengan balok penggores(Gambar 128 b)

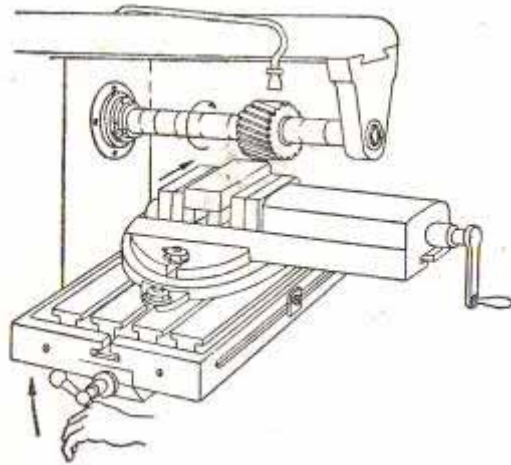


Gambar 128 a . Setting nol di atas permukaan kerja dengan kertas



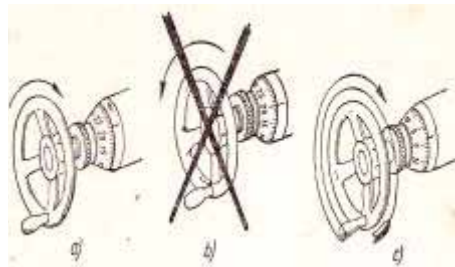
Gambar 128 b. Penandaan kedalaman pemakanan

- k. Atur putaran dan *feeding* mesin sesuai perhitungan atau melihat tabel kecepatan potong mesin fais.
- l. Selanjutnya lakukan pemakanan dengan arah putaran searah jarum jam bila pisau yang digunakan arah mata sayatnya helik kiri(Gambar 129). Dan pemakanannya dapat dilakukan secara manual maupun otomatis.



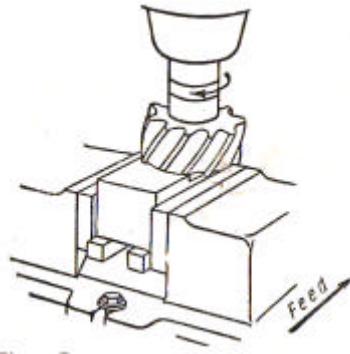
Gambar 129 . Proses pemotongan benda kerja

- m. Dalam menggunakan nonius ketelitian yang terletak pada handel mesin, pemutaran roda handel arahnya tidak boleh berlawanan arah dari setting awal karena akan menyebabkan kesalahan setting yang akan mengakibatkan hasil tidak presisi. Gambar 130 menunjukkan penggunaan nonius ketelitian pada handel mesin frais.



Gambar 130. Pemutaran handel pemakanan

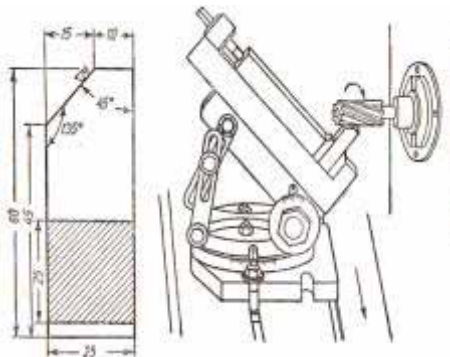
Untuk mengefrais bidang rata juga dapat digunakan *shell end mill cutter* (Gb. 131). dengan cara yang sama tetapi menggunakan mesin frais tegak. Namun untuk mesin frais unifersal dapat juga digunakan untuk mengefrais rata pada sisi benda kerja yaitu stub arbor dipasang langsung pada sepindel mesin.



Gambar 131. Proses pengefraisan bidang rata dengan *Shell end mill cutter*.

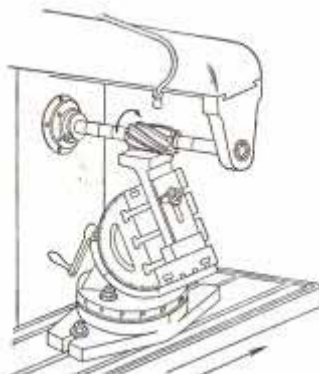
2.11.2 Pemotongan bidang miring

Bidang miring dapat dikerjakan dengan memiringkan benda kerja pada ragum universal (Gambar 132)



Gambar 132. Pengefraisan bidang permukaan miring

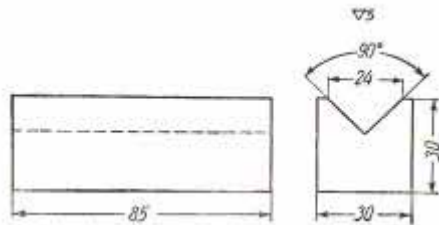
Apabila bidang permukaannya lebih lebar dan diperlukan memasang cutter pada arbor yang panjang dengan pendukung (Gb. 133).



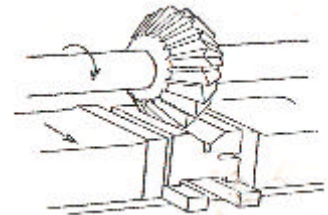
Gambar 133. Pengefraisan bidang miring yang lebar

2.11.3 Pemotongan bidang miring menggunakan cutter sudut.

Pemotongan bidang miring atau sudut juga dapat dibuat dengan pisau sudut. Gambar 134 menunjukkan hasil pengefraisan menggunakan dengan pisau dua sudut 45° dan prosesnya dapat dilihat pada gambar 133..



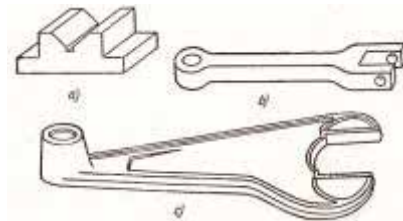
Gambar 134. Blok-V



Gambar 135. Pengefraisan blok-V

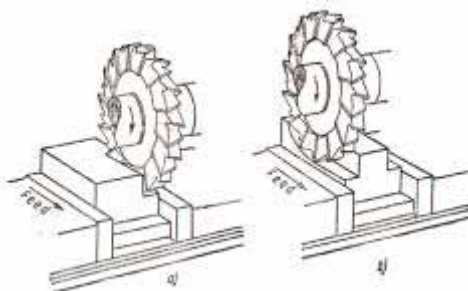
2.11.4 Pemotongan alur segi empat dan shoulder benda

Banyak bagian-bagian mesin yang mempunyai bentuk/bidang siku satu buah, dua atau bahkan hamper semua bidangnya seperti ditunjukkan pada Gambar 136.

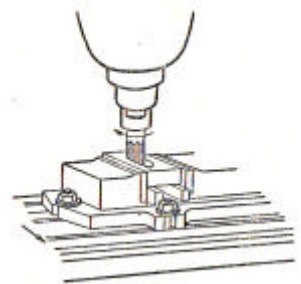


Gambar 136. Model alur dan shoulder

Gambar 137 menunjukkan pemotongan shoulder dengan pisau side and face cutter dan Gambar 138 menunjukkan pemotongan alur dengan end mill.



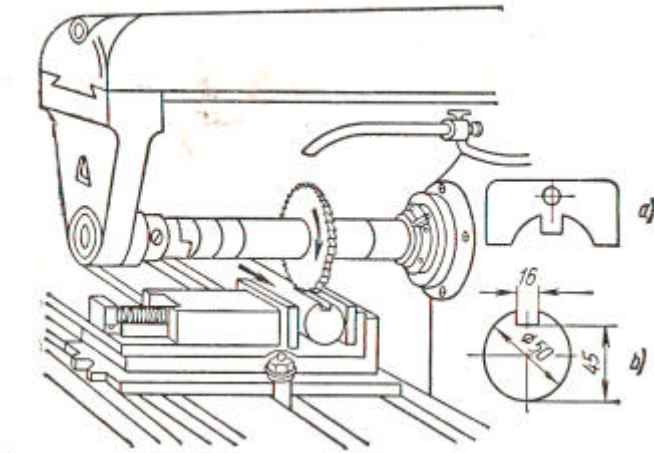
Gambar 137. Pemotongan shoulder



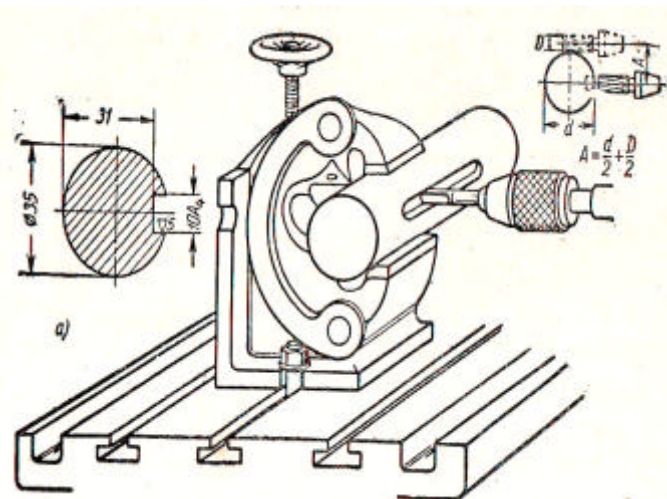
Gambar 138. Pembuatan alur

2,11.5 Pengefraisan alur pasak

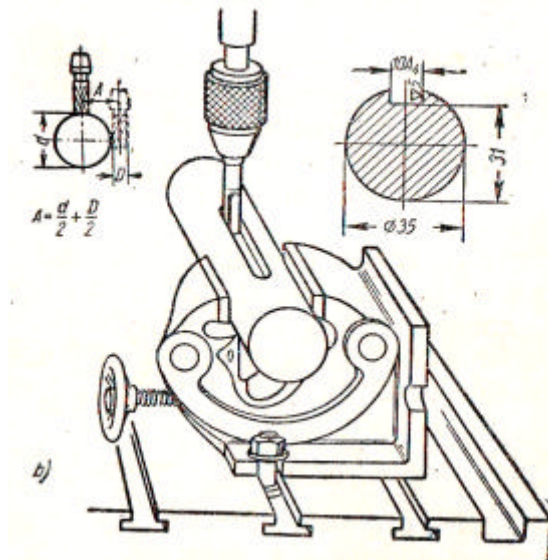
Poros yang berfungsi sebagai penerus daya biasanya dibut alur pasak. Alur pasak tersebut pembuatannya dapat dilakukan dengan mesin frais. Gambar 139 menunjukkan pemotongan alur pasak pada mesin frais horizontal, gambar 140 menunjukkan pemotongan alur pasak yang stub arbornya dipasang langsung pada lubang sepindel mendatar dan Gambar 141 menunjukkan pemotongan alur pasak pada mesin frais *vertical*.



Gambar 139. Pembuatan alur pasak pada mesin frais horisontal



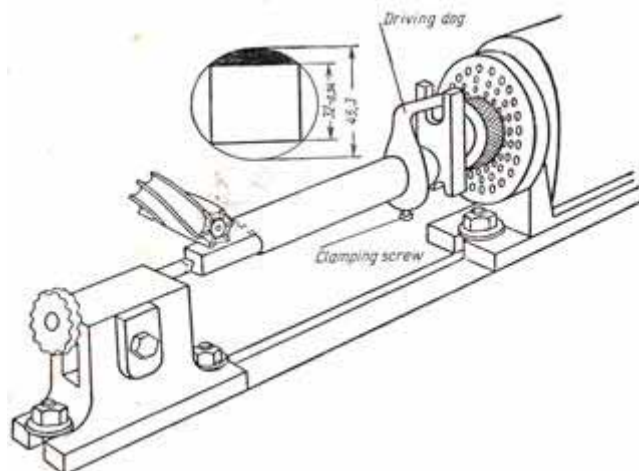
Gambar 140. Pembuatan alur pasak dengan pisau terpasang pada s pindel mendatar.



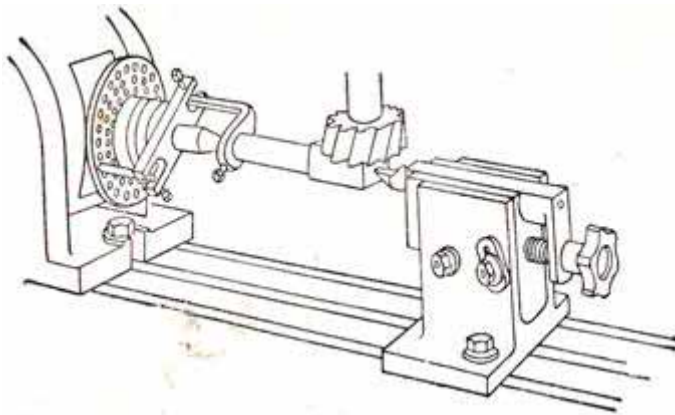
Gambar 141. Pengefraisan alur pasak pada mesin frais tegak.

2.11.6 Pemotongan bentuk persegi

Bentuk-bentuk persegi misalnya membuat segi enam, segi empat dan sebagainya dapat dilakukan dengan mesin frais dengan alat bantu kepala pembagi. Untuk membuat bentuk segi beraturan ini dapat dilakukan pada posisi mendatar dengan menggunakan posau end mill (Gambar. 142). Atau dilakukan pada posisi tegak dengan menggunakan pisau shell endmill (Gambar 143)



Gambar 142. Pengefraisan segi empat dengan end mill cutter



Gambar 143. Pengefraisan persegi empat dengan Shell endmill cutter

2.11.7 Pemotongan roda gigi

Pada hakekatnya profil-profil gigi dapat dibentuk dengan macam-macam cara diantaranya :

- a. Dipotong. Pembuatan roda gigi dengan cara ini dapat dilakukan dengan proses pemesinan:
 - *Milling* (pengefraisan)
 - *Shaping* (penyekrapan)
 - *Planing* (penyerutan)
 - *Hobbing* (pergeseran)
- b. Dicetak . Roda gigi dibuat dengan cara dituang kemudian disempurnakan dengan pemotongan .
- c. Diroll . Pembuatan roda gigi dengan cara diroll dibuat dengan cara semacam proses kartel (knoerling). Sebagai pengerjaan akhir (finishing) dapat dilakukan dengan : digerinda, laping bila dikehendaki.

Cara-cara tersebut di atas digunakan atau dipilih sesuai dengan faktor-faktor yang ada. Faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut :

- Type mesin yang ada pada operator
- Kemampuan skill yang ada pada operator
- Ketelitian yang dikehendaki
- Kekuatan roda gigi yang dikehendaki
- Jumlah roda gigi yang dikehendaki
- Kecepatan produksi yang dikehendaki
- Biaya/ harga
- Dalam materi ini hanya akan dibahas mengenai pengefraisan roda gigi lurus (milling of spur gear).

2.11.7.1 Penentuan besar-besaran dan ukuran roda gigi

Ada bermacam-macam sistem ukuran roda gigi yaitu, Sistem modul, Sistem diametral pitch, Sistem circural pitch

a. Sistem modul (m)

Sistem ini digunakan untuk satuan metris dan untuk satuan modul (mm) biasanya tidak dicantumkan. Modul adalah perbandingan antara diameter jarak antara dengan jumlah gigi

$$\text{Jadi : } m = \frac{D}{z} \text{ mm}$$

b. Diametral pitch (Dp)

Diametral pitch (Dp) ialah perbandingan antara banyaknya gigi dengan diameter jarak antara (dalam inchi).

$$\text{Jadi : } Dp = \frac{z}{D''} \rightarrow D'' = \frac{z}{Dp}$$

c. Circural pitch (Cp) adalah panjang busur lingkaran jarak antara pada dua buah gigi yang berdekatan (dalam inchi)

$$\text{Jadi : } Cp = \frac{\pi \cdot D''}{z} \text{ inchi}$$

$$\text{Bila } \frac{D''}{z''} = m'' \rightarrow Cp = \pi \cdot m'' \text{ inchi}$$

Persamaan diametral pitch dengan module:

$$cp \frac{\pi \cdot D''}{z''} \text{ sedang ; } D'' = \frac{z}{Dp}$$

$$cp = \frac{\pi \cdot \frac{z}{Dp}}{z''} \rightarrow Cp = \frac{\pi}{Dp} \rightarrow \pi \cdot m'' = \frac{\pi}{Dp}$$

$$\text{maka } m'' = \frac{1}{Dp} \text{ atau } m = \frac{25,4}{Dp}$$

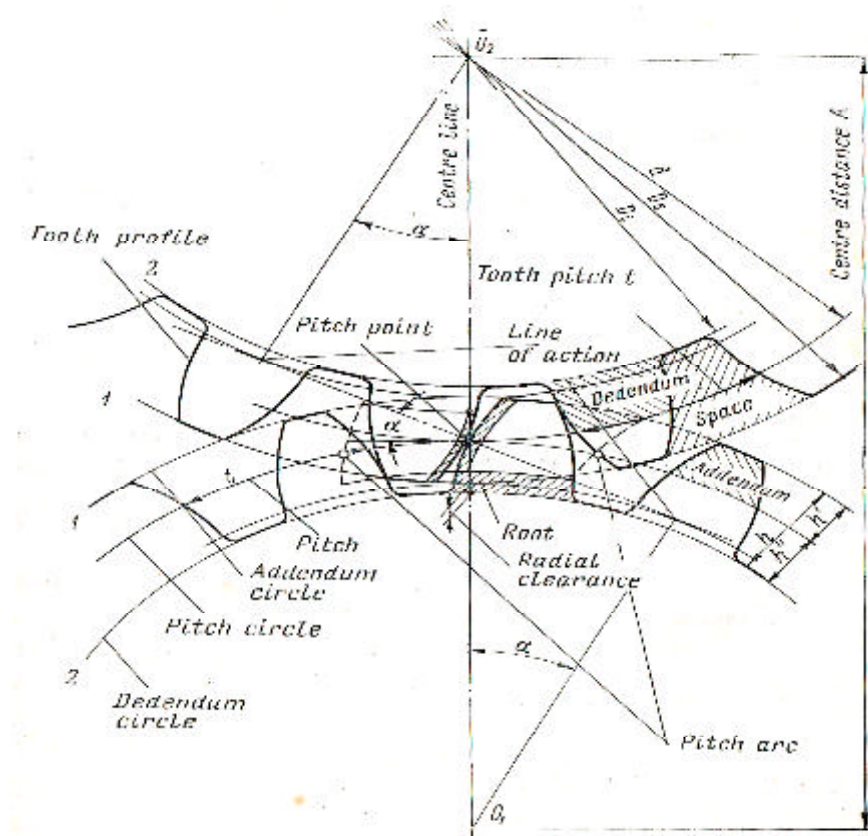
Catatan :

Pembuatan roda gigi yang sistim besarannya tidak sama, hasilnya tidak dapat dipasangkan.

d. Istilah-istilah pada roda gigi

- *Pitch circle* = lingkaran tusuk = lingkaran jarak antara = merupakan garis lingkaran bayangan yang harus bertemu/bersinggungan untuk sepasang roda gigi.
- *Pitch diameter* = tusuk = panjang busur lingkaran jarak antara pada dua gigi yang berdekatan
- *Circular Pitch* = tusuk = panjang busur lingkaran jarak antara pada dua gigi yang berdekatan
- *Addendum* = tinggi kepala gigi = tinggi gigi di luar lingkaran jarak antara

- *Dedendum* = tinggi kaki gigi = tinggi gigi di dalam lingkaran jarak antara
- *Clearance* = kelonggaran antara tinggi kaki gigi-gigi dengan tinggi kepala gigi yang saling menangkap
- *Backlash* = perbedaan antara lebar gigi yang saling menangkap pada lingkaran jarak antara
- Sudut tekan = sudut antara garis singgung jarak antara dengan garis tekan
- Garis tekan = garis yang dihasilkan dari hubungan titik-titik tekan dan melalui titik singgung lingkaran jarak antara dan roda gigi



Gambar 144. Istilah pada roda gigi

e. Ukuran utama roda gigi sistem *module*

Tabel 8. Ukuran utama roda gigi sistem module

NAMA	SIMBOL	RUMUS
Jarak sumbu antara- roda gigi	A	$\frac{D_1 + D_2}{z} = \frac{m(z_1 + z_2)}{z}$
<i>Circular pitch</i>	Cp	
Diameter jarak antara	D	$p \cdot m$
Diameter puncak/ kepala	Da	$z \cdot m$
Diameter alas/ kaki	Df	$D + 2 \cdot m$ $D - (2,2 \div 2,26) m$
Tinggi gigi seluruhnya	h	$\frac{Da - Df}{m} = ha + hf$
Tinggi kepala gigi/	ha	$1 \cdot m$
addendum Tinggi kaki/ dedendum	hf	$1,13 m$
Banyak gigi	z	$\frac{D}{m}$
Modul	m	$\frac{D}{z}$
Tebal gigi	b	$(6 \div 8) \cdot m$ automotive $(8 \div 12) \cdot m$ penggerak umum
Sudut tekan	a	20° evolvente
Perbandingan transmisi	i	$\frac{z_1}{z_2}$

f. Ukuran utama roda gigi sistem diametral *pitch*

Tabel 9. Ukuran utama roda gigi diametral pitch

NAMA	SIMBOL	RUMUS
Diametral pitch diukur pada lingkaran tusuk	Dp	$p \cdot \frac{\pi}{Cp}$
Addendum	ha	$\frac{1}{p}$
Deddendum	hf	$\frac{1,25}{p}$
Whole depth	Wd	$\frac{2,25}{p}$
Clearence	CI	$\frac{0,25}{p}$
Tebal gigi pada lingkaran tusuk	t	$\frac{1,5706}{p}$
Diameter lingkaran tusuk	D	$\frac{z}{p}$
Diameter lingkaran luar	D_a	$\frac{z + 2}{p}$
Diameter lingkaran alas	D_f	$D = \frac{z}{p}$

2.12 Pisau roda gigi (Gear cutters)

Untuk memperjelas uraian materi sebelumnya tentang pisau roda gigi, di bawah ini akan dibahas lagi lebih luas tentang materi pisau roda gigi. Sebagaimana alat-alat potong pada mesin bubut, pisau roda gigi dibuat dari bahan baja carbon (*carbon steel*) atau baja kecepatan potong tinggi (*High Speed Steel* = HSS). Bentuknya dibuat sedemikian rupa sehingga hasil pemotongnya membentuk profil gigi, yakni garis lengkung (*evolvente*).

a. Macam pisau frais roda gigi

- Type plain

Digunakan baik untuk pemotongan pengasaran maupun untuk penyelesaian (*finishing*) pada roda gigi dengan profil gigi kecil (modul kecil)



Gambar 145. Gear plain cutter (pisau gigi tipe plain)

- Tipe stocking

Pada gigi pemotong mempunyai alur yang selang-seling (Gambar 146). Beram (tatal) akan terbuang sebagian melalui alur-alur. Karena alurnya berselang-seling, maka pada benda kerja tidak akan terjadi garis-garis. Cutter tipe ini digunakan untuk pengefraisan pengasaran pada roda gigi dengan profil besar ($\text{modul} = 2,5 \div 12$). Untuk penyelesaian (*finishing*) digunakan cutter tipe plain.



Gambar 146. Gear stocking cutter (pisau gigi tipe stocking)

b. Ukuran pisau frais roda gigi

Pisau frais roda gigi dibuat untuk setiap ukuran, yakni untuk diameteral *pitch* maupun untuk sistem modul. Untuk setiap ukuran terdiri satu set yang mempunyai 8 buah atau 15 buah. Untuk setiap nomor *cutter* hanya dipakai untuk memotong roda gigi dengan jumlah gigi tertentu. Hal ini dibuat mengingat bahwa roda gigi dengan jumlah gigi sedikit profil giginya akan sedikit berbeda dengan profil gigi dari roda gigi dengan jumlah gigi banyak (lihat tabel 10)

Tabel 10. Pemilihan nomor pisau sistim modul

No	Nomor pisau	Untuk memotong gigi berjumlah
01	1	12÷13
02	2	14÷16
03	3	17÷20
04	4	21÷25
05	5	26÷34
06	6	35÷134
07	7	155÷134
08	8	135 keatas "Gigi rack"

Tabel 11. Satu set *cutter* modul dengan 15 nomor

No	Nomor pisau	Untuk memotong gigi berjumlah
01	1	12
02	1,5	13
03	2	14
04	2,5	15÷16
05	3	17÷18
06	3,5	19÷20
07	4	21÷22
08	4,5	23÷25
09	5	26÷29
10	5,5	30÷34
11	6	35÷41
12	6,5	42÷54
13	7	55÷80
14	7,5	81÷134
15	8	135÷ Tak terhingga (Gigi rack)

Pisau frais yang digunakan untuk pemotongan roda gigi menurut sistem diametral pitch, juga mempunyai 8 buah cutter (satu set). Misal roda gigi dengan jumlah 12 gigi, maka cutter terdiri dari nomor 8.

Tabel 12. Satu set *cutter* modul sistim diameter *pitch*

No	Nomor pisau	Untuk memotong gigi berjumlah
01	1	Gigi rack
02	2	55÷134
03	3	35÷54
04	4	26÷34
05	5	21÷25
06	6	17÷20
07	7	14÷16
08	8	12÷13

2.12.1 Perawatan pisau roda gigi

Perawatan pisau roda gigi dimaksudkan untuk memperpanjang umur secara ekonomi maupun umur secara teknologi dari pada alat potong.

Adapun cara-cara perawatannya adalah sebagai berikut :

- Memasang cutter dengan cara-cara yang benar, yakni cukup kuat, tidak oleng/goyang, menggunakan pasak dan sebagainya.
- Menggunakan putaran dan feeding (pemakanan) sesuai dengan ketentuan. Lihat tabel 9 dan 10

Tabel 13. Hubungan *cutting speed* dengan bahan

Material	<i>Cutting speed</i> ... m/minut	
	Carbon steel cutter	High speed steel cutter
Cast iron	18 ÷ 20	25 ÷ 40
Mild steel	10 ÷ 12	20 ÷ 30
Brass	40 ÷ 50	50 ÷ 80

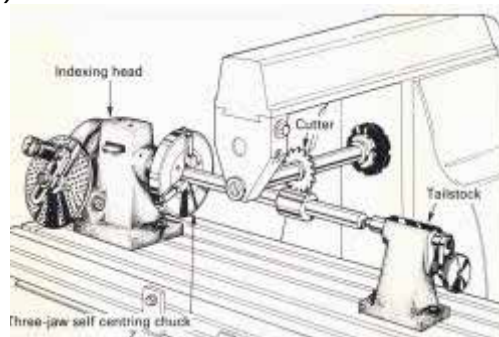
Tabel 14. Kecepatan potong untuk HSS dalam m/menit

Diameter pitch (p)	2	2,5	3	4	5	6	7	8	10	12	16
Metric modul				6	5	4		3	2,5	2	1,5
Cast iron Mild steel	80 35	80 35	10 0 50	11 0 60	62	12 5 75	15 0 10 0	15 0 10 0	17 5 11 0	20 0 12 5	22 5 15 0

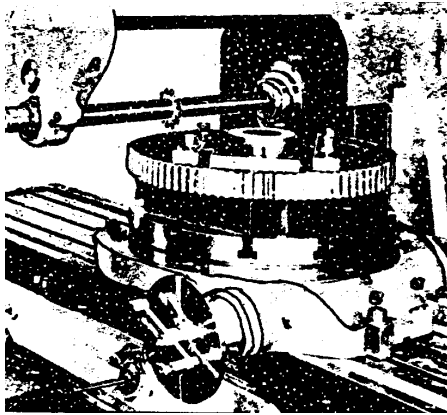
- c. Menggunakan Pendinginan yang cukup. Untuk besi tuang tidak perlu ada pendinginan dengan cairan.
- d. Penyimpanan cutter dengan baik, diberi minyak lumas, sisi-sisi potong jangan sampai terjadi tabrakan/benturan.

2.12.2 Pemasangan benda kerja

Harus diingat bahwa dalam proses pemotongan roda gigi, benda kerja telah dibubut terlebih dahulu sesuai dengan ukuran-ukuran yang dikehendaki, jadi dalam mesin frais tinggal memotong profil giginya saja. Cara pemasangan benda kerja ini ada bermacam-macam sesuai dengan besar-kecilnya beban. Gambar 147 menunjukkan contoh pemasangan benda kerja dengan mandril dan gambar 148 menunjukkan contoh pemasangan benda kerja dengan meja putar (*sircular attachment*)



Gambar 147. Pemasangan benda kerja dengan mandril

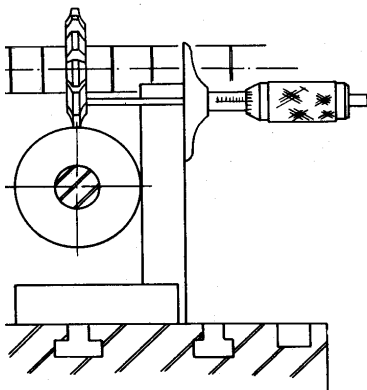


Gambar 148. Pemasangan benda kerja dengan meja putar

2.12.3 Cara menyetel pisau/cutter

Salah satu cara menyetel agar pisau/cutter benar-benar tepat di atas garis senter adalah dengan menggunakan siku-siku dan micrometer (Gambar 149) . Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- Letakkan siku pada meja dan singgungkan pada benda kerja.
- Ukur tebal cutter
- Jarak antara siku dengan bagian cutter yang paling tebal adalah : $\frac{1}{2} D - \frac{1}{2} \text{ tebal cutter}$. Ini dapat diukur dengan micrometer kedalaman
D = diameter benda kerja
- Siku dapat juga disinggungkan pada mandrel.



Gambar 149. Mengukur dengan siku dan micrometer kedalaman

2.12.4 Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam mengefrais roda gigi

- Meja harus benar-benar sejajar dekat dengan kolom
- Dividing head dan tailstock dipasang di tengah-tengah meja, dan garis senter harus sejajar kolom
- Pasang benda kerja (bahan) dengan mandril diantara dua senter dengan menggunakan pembawa, periksa kelurusan dan kesikuannya.
- Setel engkol pembagi dan masukan pen index pada lobang yang dikehendaki, pemutaran engkol pembagi harus cermat
- Pemasangan cutter pada arbor harus benar, *cutter* tidak boleh goyang (oleng), sebab bila demikian roda gigi yang dipotong hasilnya tidak presisi.
- Pisau harus tepat pada pertengahan benda kerja atau di atas garis senter
- Putaran mesin (*cutter*) dan kececepatan potong harus sesuai dengan ketentuan.

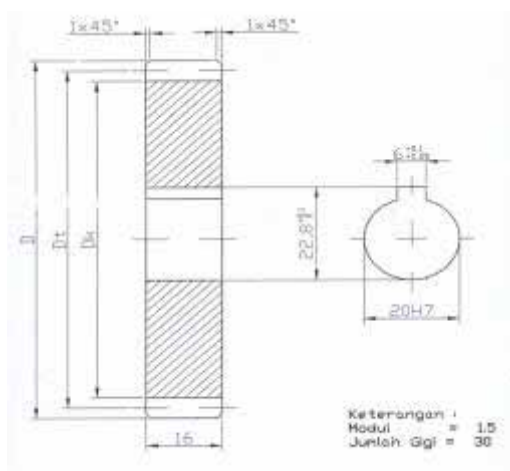
Catatan :

Untuk mendapatkan hasil pemotongan yang baik, matikan mesin (putaran *cutter*) bila akan menarik kembali benda kerja. Hal ini dilakukan agar *cutter* tidak merusak permukaan gigi yang baru saja dipotong.

2.12.5 Pengefraisan/pemotongan gigi sistim modul

Untuk memotong roda gigi lurus pada mesin frais dapat dilakukan dengan cara berikut ini :

- Pelajari gambar kerja (Gambar 150), misalnya diketahui sebuah roda gigi lurus dengan $z = 30$ gigi, dan modulnya (m) 1,5.



Gambar 150. Roda gigi lurus

Maka ukuran-ukuran yang lain dapat direncanakan sebagai berikut:

- Diameter tusuk (Dt) = z.m
= 30.1,5
= 45 mm
- Diameter luar (DI) = Dt+(2.m)
= 45+(2.1,5)
= 48 mm
- Kedalaman gigi (h) = ha+hf
= (1.1,5)+(1,2.1,5)
= 3,3 mm
- Pisau yang digunakan adalah nomor 5
- Pembagian pada kepala pembagi bila ratio perbandingan pembagiannya 40:1, Maka:

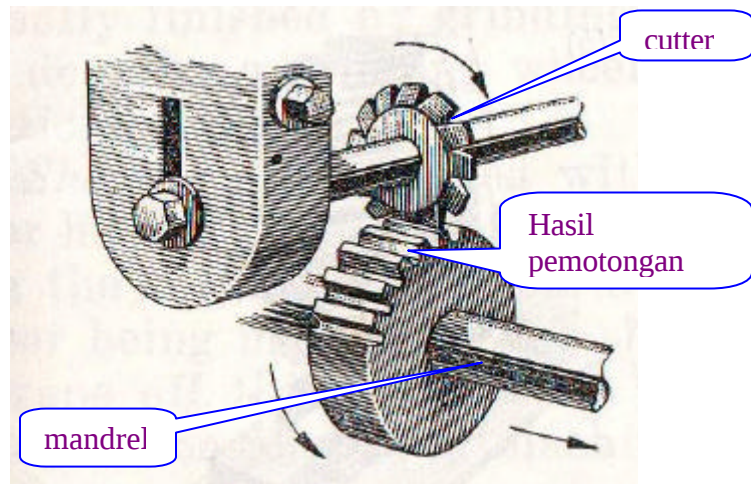
$$N_c = \frac{40}{z}$$

$$= \frac{40}{30} = 1\frac{10}{30} = 1\frac{6}{18}$$

Jadi: Engkol kepala pembagi diputar sebesar satu putaran penuh, ditambah enam lubang pada indeks piring pembagi berjumlah 18.

- b. Persiapkan peralatan dan perlengkapan yang diperlukan untuk pembuatan roda gigi lurus.
- c. Pasang blank roda gigi yang sudah terpasang pada mandril diantara dua senter.
- d. Setting pisau ditengah-tengah benda kerja, dan lanjutkan setting pisau diatas nol permukaan benda kerja.
- e. Atur kedalaman pemakanan sesuai perhitungan.
- f. Atur pembagian mengatur piring pembagi dan lengan untuk pembagian 30 gigi, dalam hal ini dari hasil perhitungan menggunakan piring pembagi berjumlah 18.
 - a. Setelah yakin benar, bahwa posisi cutter di tengah-tengah benda kerja geserkah meja longitudinal, naikan meja setinggi depth of cut (h). Sesuai perhitungan didapat 3,3 mm.
 - b. Putarkan engkol pembagi suatu putaran penuh untuk menghilangkan backlash
 - c. Hidupkan mesin, dan lakukan pemotongan gigi
 - d. Putarkan engkol pembagi untuk mendapatkan satu gigi
 - e. Lakukan pemotongan hingga selesai satu gigi, ukurlah tebal gigi dengan gear tooth vernier bila ternyata ada kekurangan atur kembali depth of cut
 - f. Kemudian lakukan kembali pemotongan hingga selesai dengan menggunakan gerakan meja secara otomatis

Sebagai ilustrasi hasil pemotongan dalam pembuatan roda gigi lurus dapat dilihat pada (Gambar 151).



Gambar 151. Pemotongan gigi lurus

2.12. 6 Pemotongan batang bergigi/gigi rack (*Rack gear*)

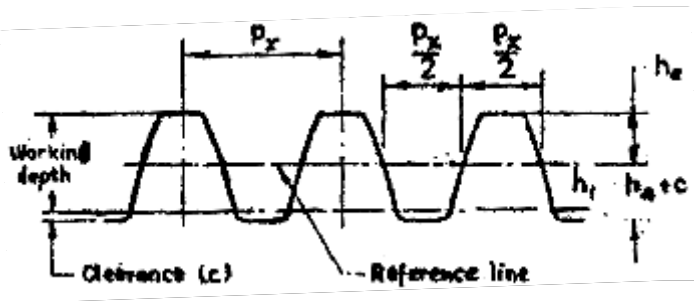
a. Fungsi gigi *rack*

Rack adalah suatu batang bergerigi, yang berguna untuk memindahkan gerak putar menjadi gerak lurus, biasanya pada kecepatan yang lambat atau kecepatan putaran tangan. Gerak putar dari suatu engkol, menggerakkan roda gigi pinion, roda gigi pinion menggerakkan batang bergerigi ini terdapat, misalnya pada mesin bor, press dan sebagainya.

b. Ukuran gigi *rack*

Standard ukuran gigi *rack* sama dengan standard ukuran roda gigi, karena gigi *rack* selalu berpasangan dengan roda gigi, atau dapat dikatakan *rack* adalah roda gigi dengan radius tak terhingga. Di sini jarak antara pusat dua gigi yang berdekatan pada garis tusuk aksial = *axial pitch* = p_x . Bila tusuk pada roda gigi pinion (p_t = *transverse pitch*) maka : $p_x = p_t = \pi \cdot m$. Gambar 150 menunjukkan ukuran-ukuran gigi *rack*.

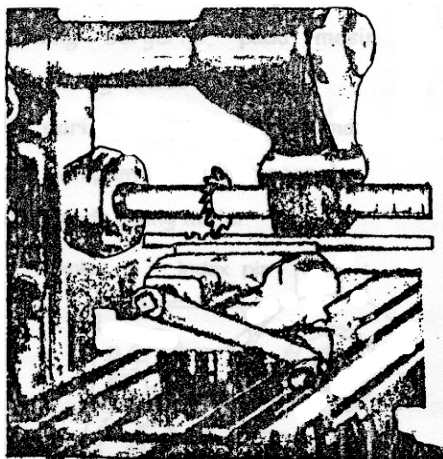
Contoh : Besarnya *axial pitch* (P_x) bila gigi *rack* dengan modul (m) = 3 adalah: $p_x = p_t = \pi \cdot m = 3,14 \cdot 3 = 9,42 \text{ mm}$



Gambar 152. Ukuran gigi rack

c. Mengefrais batang bergerigi yang berukuran pendek.

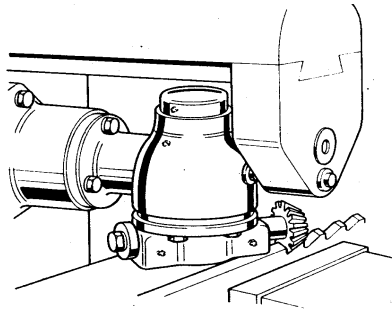
Bila batang bergerigi lebih pendek daripada pergeseran meja melintang (*cross slide*), maka benda kerja dapat dipasang (dijepit) dengan ragum mesin. Untuk pembagiannya digunakan sekala pada *cross slide* dan apabila menghendaki lebih teliti lagi dapat digunakan jam ukur (*dial indicator*).



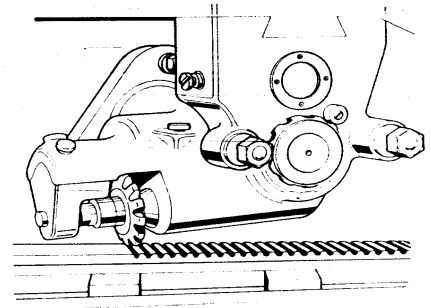
Gambar 153. Pengefraisan gigi batang pendek

d. Mengefrais batang bergerigi yang panjang

Bila batang bergerigi lebih panjang daripada pergeseran meja melintang, maka benda kerja dipasang memanjang sepanjang meja frais dan diklem. Pisau frais dipasang pada rack milling attachment (perlengkapan frais rack). Di sini pembagiannya dengan menggunakan pergeseran memanjang (*longitudinal slide*).



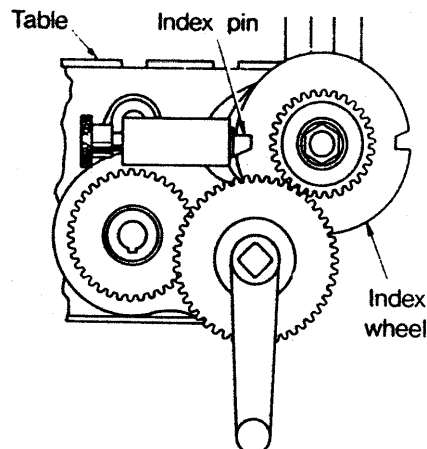
Rack milling with universal spiral attachment



RACK MILLING ATTACHMENT

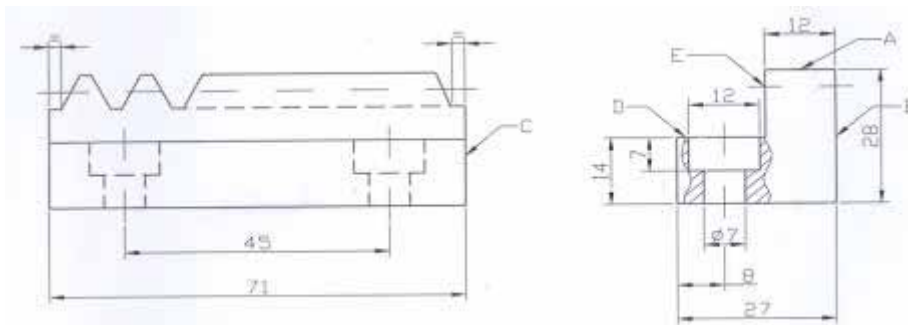
Gambar 154. Ragum dan perlengkapan frais batang bergigi
(*Rack milling attachment and vice*)

- e. Perlengkapan pembagi batang bergigi (*Rack indexing attachment*)
Disamping kita menggunakan pergeseran meja mesin untuk pembagian batang bergerigi, pada mesin frais tertentu dilengkapi alat pembagi khusus. Alat ini terdiri dari satu set roda gigi, pelat pembagi (*indexing plate*) pen index dan penyokong (pemegang). Alat ini dipasang pada ujung meja.



Gambar 155. Perlengkapan pembagi batang bergigi

- f. Prosedur pemotongan Untuk memotong gigi rack lurus pada mesin frais dapat dilakukan dengan cara berikut ini :
- Pelajari gambar kerja (Gambar 156), misalnya diketahui sebuah gigi rack lurus dengan panjang (L) = 71mm, dan modulnya (m) 1,5.



Gambar 156. Roda gigi lurus

Maka ukuran-ukuran yang lain dapat direncanakan sebagai berikut, termasuk agar supaya sisa gigi sisi kanan dan kiri sama.

- Besarnya aksial pitch $p_x = \pi \cdot m$
 $= 3,14 \cdot 1,5$
 $= 4,71 \text{ mm}$
- Kedalaman gigi (h) $= h_a + h_f$
 $= (1 \cdot 1,5) + (1,2 \cdot 1,5)$
 $= 3,3 \text{ mm}$
- Jumlah gigi sepanjang 71 mm adalah:

$$z = \frac{L}{\pi \cdot m} = \frac{71}{3,14 \cdot 1,5} = 15,0743 \text{ gigi}$$
- Jadi sisa gigi adalah $= 0,0743 \cdot (\pi \cdot m)$
 $= 0,35 \text{ mm}$
- Untuk mendapatkan sisa gigi yang sama bila tebal pisaunya adalah 4 mm maka:

$$X = \frac{0,35 \cdot 4}{2} = 0,7 \text{ mm}$$

- Pisau yang digunakan adalah nomor 8
- Persiapkan peralatan dan perlengkapan yang diperlukan untuk pembuatan roda gigi lurus.
- Pasang blank gigi rack pada ragum yang telah terpasang sebelumnya.
- Setting pisau pada sisi benda kerja, dan selanjutnya geser pisau sebesar $X = 0,7 \text{ mm}$.
- Atur kedalaman pemakanan sebesar 3,3 mm.
- Setelah yakin benar bahwa posisi cutter pada posisi yang benar, lakukan pemotongan gigi pertama.
- Berikutnya lakukan pemotongan gigi kedua dengan menggeser meja sebesar 4,71 mm
- Ukurlah tebal gigi dengan gear tooth vernier bila ternyata ada kekurangan atur kembali *depth of cut* (h)
- Kemudian lakukan kembali pemotongan hingga selesai dengan menggunakan gerakan meja secara otomatis.

3. Teknik Pengukuran Pada Proses Produksi

3.1 Jenis Pengukuran

3.1.1 Pengukuran presisi

Pengukuran ini digunakan untuk mendapatkan ketelitian 0,05, 0,02, 0,01 bahkan sampai ukuran micron. Alat-alat ukur yang dipakai antara lain :

- a. Jangka sorong ketelitian 0,05 mm
- b. Jangka sorong ketelitian 0,02 mm
- c. Mikro meter ketelitian 0,01 mm
- d. Mikro meter ketelitian 0,001 mm

3.1.2 Pengukuran tak presisi

Pengukuran ini biasanya menggunakan alat ukur tak langsung atau menggunakan alat ukur yang mempunyai ketelitian 0,5 mm. misalnya rollmeter, bar meter (mistar baja). Sedangkan pada pengukuran dimensi tertentu menggunakan alat ukur tak langsung kemudian untuk mengetahui hasilnya dicocokkan dengan alat ukur langsung.

3.2 Metode pengukuran

Untuk mendapatkan benda kerja yang presisi. Kemampuan melakukan pengukuran memegang peranan yang sangat penting. Untuk melihat berbagai ukuran dimensi benda kerja kita dapat menggunakan beberapa jenis alat ukur.

Berdasarkan cara pembacaan skala ukurnya, alat ukur dibagi menjadi 2 yaitu :

3.2.1 Alat ukur langsung

Yang dimaksud dengan alat ukur langsung adalah jenis alat ukur yang datanya dapat langsung dibaca pada alat ukur tersebut digunakan. Contoh : jangka sorong, micrometer, mistar, busur derajat (bevel protector) dan lain-lain.

Alat ukur ini biasanya digunakan untuk mengukur bagian-bagian yang mudah diukur dan dijangkau oleh alat ukur langsung.

3.2.2 Alat ukur tak langsung

Yang dimaksud dengan alat ukur tak langsung adalah jenis alat ukur yang datanya hanya dapat dibaca dengan bantuan alat ukur langsung. Contoh : telescoping gauge, inside caliper, outside caliper dan lain-lain. Alat ukur ini dipakai untuk mengukur bagian-bagian yang tidak dapat dijangkau oleh alat ukur langsung.

Pada alat ukur langsung memiliki beberapa tingkatan ketelitian. Untuk itu kita harus dapat menentukan alat ukur jenis apa yang harus kita gunakan berdasarkan tingkatan toleransi yang ingin kita capai. Disamping kepresisian alat ukur dan suhu ruang ($18^{\circ}\pm 20^{\circ}$)

yang menentukan kebenaran/ketepatan dari hasil pengukuran, Faktor lainnya adalah posisi dan sikap sewaktu melakukan pengukuran, antara lain :

- a. Lakukan pengukuran dalam keadaan mesin berhenti.
- b. Letakkan sensor ukur tegak lurus terhadap bidang ukur.
- c. Berilah penerangan yang cukup pada saat melakukan pengukuran.
- d. Pembacaan skala nonius harus tegak lurus terhadap skala utama.
- e. Untuk jenis pekerjaan yang dituntut dengan kepresisian tinggi, sebaiknya perlu dilakukan pengukuran beberapa kali. Hal ini untuk menghindari terjadinya kesalahan pengukuran.

3.3 Alat ukur mistar geser (*vernier caliper*) dan mikrometer luar (*outside micrometer*)

Alat ukur presisi yang sering digunakan di industri dan bengkel-bengkel pemesinan salah satunya adalah mistar geser dan mikrometer dalam skala ukur mm. Maka dari itu dalam menunjang materi-materi sebelumnya di bawah ini akan dibahas tentang alat-alat ukur tersebut.

3.3.1 Mistar Geser/*Vernier Calipers*

3.3.1.1 Skala/*vernier* pada mistar geser

Skala adalah alat pembanding yang pada umumnya terdapat pada semua jenis alat ukur sehingga memungkinkan mendapat hasil pengukuran yang tepat.

Skala pada mistar geser terbagi menjadi 2 bagian, yaitu:

- a. Skala utama
- b. Skala nonius

Skala utama terdiri dari skala standar yang pembagiannya sama seperti pada mistar baja. Sedangkan skala nonius dibuat panjang tertentu sehingga dapat dibagi kedalam beberapa bagian, dimana tiap bagiannya menunjukkan panjang yang proporsional terhadap skala pada bagian skala utama.

3.3.1.2 Bagian- bagian mistar geser

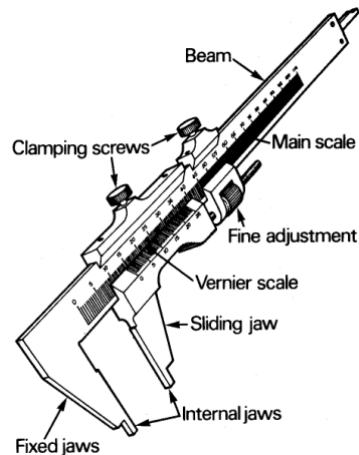
Secara umum bagian mistar geser terdiri dari:

- a. Rahang tetap/*fixed jaw*, yang bingkainya terdapat pembagian skala yang sangat teliti.
- b. Rahang gerak/*sliding jaw*, yang skala noniusnya dapat digerakkan sepanjang bingkai.

Bagian yang lainnya untuk jenis mistar geser tertentu, kadang-kadang dilengkapi dengan pengatur gerakan yang halus sepanjang bingkainya dan juga dilengkapi dengan bagian untuk mengukur kedalaman. Bagian-bagian mistar geser sebagaimana (Gambar 157) adalah:

- *Beam* (Batang/rangka)
- *Fixed jaw* (rahang tetap)

- *Sliding Jaw* (rahang gerak)
- *Main scale* (skala tetap)
- *Vernier scale* (skala ninus)
- *Fine adjustment* (Penggerak halus)
- *Clamping screws* (Baut pengencang)



Gambar 157. Bagian dari mistar insut nonius.

3.3.1.3 Fungsi mistar geser

Mistar geser dapat digunakan untuk berbagai kegiatan pengukuran, diantaranya untuk mengukur:

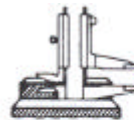
- Ketebalan, jarak luar atau diameter luar.
- Kedalaman.
- Tingkat/step.
- Jarak celah atau diameter dalam.



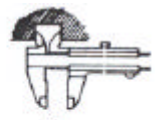
a.



b.



c.



d.

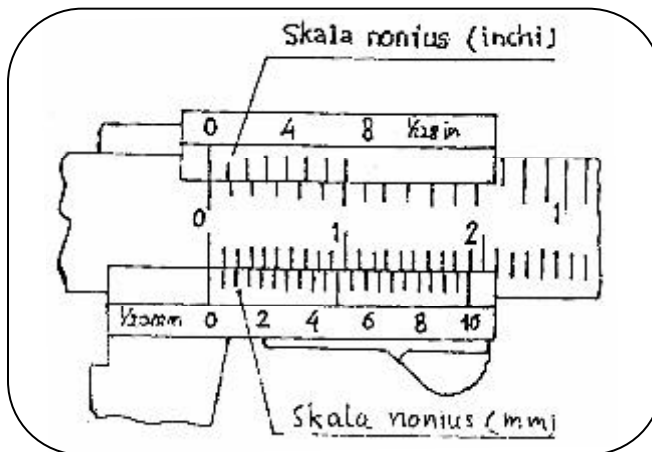
- mengukur ketebalan, jarak luar atau diameter luar
- mengukur kedalaman
- mengukur tingkat
- mengukur jarak celah atau diameter dalam



Gambar 158. Contoh penggunaan mistar geser

3.3.1.3 Prinsip skala *metric*

Prinsip dari skala *metric* yang memiliki ketelitian 0,05 mm adalah pada rahang gerak terbagi menjadi 20 bagian/garis. Jarak dari 0 sampai 20 = 19 mm, yang jarak antara garis satu dengan yang lainnya $19 : 20 = 0,95$ mm. jadi selisih dari dua skala ini adalah $1 \text{ mm} - 0,95 \text{ mm} = 0,05 \text{ mm}$. Dengan demikian, berarti juga mistar geser ini mampu mengukur sampai ukuran terkecil 0,05 mm (lihat gambar 159)



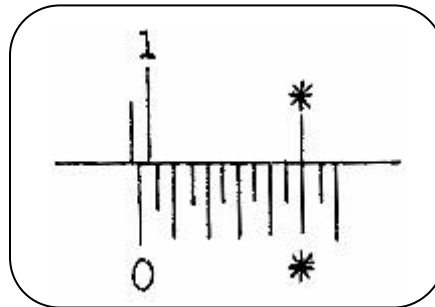
Gambar 159. Prinsip Skala metrik

1.3 Pembacaan mistar geser ketelitian 0,05 mm

Contoh pembacaan mistar geser ketelitian 0,05 mm pada pengukuran 9,5 mm sebagaimana gambar 152 adalah: ada pengukuran 9,5 mm, maka kedudukan garis-garis ukurnya adalah sebagai berikut:

- Garis 0 pada skala nonius terletak antara garis ke 9 dan 10 pada skala tetap.
- Garis ke 10 skala nonius segaris dengan salah satu garis pada

skala tetap.

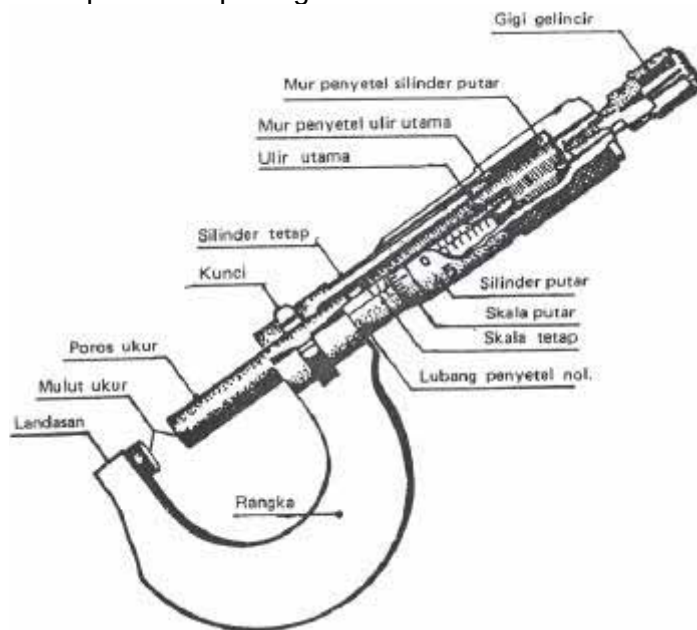


Gambar 160. Contoh pengukuran 9,5 mm

3.3.1 Mikrometer

3.3.1.1 Bagian-bagian mikrometer

Mikrometer merupakan alat ukur linier yang mempunyai Ketelitian/kecermatan yang lebih baik daripada mistar insut. Bagian-bagian mikrometer dapat dilihat pada gambar 161.



Gambar 161. Mikrometer luar dengan nama bagiannya.

3.3.1.2 Fungsi mikrometer

Mikrometer dapat digunakan untuk berbagai kegiatan pengukuran, diantaranya untuk mengukur:

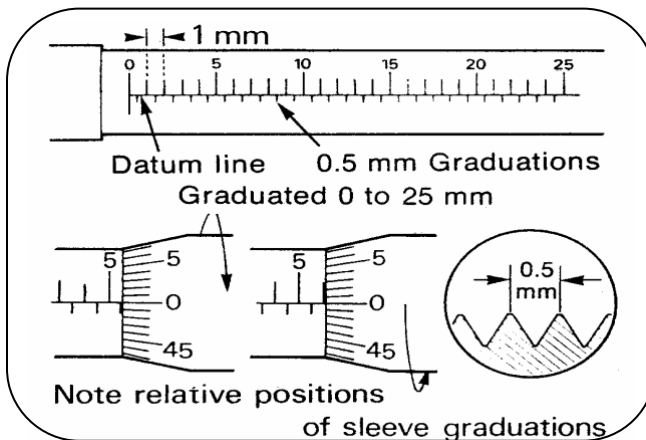
- Diameter luar
- Ketebalan suatu benda kerja

c. panjang dari suatu bagian

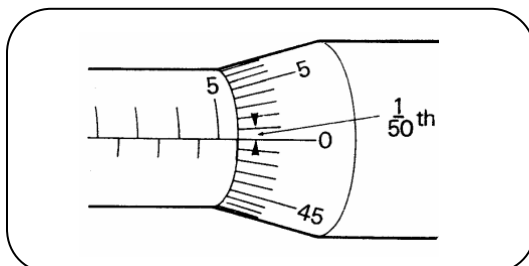
3.3.1.3 Pembacaan mikrometer

Pada bagian tabung ukur dan tabung putar terdapat angka-angka dan garis-garis (Gambar 162), angka-angka inilah yang menunjukkan ukuran benda yang diukur. Angka-angka yang terdapat pada tabung ukur menunjukkan mm, misalnya 0 – 5 – 10 – 15 – 20 – 25. dari 0 – 5 jaraknya adalah 5 mm. demikian pula 5 – 10 jaraknya adalah 5 mm, dan seterusnya.

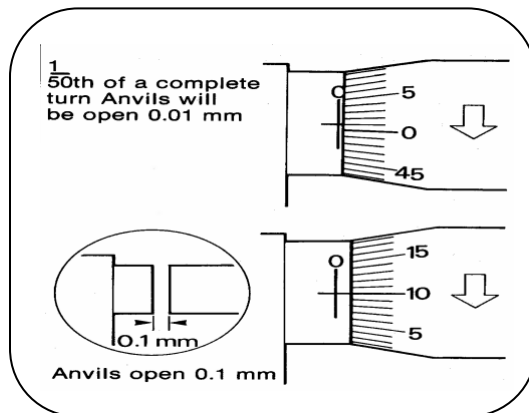
Dari angka ke angka ini dibagi dalam 5 bagian, sehingga 1 bagian jaraknya 1 mm. pada bagian garis bawah terdapat pula garis-garis ukur pembagi dua, yang artinya antara garis atas dan garis bawah jaraknya 0,5 mm. Sedangkan pada tabung putar terdapat garis-garis ukur yang banyaknya 50 buah (Gambar 163). Apabila tabung putar diputar satu kali (misalnya dari 0 sampai ke 0 lagi), maka poros geser akan bergerak 0,5 mm. Jika diputar 2 kali berarti $2 \times 0,5 \text{ mm} = 1 \text{ mm}$ dan seterusnya. Dengan demikian tabung putar dibagi dalam 50 bagian, maka 1 bagian jaraknya $0,5 \text{ mm} : 50 = 0,01 \text{ mm}$ (Gambar 164)



Gambar 162. Tabung ukur dan tabung garis



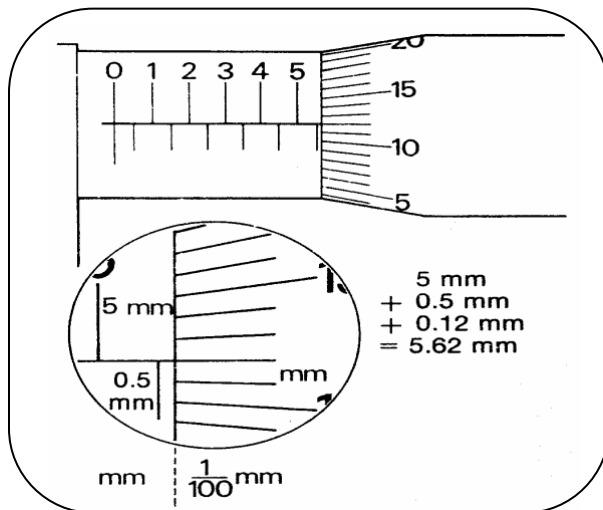
Gambar 163. Penunjukkan garis ukur



Gambar 164. Penunjukkan jarak ukur

3.3.1.3 Contoh Pembacaan Mikrometer

Contoh pembacaan mikrometer kapasitas 0 – 25 mm ketelitian/kecermatan 0,01, pada pengukuran 5,62 mm (Gambar 165)



Gambar 165. Contoh pembacaan mikrometer

Pada pengukuran 5,62 mm, maka kedudukan garis-garis ukurannya adalah sebagai berikut:

- Pada tabung ukur terlihat dengan jelas garis ukur milimeter yang ke 5.
- Garis ukur 0,5 mm pada tabung ukur terletak antara garis ke 5 dan ke 6, dan terlihat posisi tabung putarnya melebihi garis ukur 0,5 mm.
- Pada tabung putar posisi garis ke 12 segaris dengan garis tengah

pada tabung ukur. Jadi cara pembacaannya adalah: 5 mm + 0,5 mm + 0,12 mm = **5,62 mm**.

4. Pembacaan Toleransi Pada Gambar Kerja
4.1 Pengkodean toleransi

Di dalam pemesinan, bagian komponen yang telah selesai dibuat harus mampu bebas tukar dengan komponen yang lain. Sifat bebas tukar hanya akan mungkin dilaksanakan jika bagian-bagian yang bersuaian mempunyai 2 batas ukuran (toleransi yang tepat)

Pada prinsipnya dalam pembuatan benda kerja pasti terjadi kesalahan/penyimpangan ukuran, karena itulah tidak mungkn dapat dibuat tepat menurut ukuran yang ditentukan.

Agar kita dapat membuat komponen yang bebas tukar maka harus diberi batasan ukuran yang diijinkan menyimpang dari ukuran nominal/sebenarnya, dimana penyimpangan ukuran yang diijinkan dari ukuran yang sebenarnya disebut **Toleransi**. Untuk menunjukkan batas kedudukan daerah toleransi terhadap garis batas dasar digunakan kode yang berupa huruf-huruf. Huruf yang tidak dipakai untuk menunjukkan daerah toleransi antara lain : I, L, O, Q dan W. hal ini dimaksudkan untuk mernghindari kesalahan dengan angka angka. Penunjukan toleransi untuk lubang ditandai dengan hurup besar sedangkan untuk batang digunakan huruf kecil. Untuk lebih jelasnya mengenai tingkatan tingkatan suaian dengan basis lubang dan poros dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 15. Tingkatan suaian basis lubang

System Basis lubang			
Suaian / fit	Lubang	Poros	penggunaan
<i>Runningfit</i>	H 7	f 7	<i>Bearing with noticeable clearance</i>
<i>Close Runningfit</i>		g 6	<i>Bearing with Slight clearance</i>
<i>Sliddingfi t</i>		h 6	<i>Tailstock centersleve, guide</i>
<i>Close Sliddingfit</i>		Js 6	<i>Handwhells, Change gear, set collar</i>
<i>Wringingfit</i>		k 6	<i>Gear whell, Bushings</i>
<i>Forcefit</i>		m 6	<i>Whell rims, clutches, faceplat</i>
<i>Light pressfit</i>		p 6	<i>Bushings, wristpins, gear rims</i>
<i>Pressfit</i>		s 6	<i>Shirking, slutches</i>

Tabel 16. Tingkatan suaian basis Poros.

System Basis Poros			
Suaian / fit	Lubang	Poros	penggunaan
<i>Runningfit</i>	E 8	h 9	<i>Bearing with drawn shaft</i>
<i>Sliddingfi t</i>	H 9		<i>Actuating levers, Control gears</i>
<i>Wringingfit</i>	K 6		<i>Keys without maching work</i>
<i>Pressfit</i>	P 9		<i>Keys with matching work</i>

Contoh : Penulisan toleransi Kedudukan daerah toleransi lubang **30 H 7**, maksudnya **30** adalah diameter nominal, **H** adalah kualitas, dan **7** adalah ukuran toleransi.

Didalam gambar kerja, setiap toleransi sudah terdapat keterangan mengenai batasan ukurannya. Jika harga dari batasan tersebut tidak terdapat maka dapat dilihat seperti pada harga suaian (Tabel 17), nilai penyimpanan lubang (Tabel 18 a dan b), nilai penyimpangan poros (Tabel 19 a dan b).

Tabel 17. Harga Suaian untuk tujuan umum.

Sistim lubang dasar

Lubang dasar	Lambang dan kwalitas untuk poros																
	Suaian longgar						Suaian pas					Suaian paksa					
	b	c	d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u	x
H 5						4	4	4	4	4							
H 6						5	5	5	5	5							
					6	6	6	6	6	6	6	6					
H 7				(6)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
				7	7	(7)	7	7	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)
H 8					7		7										
				8	8		8										
				9													
H 9				8			8										
		9	9	9			9										
H 10	9	9	9														

Sistim poros dasar

Poros dasar	Lambang dan kwalitas untuk lubang																
	Suaian longgar						Suaian pas					Suaian paksa					
	B	C	D	E	F	G	H	Js	K	M	N	P	R	S	T	U	X
h 4							5	5	5	5							
h 5							6	6	6	6	6	6					
h 6					6	6	6	6	6	6	6	6					
				(7)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
h 7				7	7	(7)	7	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)			
					8		8										
h 8			8	8	8		8										
			9	9			9										
h 9			8	8			8										
		9	9	9			9										
	10	10	10														

Tabel 18 a. Nilai penyimpangan lubang untuk tujuan umum

Tingkat diameter (mm)		B		C		D			E			F			G		h					
>	10	B 10	C 9	C 10	D 8	D 9	D 10	E 7	E 8	E 9	F 6	F 7	F 8	G 6	G 7	H 5	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	
—	3	+180 +140	+85 +60	+100	+34	+45 +20	+60	+24	+28 +14	+39	+12	+16 +6	+20	+8 +10	+12	+4	+6	+10 0	+14	+25	+40	
3	6	+188 +140	+100 +70	+118	+48	+60 +30	+78	+32	+38 +20	+50	+18	+22 +10	+28	+12 +4	+16	+5	+8	+12 0	+18	+30	+48	
6	10	+203 +150	+116 +80	+138	+62	+76 +40	+98	+40	+47 +25	+61	+22	+28 +13	+35	+14 +5	+20	+6	+9	+15 0	+22	+36	+58	
10	14	+228 +150	+138 +95	+165	+77	+93 +50	+120	+50	+59 +32	+75	+27	+34 +16	+43	+17 +8	+24	+8	+11	+18 0	+27	+43	+78	
14	18																					
18	24	+244 +160	+162 +110	+194	+98	+117 +65	+149	+61	+73 +40	+92	+33	+41 +20	+53	+20 +7	+28	+9	+13	+21 0	+33	+52	+84	
24	30																					
30	40	+270 +170	+182 +120	+220	+119	+142 +80	+180	+75	+89 +50	+112	+41	+50 +25	+64	+25 +9	+34	+11	+16	+25 0	+39	+62	+100	
40	50	+280 +180	+192 +130	+230																		
50	65	+310 +190	+214 +140	+260	+146	+174 +100	+220	+90	+106 +60	+134	+49	+60 +30	+76	+29 +18	+40	+13	+19	+30 0	+46	+74	+120	
65	80	+320 +200	+224 +150	+270																		
80	100	+360 +220	+257 +170	+310	+174	+207 +120	+260	+107	+126 +72	+159	+58	+71 +36	+90	+34 +12	+47	+15	+22	+35 0	+54	+87	+140	
100	120	+380 +240	+267 +180	+320																		
120	140	+420 +260	+300 +200	+360																		
140	160	+440 +280	+310 +210	+370	+208	+245 +145	+305	+125	+148 +85	+185	+68	+83 +43	+106	+39 +14	+54	+18	+25	+40 0	+63	+100	+160	
160	180	+470 +310	+330 +230	+390																		
180	200	+525 +340	+355 +240	+425																		
200	225	+565 +380	+375 +260	+445	+242	+285 +170	+355	+146	+172 +100	+215	+79	+96 +50	+122	+44 +15	+61	+20	+29	+46 0	+72	+115	+185	
225	250	+605 +420	+395 +280	+465																		
250	280	+690 +480	+430 +300	+510	+271	+320 +190	+400	+162	+191 +110	+240	+88	+106 +56	+137	+49 +17	+69	+23	+32	+52 0	+81	+130	+210	
280	315	+750 +540	+460 +330	+540																		
315	355	+830 +600	+500 +360	+590	+299	+350 +210	+440	+182	+214 +125	+265	+98	+119 +62	+151	+54 +18	+75	+25	+36	+57 0	+89	+140	+230	
355	400	+910 +680	+540 +400	+630																		
400	450	+1010 +760	+595 +440	+690	+327	+385 +230	+480	+198	+232 +135	+290	+108	+131 +68	+165	+68 +20	+83	+27	+40	+63 0	+97	+155	+250	
450	500	+1080 +840	+635 +480	+730																		

Catatan: Nilai atas menunjukkan penyimpangan atas, dan nilai bawah penyimpangan bawah.

Tabel 18 b. Nilai penyimpangan lubang untuk tujuan umum

Tingkat diameter (mm)	>	to	js				k			m			n	p	r	s	t	u	x
			js 4	js 5	js 6	js 7	k 4	k 5	k 6	m 4	m 5	m 6	n 6	p 6	r 6	s 6	t 6	u 6	x 6
—	3		$\pm 1,5$	± 2	± 3	± 5	+3	+4	+6	+5	+6	+8	+10	+12	+16	+20	—	+24	+26
								0			+2		+4	+6	+10	+14		+18	+20
3	6		± 2	$\pm 2,5$	± 4	± 6	+5	+6	+9	+8	+9	+12	+16	+20	+23	+27	—	+31	+36
								+1			+4		+8	+12	+15	+19		+23	+28
6	10		± 2	± 3	$\pm 4,5$	$\pm 7,5$	+5	+7	+10	+10	+12	+15	+19	+24	+28	+32	—	+37	+43
								+1			+6		+10	+15	+19	+23		+28	+34
10	14		$\pm 2,5$ ± 4 $\pm 5,5$ ± 9				+6	+9	+12	+12	+15	+18	+23	+29	+34	+39	—	+44	+51
											+7		+12	+18	+23	+28		+33	+40
14	18																	+46	+56
																		+45	+54
18	24		± 3 $\pm 4,5$ $\pm 6,5$ $\pm 10,5$				+8	+11	+15	+14	+17	+21	+28	+35	+41	+48	—	+54	+67
											+8		+15	+22	+28	+35		+41	+54
24	30																	+54	+61
																		+48	+57
30	40		$\pm 3,5$ $\pm 5,5$ ± 8 $\pm 12,5$				+9	+13	+18	+16	+20	+25	+33	+42	+50	+59		+64	+76
											+9		+17	+26	+34	+43		+48	+60
40	50																	+70	+86
																		+54	+70
50	65		± 4 $\pm 6,5$ $\pm 9,5$ ± 15				+10	+15	+21	+19	+24	+30	+39	+51	+60	+72	+85	+106	+121
											+11		+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102
65	80																	+75	+94
																		+59	+75
80	100		± 5 $\pm 7,5$ ± 11 $\pm 17,5$				+13	+18	+25	+23	+28	+35	+45	+59	+73	+93	+113	+146	+166
											+13		+23	+37	+51	+71	+91	+126	+166
100	120																	+104	+144
																		+75	+104
120	140																	+117	+147
																		+92	+122
140	160		± 6 ± 9 $\pm 12,5$ ± 20				+15	+21	+28	+27	+33	+40	+52	+68	+90	+125	+159	—	—
								+3			+15		+27	+43	+65	+100	+134	—	—
160	180																	+133	+171
																		+108	+146
180	200																	+151	+199
																		+122	+160
200	225		± 7 ± 10 $\pm 14,5$ ± 23				+18	+24	+33	+31	+37	+46	+60	+79	+109	+159	—	—	—
								+4			+17		+31	+50	+80	+130	—	—	—
225	250																	+169	+221
																		+140	+199
250	280		± 8 $\pm 11,5$ ± 16 ± 26				+20	+27	+36	+36	+43	+52	+66	+88	+126	+194	—	—	—
																		+130	+199
280	315							+4			+20		+34	+56	+98	+150	—	—	—
315	355		± 9 $\pm 12,5$ ± 18 $\pm 28,5$				+22	+29	+40	+39	+46	+57	+73	+98	+144	+208	—	—	—
																		+114	+174
355	400							+4			+21		+37	+62	+104	+156	—	—	—
400	450		± 10 $\pm 13,5$ ± 20 $\pm 31,5$				+25	+32	+45	+43	+50	+63	+80	+108	+166	+232	—	—	—
																		+172	+244
450	500							+5			+23		+40	+68	+112	+172	—	—	—
																		+132	+194

Catatan: Nilai atas menunjukkan penyimpangan atas dan nilai bawah penyimpangan bawah.

Tabel 19 a. Nilai penyimpangan poros untuk tujuan umum

Tingkat diameter (mm)	b	c		d		e			f			g			h								
		b9	c9	d8	d9	e7	e8	e9	f6	f7	f8	g4	g5	g6	h4	h5	h6	h7	h8	h9			
—	3	-140 -165	-60 -85	-20 -34	-45	-24	-28	-39	-12	-16	-20	-5	-6	-8	-3	-4	0 -6	-10	-14	-25			
3	6	-140 -170	-70 -100	-30 -48	-60	-32	-38	-50	-18	-22	-28	-8	-9	-12	-4	-5	0 -8	-12	-18	-30			
6	10	-150 -186	-80 -116	-40 -62	-76	-40	-47	-61	-22	-28	-35	-9	-11	-14	-4	-6	0 -9	-15	-22	-36			
10	14	-150	-95	-50		-32			-16			-6					0						
14	18	-193	-138	-77	-93	-50	-59	-75	-27	-34	-43	-11	-14	-17	-5	-8	-11	-18	-27	-43			
18	24	-160	-110	-65		-40			-20			-7					0						
24	30	-212	-162	-98	-117	-61	-73	-92	-33	-41	-53	-13	-16	-20	-6	-9	-13	-21	-33	-52			
30	40	-170 -232	-120 -182	-80		-50			-25			-9					0						
40	50	-180 -242	-130 -192	-119	-142	-75	-89	-112	-41	-50	-64	-16	-20	-25	-7	-11	-16	-25	-39	-62			
50	65	-190 -261	-140 -214	-100		-60			-30			-10					0						
65	80	-200 -274	-150 -224	-146	-174	-90	-106	-134	-49	-60	-76	-18	-23	-29	-8	-13	-19	-30	-46	-74			
80	100	-220 -307	-170 -257	-120		-72			-36			-12					0						
100	120	-240 -327	-180 -267	-174	-207	-107	-126	-159	-58	-71	-90	-22	-27	-34	-10	-15	-22	-35	-54	-87			
120	140	-260 -360	-200 -300																				
140	160	-280 -380	-210 -310	-145	-245	-125	-148	-185	-68	-83	-106	-26	-32	-39	-12	-18	0 -25	-40	-63	-100			
160	180	-310 -410	-230 -330																				
180	200	-340 -455	-240 -355																				
200	225	-380 -495	-260 -375	-170	-285	-146	-172	-215	-79	-96	-122	-29	-35	-44	-14	-20	0 -29	-46	-72	-115			
225	250	-420 -535	-280 -395																				
250	280	-480 -610	-300 -430	-190		-110			-56			-17					0						
280	315	-540 -670	-330 -460	-271	-320	-162	-191	-240	-88	-108	-137	-33	-40	-49	-16	-23	-32	-52	-81	-130			
315	355	-600 -740	-360 -500	-210		-125			-62			-18					0						
355	400	-680 -820	-400 -540	-299	-350	-182	-214	-265	-98	-119	-151	-36	-43	-54	-18	-25	-36	-57	-89	-149			
400	450	-760 -915	-440 -595	-230		-135			-68			-20					0						
450	500	-840 -995	-480 -635	-327	-385	-198	-232	-290	-108	-131	-165	-40	-47	-60	-20	-27	-40	-63	-97	-155			

Catatan: Nilai atas menunjukkan penyimpangan atas dan nilai bawah penyimpangan bawah

Tabel 19 b. Nilai penyimpangan poros untuk tujuan umum

Tingkat diameter (mm)		j				k			m			n	p	r	s	t	u	v
>	to	j4	j5	j6	j7	k4	k5	k6	m4	m5	m6	n6	p6	r6	s6	t6	u6	v6
—	3	$\pm 1,5$	± 2	± 3	± 5	+3	+4 0	+6	+5	+6 +2	+8	+10 +4	+12 +6	+16 +10	+20 +14	—	+24 +18	+26 +20
3	6	± 2	$\pm 2,5$	± 4	± 6	+5	+6 +1	+9	+8	+9 +4	+12	+16 +8	+20 +12	+23 +15	+27 +19	—	+31 +23	+36 +28
6	10	± 2	± 3	$\pm 4,5$	$\pm 7,5$	+5	+7 +1	+10	+10	+12 +6	+15	+19 +10	+24 +15	+28 +19	+32 +23	—	+37 +28	+43 +34
10	14	$\pm 2,5$ ± 4 $\pm 5,5$ ± 9				+6	+9 +1	+12	+12	+15	+18	+23	+29	+34	+39	—	+44	+51 +40
14	18					+1			+7			+12	+18	+23	+28	—	+33	+56 +45
18	24	± 3 $\pm 4,5$ $\pm 6,5$ $\pm 10,5$				+8	+11	+15	+14	+17	+21	+28	+35	+41	+48	—	+54 +41	+67 +54
24	30					+2			+8			+15	+22	+28	+35	+54 +41	+61 +48	+77 +64
30	40	$\pm 3,5$ $\pm 5,5$ ± 8 $\pm 12,5$				+9	+13	+18	+16	+20	+25	+33	+42	+50	+59	+64 +48	+76 +60	—
40	50					+2			+9			+17	+26	+34	+43	+70 +54	+86 +70	—
50	65	± 4 $\pm 6,5$ $\pm 9,5$ ± 15				+10	+15	+21	+19	+24	+30	+39	+51	+60 +41	+72 +53	+83 +66	+106 +87	—
65	80					+2			+11			+30	+32	+62 +43	+78 +59	+94 +75	+121 +102	—
80	100	± 5 $\pm 7,5$ ± 11 $\pm 17,5$				+13	+18	+25	+23	+28	+35	+45	+59	+73 +51	+93 +71	+113 +91	+146 +124	—
100	120					+3			+13			+23	+37	+73 +54	+101 +75	+126 +104	+166 +144	—
120	140	± 6 ± 9 $\pm 12,5$ ± 20				+15	+21 +3	+28	+27	+33 +15	+40	+52 +27	+68 +43	+88 +3	+117 +92	+147 +122	—	—
140	160													+90 +65	+125 +100	+159 +134	—	—
160	180													+93 +68	+133 +108	+171 +146	—	—
180	200	± 7 ± 10 $\pm 14,5$ ± 23				+18	+24 +4	+33	+31	+37 +17	+46	+60 +31	+79 +50	+106 +77	+151 +122	—	—	—
200	225													+109 +80	+159 +130	—	—	—
225	250													+113 +84	+169 +140	—	—	—
250	280	± 8 $\pm 11,5$ ± 16 ± 26				+20	+27	+36	+36	+43	+52	+66	+88	+126 +94	—	—	—	—
280	315					+4			+20			+34	+56	+130 +98	—	—	—	—
315	355	± 9 $\pm 12,5$ ± 18 $\pm 28,5$				+22	+29	+40	+39	+46	+57	+73	+90	+144 +108	—	—	—	—
355	400					+4			+21			+37	+62	+150 +114	—	—	—	—
400	450	± 10 $\pm 13,5$ ± 20 $\pm 31,5$				+25	+32	+45	+43	+50	+63	+80	+108	+166 +126	—	—	—	—
450	500					+5			+23			+48	+68	+172 +132	—	—	—	—

Catatan: Nilai atas menunjukkan penyimpangan atas dan nilai bawah penyimpangan bawah.

Contoh : Ukuran alur dan pasak suatu poros adalah 15 K6 – h9

Adapun cara membaca toleransinya adalah sebagai berikut:

- Dengan melihat penunjukan toleransi tersebut kita dapat mengetahui bahwa toleransi itu memakai sistim basis lubang dengan diameter nominal 15 pada toleransi K6.
- Setelah kita mengetahui sistim basisnya, kemudian kita lihat didalam table untuk batasan toleransi K6-h9

Keterangan

$$K\ 6 = 15 \begin{matrix} +2 \\ -9 \end{matrix}$$

sedangkan untuk

$$h\ 9 = 15 \begin{matrix} +0 \\ -9 \end{matrix}$$

dengan mengetahui 2 batasan tersebut maka dapat dihitung:

ukuran alurnya	=	batas atas 15,002 mm
.	=	batas bawah 14,991 mm
ukuran pasaknya	=	batas atas 15 mm
.	=	batas bawah 14,957 mm.

5. Keselamatan Kerja Pada Saat Proses Produksi

Mengoperasikan mesin perkakas tidak terlepas dari adanya benda yang berputar dan adanya serpihan logam sebagai akibat dari adanya proses penyayatan material benda kerja, sehingga akan dapat menimbulkan bahaya-bahaya yang sering terjadi saat mengoperasikan mesin.

5.1 Peralatan keselamatan kerja pada proses produksi

Menjaga keselamatan pada saat bekerja dengan mesin perkakas dapat dilakukan dengan memilih alat keselamatan kerja yang tepat. Alat keselamatan kerja yang kita pakai harus benar-benar mampu melindungi kita dari semua bahaya yang terjadi walaupun itu tidak dapat dijamin selamat 100 %. Keselamatan kerja yang dimaksud meliputi keselamatan kerja bagi operator. Untuk menjamin keselamatan operator, maka operator pada saat mengoperasikan mesin perkakas harus menggunakan peralatan keselamatan kerja yaitu yang harus digunakan pada saat proses produksi pemessinan diantaranya :

5.1.1 Pakaian Kerja

Pakaian kerja yang dipakai operator selalu menyesuaikan dengan jenis pekerjaannya. Bagi operator pemessinan frais, bubut, gerinda dan lain-lain, pakaian kerja yang digunakan harus memiliki syarat-syarat antara lain: tidak mengganggu pergerakan tubuh operator, nyaman dan tidak terasa panas waktu dipakai. Karena di negara kita beriklim

tropis maka disarankan untuk menggunakan pakaian kerja terbuat dari bahan cotton. Pakaian kerja memiliki manfaat antara lain; tidak merasa panas jika dipakai, dan Tidak mengganggu gerakan tubuh.

51.2 Sepatu kerja

Sepatu kerja harus benar-benar dapat memberikan perlindungan terhadap kaki kita. Berdasarkan standart yang telah ditentukan, sepatu kerja terbuat dari bahan kulit, sedangkan alas terbuat dari karet yang elastis tetapi tidak mudah rusak karena berinteraksi dengan minyak pelumas (oli). Untuk bagian ujung sepatu masih dilapisi dengan pelat besi yang digunakan untuk melindungi kaki jika terjatuh oleh benda-benda yang berat.

Sepatu kerja memiliki manfaat antara lain: Tidak licin waktu dipakai, Mampu melindungi kaki dari chip yang jatuh dan benda-benda yang lain, Alas kaki tidak mudah rusak karena berinteraksi dengan minyak pelumas.

5.1.3 Kaca Mata

Kaca mata digunakan untuk melindungi mata dari chip-chip yang berterbangan pada saat kerja di mesin frais. Oleh karena itu kaca mata yang dipakai oleh operator harus memenuhi syarat-syarat berikut:

Mampu menutup seluruh bagian-bagian mata dari kemungkinan terkena chip, Tidak mengganggu penglihatan operator dan, Memiliki lubang sebagai sirkulasi udara kemata.

5.2 Resiko-resiko dalam mengoperasikan mesin perkakas dan cara menghindarinya

5.2.1 Mata terkena chip (Tatal/Beram)

Untuk menghindari mata kemasukan chip/beram pada saat mengopersikan mesin perkakas, maka selama melakukan penyayatan harus memakai kaca mata sesuai standar keselamatan kerja (Gambar 166).



Gambar 166. Penggunaan kaca mata

5.2.2 Tangan atau rambut terkena atau terbelit alat potong

Pada proses pemesinan ketika alat potong atau benda kerja berputar, hindarkan tangan atau rambut terkena alat potong atau terbelit putaran benda kerja. Khususnya pada proses pengefraisan apabila terpaksa harus mengambil bagian, melihat, atau membersihkan tatal yang dekat dengan pisau atau benda kerja yang sedang berputar maka lebih baik putaran spindel dimatikan terlebih dahulu (Gambar 167). Karena apabila hal itu dilakukan, tidak hanya membahayakan tangan, tapi juga rambut yang terlalu panjang. Maka dari itu rambut diupayakan harus rapi dan tidak terlalu panjang atau menggunakan pelindung rambut supaya tidak ada bagian rambut yang terurai. Sedangkan pada saat proses pembubutan dilarang keras menarik tatal/beram hasil potongan yang melilit pada benda kerja, karena hal ini dapat mengakibatkan tangan bias terluka. Untuk itu pada saat menarik tatal/beram gunakan batang penarik (Gambar 168).



Gambar 167. Membersihkan chip/beram pada saat putaran mesin harus berhenti



Gambar 168. Menarik lilitan tatal dengan batang penarik

Selain itu yang perlu selalu diingat adalah pada saat mengoperasikan mesin dilarang keras menggunakan sarung tangan, karena dengan menggunakan sarung tangan kulit tangan kita kurang peka terhadap sentuhan sehingga disamping kurang peka pada saat melakukan proses pengukuran, yang paling membahayakan adalah terbelitnya sarung tangan pada saat mesin berputar sehingga tangan kitapun ikut terbelit oleh putaran mesin.

5.2.3 Tangan terkena chip/beram.

Biasanya bahaya seperti ini terjadi pada waktu kita membersihkan chip/tatal setelah selesai bekerja. Apalagi chip/tatal hasil pemotongan pengefraisan, karena alat potongnya memiliki mata sayat lebih dari satu chipnya pada umumnya berbentuk pendekpendek dan tajam. Untuk mengatasi resiko ini maka gunakanlah kuas untuk membersihkan. (Gambar 169 a) menunjukkan pembersihan chip/ tatal pada mesin frais, dan (Gambar 169 b) menunjukkan pembersihan chip/tatal pada mesin bubut.



(a)



(b)

Gambar 169. Membersihkan mesin dengan kuas.

5.2.4 Kaki terkena benda tajam dan terjatuhnya benda kerja.

Dilingkungan bengkel produksi/pemesinan, tidak bisa dihindari adanya chip/beram yang berserakan dilantai akibat dari hasil pemotongan. Selain itu ada kemungkinan benda/alat atau perlengkapan lain terjatuh dari atas dan juga oli yang berceceran . Maka dari itu setiap operator yang bekerja dilingkungan bengkel produksi pemesinan diwajibkan menggunakan sepatu kerja sesuai standar yang berlaku. (Gambar 170) menunjukkan penggunaan sepatu kerja dilingkungan bengkel produksi pemesinan.



Gambar 170. Penggunaan sepatu kerja

5.2.5 Baju dan celana terkena kotoran dan oli

Untuk menghindari baju dan celana terkena kotoran dan oli pada saat bekerja dilingkungan bengkel produksi pemesian, operator harus menggunakan pakaian kerja. (Gambar 171) menunjukkan penggunaan pakaian kerja pada saat bekerja pada mesin frais, dan (Gambar 172) menunjukkan penggunaan pakaian kerja pada saat bekerja pada mesin bubut.



Gambar 171. Penggunaan pakaian kerja pada mesin frais



Gambar 172. Penggunaan pakaian kerja pada mesin bubut

1. Rangkuman BAB VI

Pada proses produksi dengan mesin konvensional akan dijelaskan mesin bubut konvensional dan mesin frais konvensional.

1. Mesin Bubut Konvensional

Mesin bubut (*turning machine*) adalah suatu jenis mesin perkakas yang dalam proses kerjanya bergerak memutar benda kerja dan menggunakan mata potong pahat (*tools*) sebagai alat untuk menyayat benda kerja. Fungsi utama mesin bubut konvensional adalah untuk membuat/memproduksi benda-benda berpenampang silindris, misalnya poros lurus, poros bertingkat (*step shaft*), poros tirus (*cone shaft*), poros beralur (*groove shaft*), poros berulir (*screw thread*) dan berbagai bentuk bidang permukaan silindris lainnya misalnya anak buah catur (raja, ratu, pion dll). Jenis-jenis mesin bubut konvensional antara lain mesin bubut ringan, mesin bubut sedang, mesin bubut standar dan mesin bubut berat (mesin bubut beralas panjang, mesin bubut rantai, mesin bubut rantai dengan pengendali, mesin bubut tegak, mesin bubut dengan enam spindel mendatar, mesin bubut tegak dengan delapan spindel, mesin bubut tegak dengan delapan spindel sistem rotari, mesin bubut potong, mesin bubut ulir, mesin bubut ulir tipe swiss dan mesin bubut turret). Bagian-bagian utama mesin bubut konvensional adalah sumbu utama (*main spindle*), meja mesin (*bed*), eretan, kepala lepas, tuas pengatur kecepatan transporter dan sumbu pembawa, pelat tabel, tuas pembalik transporter dan sumbu utama, tuas pengatur kecepatan sumbu utama, penjepit pahat, eretan atas, keran pendingin, roda pemutar, transporter dan sumbu pembawa, tuas penghubung dan eretan lintang. Mesin bubut konvensional juga memiliki alat kelengkapan yaitu cekam, senter, kelengkapan tirus dan pahat.

2. Mesin Frais Konvensional

Mesin frais (*milling machine*) adalah mesin perkakas yang dalam proses kerja pemotongannya dengan menyayat/memakan benda kerja menggunakan alat potong bermata banyak yang berputar (*multipoint cutter*). Mesin frais dapat digunakan pembuatan benda kerja dengan berbagai bentuk-bentuk diantaranya :

- h. Bidang rata datar
- i. Bidang rata miring menyudut
- j. Bidang siku
- k. Bidang sejajar
- l. Alur lurus atau melingkar
- m. Segi beraturan atau tidak beraturan
- n. Pengeboran lubang atau memperbesar lubang dan lain-lain.

Selain bentuk-bentuk tersebut diatas juga dapat melakukan pembuatan benda kerja dengan bentuk yang lain dimana bentuk ini sangat dipengaruhi oleh bentuk pisau dan arah gerakan.

- g. Roda gigi lurus
- h. Roda gigi helik
- i. Roda gigi payung
- j. Roda gigi cacing
- k. Nok/eksentrik
- l. Ulir yang memiliki kisar/pitch yang besar, dan lain-lain.

Mesin frais merupakan jenis mesin perkakas yang sangat cepat berkembang dalam teknologi penggunaannya, sehingga memiliki banyak jenis. Jenis-jenis mesin frais antara lain : mesin frais horisontal, mesin frais vertikal, mesin frais universal, mesin frais bed, mesin frais duplex, mesin frais planer dan mesin frais roda gigi.

Pisau frais memiliki banyak jenis sesuai dengan kegunaannya. Jenis-jenis pisau frais sebagai berikut :

- a. Pisau mantel : pemakanan permukaan kasar dan lebar.
- b. Pisau alur : membuat alur pada bidang permukaan benda kerja.
- c. Pisau frais gigi : membuat roda gigi sesuai dengan jenis dan jumlah gigi yang diinginkan.
- d. Pisau frais radius cekung : membuat benda kerja yang bentuknya memiliki radius dalam (cekung).
- e. Pisau frais radius cembung : membuat benda kerja dengan radius luar (cembung).

- f. Pisau frais alur T : membuat alur berbentuk “T” seperti halnya pada meja mesin frais.
- g. Pisau frais sudut : membuat alur berbentuk sudut yang hasilnya sesuai dengan sudut pisau yang digunakan.
- h. Pisau jari : membuat alur pada bidang datar atau pasak dan jenis pisau ini pada umumnya dipasang pada posisi tegak (mesin frais *vertical*), dapat juga dipasang posisi *horizontal* yaitu langsung dipasang pada spindle mesin frais.
- i. Pisau frais muka dan sisi : digunakan untuk mengefrais bidang rata dan bertingkat.
- j. Pisau frais pengasaran : digunakan untuk menyayat benda kerja dari sisi potong *cutter* dan *cutter* ini mampu melakukan penyayatan yang cukup besar.
- k. Pisau frais gergaji : memotong atau membelah benda kerja.

Metode pemotongan pada kerja frais dibagi menjadi 3, antara lain : pemotongan searah jarum jam, pemotongan berlawanan arah jarum jam dan netral.

- a. Pemotongan searah benda kerja
Pemotongan yang datangnya benda kerja searah dengan putaran sisi potong *cutter*. Pada pemotongan ini hasilnya kurang baik karena meja (benda kerja) cenderung tertarik oleh *cutter*.
- b. Pemotongan Berlawanan Arah Benda Kerja
Pemotongan yang datangnya benda kerja berlawanan dengan arah putaran sisi potong *cutter*. Pada pemotongan ini hasilnya dapat maksimal karena meja (benda kerja) tidak tertarik oleh *cutter*.
- c. Pemotongan netral
Pemotongan yang terjadi apabila lebar benda yang disayat lebih kecil dari ukuran diameter pisau atau diameter pisau tidak lebih besar dari bidang yang disayat. Pemotongan jenis ini hanya berlaku untuk mesin frais *vertical*.

Mesin frais sama halnya seperti mesin bubut yang memiliki alat kelengkapan. Alat kelengkapan mesin frais adalah ragum, kepala pembagi, kepala lepas, *rotary table*, stub arbor dan arbor.

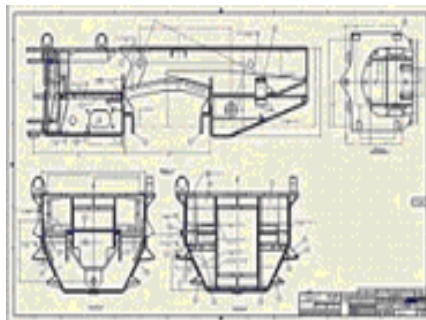
BAB VII

PROSES PRODUKSI BERBASIS KOMPUTER

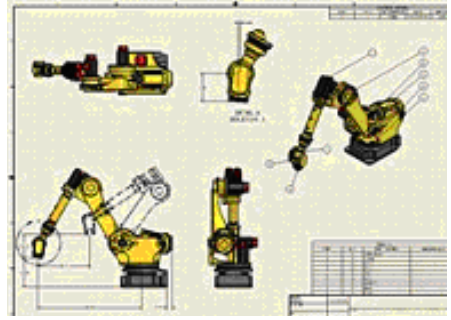
1. Computer Aided Design (CAD)

1.1 Pengertian CAD

CAD dalam keteknikan artinya mendesain menggunakan sistem grafis komputer untuk membuat desain mekanis (mesin/komponen mesin), rangkaian elektronik dan arsitektur/teknik sipil. Pada umumnya CAD dikenal pula sebagai metode menggambar komponen atau lainnya dengan bantuan software komputer, misal *AutoCAD Release 2000*, *RoboCAD*, *Master Engineering*, dan lain-lain. Perusahaan atau industri menggunakan CAD untuk mendesain produk yang dihasilkan. Penguasaan CAD penting dalam dunia teknik dan seorang yang ahli CAD banyak dibutuhkan dalam dunia industri karena teknologi CAD menjadi dasar untuk beragam kegiatan keteknikan seperti gambar, desain, analisa, dan proses manufaktur. Karena dikerjakan dengan bantuan komputer, maka suatu desain atau gambar dapat dianalisa, direvisi dimodifikasi dengan lebih mudah.



(a)



(b)

Gambar 1. Produk gambar CAD 2D (a) dan gambar 3D (b)

Pada prinsipnya kita memerlukan software dan hardware ketika bekerja dengan CAD. Software CAD adalah paket program yang menyediakan fasilitas-fasilitas untuk mendesain, sedangkan hardware adalah perangkat yang diperlukan untuk menjalankan software tersebut. Hardware bisa terdiri dari: CPU, monitor, keyboard, mouse, *tablet*, *plotter* dan lain-lain. Software CAD tersedia banyak di pasaran, salah satunya adalah AutoCAD.

Gambar CAD merupakan suatu representasi grafis dari sebuah data geometri komponen atau obyek yang disimpan dalam file gambar.

Database gambar umumnya berisi daftar lengkap entitas (garis, busur dan lain-lain) dan informasi koordinat yang diperlukan untuk membuat gambar CAD, dan informasi tambahan yang diperlukan untuk menentukan permukaan solid dan sifat-sifat lain. Format data dalam gambar biasanya berbeda menurut program yang digunakan dan tidak dapat dipertukarkan secara langsung.

1.2 Cara kerja

Seperti halnya bekerja dengan software lainnya, CAD memerlukan masukan atau *input* untuk bekerja. *Input* tersebut dapat berupa pilihan (*option*), data, dan perintah. Masukan yang diberikan akan direspon oleh CAD dengan jalan mengeluarkan *output* yang nampak di bidang gambar atau dalam bentuk permintaan untuk memberikan masukan lagi. Dengan demikian, salah satu keberhasilan dalam mengoperasikan CAD adalah dengan memperhatikan komunikasi tersebut.

1.3 Sistem Koordinat Absolut, Relatif, Polar

Koordinat adalah cara untuk menentukan posisi pada suatu ruang. Posisi tersebut ditunjukkan dengan angka-angka yang merupakan posisi terhadap suatu sumbu.

Koordinat merupakan faktor penting dalam CAD. Untuk menentukan setiap posisi di bidang gambar, CAD memerlukan titik koordinat. Sebaliknya setiap obyek yang ada di bidang gambar akan mempunyai data koordinat tertentu. Ada 3 sistem koordinat yang bisa digunakan yaitu: sistem koordinat absolut, relatif, dan polar.

1.3.1 Sistem koordinat

Sistem koordinat pada software AutoCAD 2 dimensi menggunakan dua sumbu yaitu X dan Y, sedangkan pada gambar tiga dimensi menggunakan 3 sumbu simetri, yaitu X, Y, dan Z. Ketika kita memasukkan angka koordinat, berarti kita memasukkan informasi tentang jarak (dalam satuan panjang) dan arahnya (+ atau -) sepanjang sumbu x, y dan z. Program AutoCAD bisa digunakan untuk

mode 2 dimensi maupun 3 dimensi sehingga mempunyai sistem koordinat 3 sumbu: x, y dan z.

1.3.1.1 Sistem Koordinat Absolut

Sistem koordinat absolut menggunakan titik pusat sumbu x, y, z (0,0,0) sebagai acuan utama. Artinya semua posisi titik dari suatu obyek diukur jaraknya dari titik pusat (0,0,0).

Bila menggambar dalam 2 dimensi, koordinat z dapat diabaikan atau tidak ditulis.

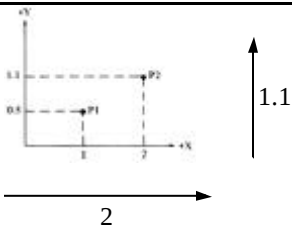
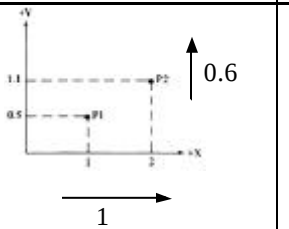
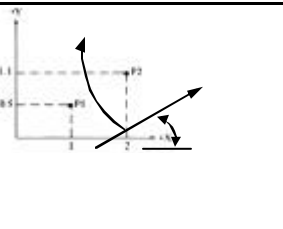
1.3.1.2 Sistem Koordinat Relatif

Dalam sistem ini posisi suatu titik tidak ditentukan dari pusat sumbu x, y, z (0,0,0) tetapi menggunakan acuan titik terakhir. Artinya koordinat suatu titik ditentukan relatif terhadap koordinat titik sebelumnya. Titik terakhir akan dianggap sebagai pusat sumbu (0,0,0) oleh titik terbaru, demikian juga titik terbaru tersebut akan menjadi pusat sumbu (0,0,0) bagi titik yang lebih baru lagi.

1.3.1.3 Sistem Koordinat Polar

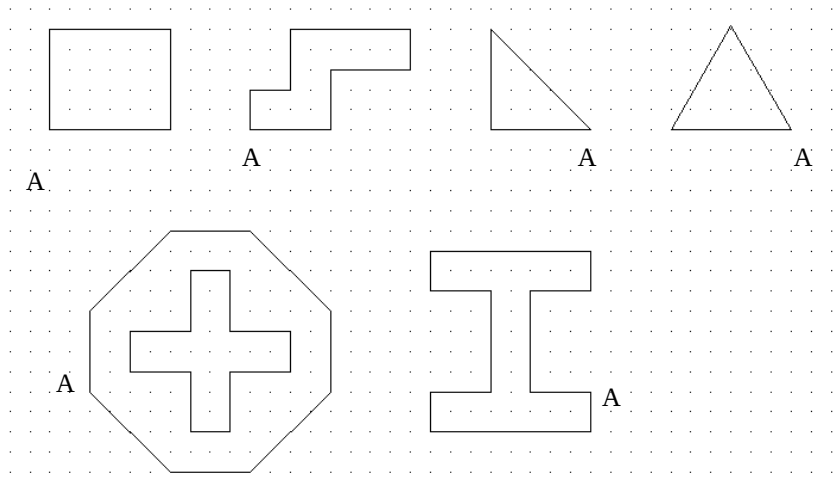
Sistem koordinat polar menggunakan jarak dan sudut untuk menentukan suatu posisi. Penentuan jarak bisa dilakukan dengan metode absolut terhadap titik pusat sumbu maupun relatif terhadap titik terakhir. Sedangkan sudut diukur terhadap sumbu x.

Default AutoCAD menggunakan WCS atau *World Coordinate System*. Selain itu juga terdapat fasilitas UCS (*User Coordinate System*) yaitu sistem koordinat yang dapat dipindahkan posisinya dan diputar arah sumbunya. Sistem koordinat dalam AutoCAD dapat dibuat dalam bentuk tabel sebagai berikut.

Sistem Koordinat		
Absolut	Relatif	Polar
		
P1 = 1 , 0.5 P2 = 2 , 1.1	P1 = 1 , 0.5 P2 = 1 , 0.6	P1 = 1 , 0.5 P2 = 1.17 , 31°
Format Penulisan dalam AutoCAD		
to (x2,y2) to 2,1.1	to @(x2-x1),(y2-y1) to @1,0.6	to @(panjang<sudut) to @1.17<31

Contoh Soal:

Tentukan koordinat masing-masing titik dengan sistem koordinat absolut, relatif dan polar. Mulailah dari titik A dengan menganggap koordinat A (0,0) dan lanjutkan dengan titik-titik lainnya dengan arah berlawanan jarum jam.



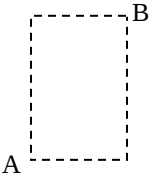
Gambar 2, Menentukan koordinat benda 2D

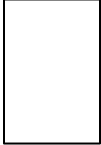
1.4 Perintah Menggambar pada AutoCAD

1.4.1 Menggambar 2D

1.4.1.1 Membuat Bidang Gambar

Untuk memudahkan mengatur gambar yang akan dibuat, perlu ditetapkan bidang gambar yang akan digunakan. Penetapan bidang gambar ini seperti halnya kita menentukan ukuran kertas yang akan digunakan dan batas gambar atau garis tepi pada kertas. Pada AutoCAD hal ini dilakukan dengan perintah *limits*. Dengan mengaktifkan *limits*, menggambar hanya dapat dilakukan di dalam daerah *limits* yang telah ditentukan.

Menentukan batas limits	 Command: limits Reset Model space limits: Specify lower left corner or [ON/OFF] <0.0000,0.0000>: (A) Specify upper right corner <420.0000,297.0000>: 210,297 (B)
-------------------------	--

Mengaktifkan limits	Command: limits Reset Model space limits: Specify lower left corner or [ON/OFF] <0.0000,0.0000>: ON
Membuat garis batas	 Command: rectang Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/ Width]: 0,0 Specify other corner point: 210,297

1.4.1.2 Grid dan Snap

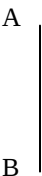
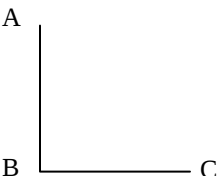
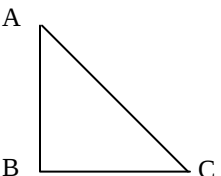
Grid dan *snap* adalah alat bantu untuk menggambar. *Grid* adalah titik-titik yang berulang secara teratur pada sumbu vertikal maupun horisontal. Sedangkan *snap* adalah pengunci gerakan kursor pada *grid*. Jarak antara titik-titik ini dapat diatur. Ketika *grid* dan *snap* diaktifkan, maka akan muncul titik-titik pada daerah *limits* dan pergerakan kursor akan mengikuti posisi *grid*. Gerakan kursor akan berupa lompatan ke titik-titik tersebut dan kursor akan tepat berhenti pada salah satu titik yang dituju oleh gerakan *mouse*.

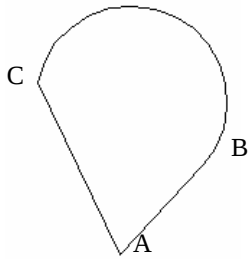
Menentukan jarak antar titik	 Command: grid Specify grid spacing(X) or [ON/OFF/Snap/Aspect] <10.0000>: 10
Mengaktifkan grid	Command: grid Specify grid spacing(X) or [ON/OFF/Snap/Aspect] <10.0000>: ON
Menentukan jarak lompatan kursor dan mengaktifkan snap	Command: snap Specify snap spacing or [ON/OFF/Aspect/Rotate/Style/Type] <10.0000>: 10 Specify snap spacing or [ON/OFF/Aspect/Rotate/Style/Type] <10.0000>: ON

1.4.1.3 Menggambar line dan polyline

Menggambar *line* atau garis dilakukan dengan memasukkan posisi titik awal dan dilanjutkan titik-titik berikutnya. Untuk menggambar garis terakhir dari suatu bangun yang menuju kembali ke titik awalnya atau membentuk kurva tertutup dapat diberikan perintah “c” yang artinya *closed* atau ditutup.

Line merupakan *entity* yang terpisah, sedangkan *polyline* adalah *entity* yang bersatu. Jika segitiga digambar dengan *line*, maka segitiga itu akan terdiri dari 3 segment, sedangkan bila digambar dengan *polyline*, maka segitiga tersebut hanya terdiri dari satu segment.

Line dan Polyline		
		
Command: <code>_line</code> Specify first point: (A) Specify next point or [Undo]: (B) Specify next point or [Undo]: (C) Specify next point or [Close/Undo]: (A) atau C Specify next point or [Close/Undo]: ←		

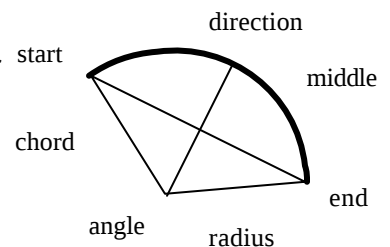


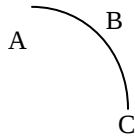
Command: `_pline`
 Specify start point: **(A)** ←
 Current line-width is 0.0000
 Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]:
(B)
 Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: **A**
 Specify endpoint of arc or
 [Angle/CEnter/CLose/Direction/Halfwidth/Line/Radius/Second
 pt/Undo/Width]: **(C)**
 Specify endpoint of arc or
 [Angle/CEnter/CLose/Direction/Halfwidth/Line/Radius/Second
 pt/Undo/Width]: **L**
 Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]:
(A)
 Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]:

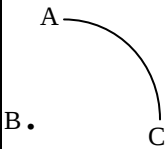
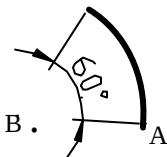
1.4.1.4 Menggambar Arc

Terdapat beberapa pilihan dalam membuat arc atau busur. Untuk memudahkan pemahaman, perlu diketahui bagian-bagian dari busur yaitu:

- titik ujung awal atau *start*
- titik kedua atau titik tengah garis busur
- titik ujung akhir atau *end*
- titik pusat busur atau *center*
- panjang tali busur atau *chord*
- radius busur
- sudut busur atau *angle*
- arah lengkungan busur atau *direction*

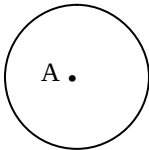


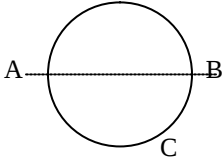
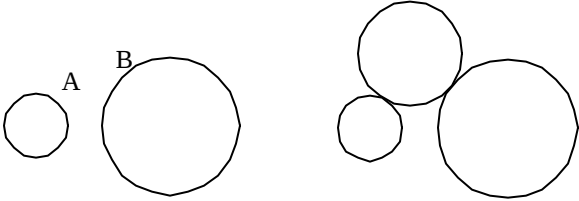
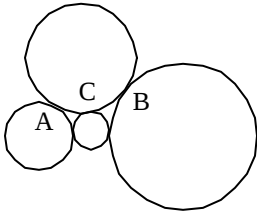
Beberapa cara menggambar arc	
three point	 Command: <code>_arc</code> Specify start point of arc or [CEnter]:

	(A) Specify second point of arc or [CEnter/ENd]: (B) Specify end point of arc: (C)
Start Center End	 Command: <code>_arc</code> Specify start point of arc or [CEnter]: (A) Specify second point of arc or [CEnter/ENd]: CE Specify center point of arc: (B) Specify end point of arc or [Angle/chord Length]: (C)
Start Center Angle	 Command: <code>_arc</code> Specify start point of arc or [CEnter]: (A) Specify second point of arc or [CEnter/ENd]: CE Specify center point of arc: (B) Specify end point of arc or [Angle/chord Length]: A Specify included angle: 60

1.4.1.5 Menggambar Circle

Perintah *Circle* digunakan untuk membuat lingkaran pada suatu bidang. Lingkaran dapat dibuat melalui beberapa cara, salah satunya adalah menentukan titik pusat lingkaran, selanjutnya menentukan radius lingkaran. Cara lain adalah dengan menentukan 2 titik (*2 point*) atau 3 titik (*3 point*) sebagai batas ukuran lingkaran. Selain itu, lingkaran dapat pula dibuat berdasarkan garis singgung yang tegak lurus pada permukaan suatu objek kemudian menentukan radiusnya (*tangent – tangent – radius*).

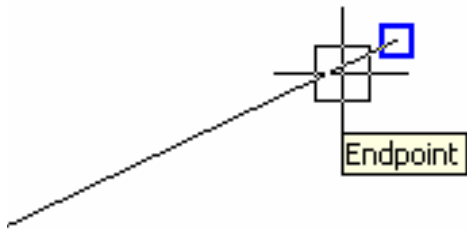
Beberapa cara menggambar Circle	
Menggambar dengan memilih D untuk diameter atau memilih R untuk radius	 Command: <code>circle</code> Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: (A) Specify radius of circle or [Diameter] : D Specify diameter of circle : 40

Menggambar dengan 2 points dan 3 points	 Command: circle Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: 2P Specify first end point of circle's diameter: (A) Specify second end point of circle's diameter: (B) Command: circle Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: 3P Specify first point on circle: (A) Specify second point on circle: (B) Specify third point on circle: (C)
Tangent tangent radius dan	 Command: circle Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: TTR Specify point on object for first tangent of circle: (A) Specify point on object for second tangent of circle: (B) Specify radius of circle: 40
Tangent tangent tangent	 Command: circle Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: 3p Specify first point on circle: _tan to (A) Specify second point on circle: _tan to (B) Specify third point on circle: _tan to (C)

1.4.1.6 Osnap

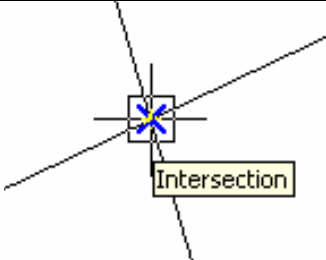
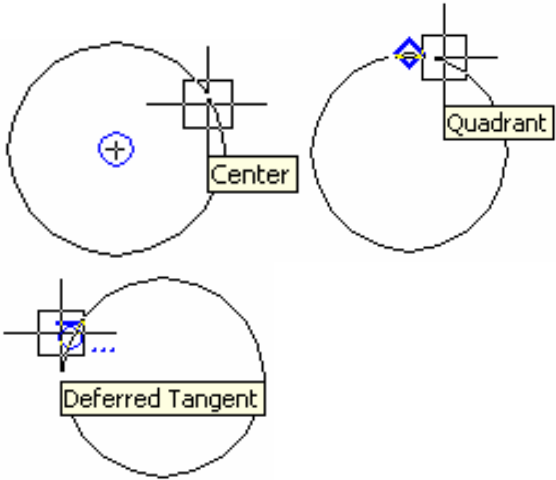
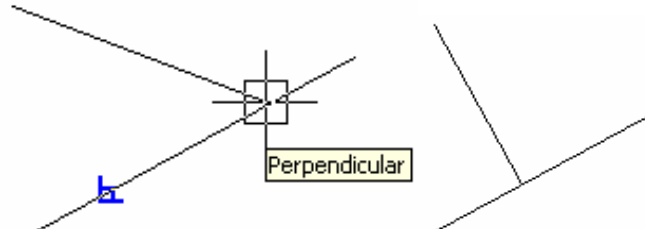
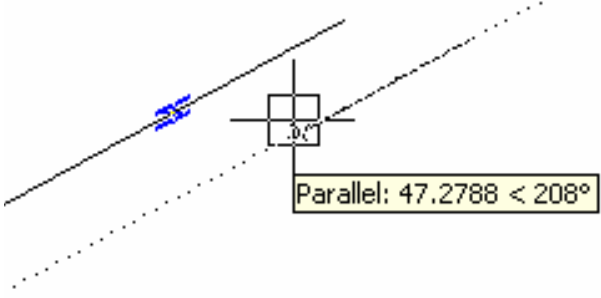
Object Snap mode Merupakan metode untuk memilih titik tertentu pada suatu obyek. Pada AutoCAD juga dilengkapi dengan bantuan visual bernama AutoSnap untuk membantu melihat dan menggunakan *object snaps* dengan lebih mudah. AutoSnap terdiri dari elemen-elemen berikut :

- Penanda (*markers*) : menunjukkan jenis *object snap* yang aktif dengan jalan menampilkan simbol pada lokasi tertentu.
- Identitas (*tooltips*): mengidentifikasi jenis *object snap* di lokasi *object snap* di bawah kursor.
- Magnet: menggerakkan kursor secara otomatis dan menguncinya pada titik *snap* saat kursor mendekati titik tersebut.
- Kotak analisa (*aperture box*): kotak yang mengelilingi *crosshairs* dan menentukan daerah yang akan dianalisa oleh AutoCAD untuk mencari *snap*.



Ketika kursor (*crosshair*) digerakkan, *aperture box* akan ikut bergerak. Daerah di sekitar *aperture box* akan dianalisa oleh AutoCAD dan AutoCAD akan menentukan jenis *snap* yang sesuai dengan daerah itu. Pada gambar di atas, kursor mendekati ujung garis, sehingga AutoCAD menganggap bahwa *snap* yang sesuai adalah jenis *snap to endpoint*.

Osnap	
Endpoint	
Midpoint	

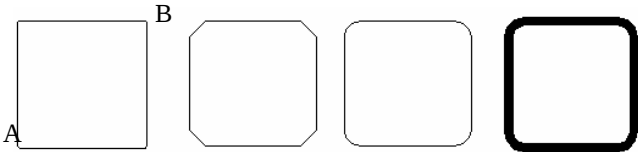
Intersection	
Center, Quadrant, Tangent	
Perpendicular	
Parallel	

1.4.7 Rectangle

Rectangle, *polygon* dan *ellipse* bersifat seperti *polyline*, yaitu terdiri dari 1 segmen utuh. Untuk membuat gambar persegi panjang (*Rectangle*) dapat dilakukan dengan menentukan 2 buah titik secara diagonal. Pada sistem koordinat UCS, sisi-sisi persegi panjang selalu

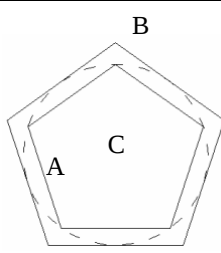
paralel terhadap sumbu X dan Y. Dalam proses pembuatannya, terdapat beberapa perintah modifikasi seperti *Chamfer*, *Fillet*, *Elevation*, *Thickness*, dan *Width*.

Chamfer dan *Fillet* digunakan untuk memodifikasi bentuk tepi persegi panjang, *Elevation* untuk mengubah elevasi atau ketinggian objek sepanjang sumbu Z, *Thickness* untuk mengubah tebal garis objek searah sumbu Z, dan *Width* digunakan untuk mengubah tebal garis pada bidang XY. Cara menggambar *Rectangle* dapat dicermati pada tabel di bawah ini:

Rectangle	
Rectangle	 Command: <code>_rectang</code> Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]: (A) Specify other corner point: (B)
Rectangle dengan chamfer	Command: <code>_rectang</code> Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]: C Specify first chamfer distance for rectangles: 10 Specify second chamfer distance for rectangles: 10 Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]: (A) Specify other corner point: (B)
Rectangle dengan fillet	Command: <code>rectang</code> Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]: F Specify fillet radius for rectangles: 10 Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]: (A) Specify other corner point: (B)
Rectangle dengan pengaturan tebal garis	Command: <code>rectang</code> Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]: W Specify line width for rectangles <0.0000>: 5 Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]: (A) Specify other corner point: (B)

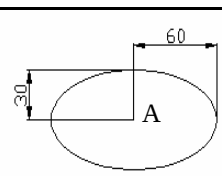
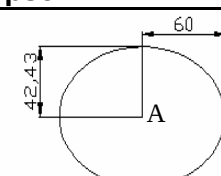
1.4.8 Polygon

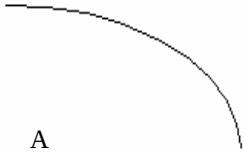
Polygon atau sisi banyak dibuat dengan bantuan lingkaran, yaitu ujung-ujungnya menyentuh lingkaran di bagian dalam (*Inscribed*) atau luar (*circumscribed*). Dapat pula dibuat dengan menentukan titik pertama dan kedua sebagai ukuran panjang sisi *polygon*.

Polygon	
A adalah polygon inscribed (di dalam lingkaran)	 Command: polygon Enter number of sides <5>: 5 Specify center of polygon or [Edge]: C Enter an option [Inscribed in circle/Circumscribed about circle] <I>: I atau C Specify radius of circle: 80
B adalah polygon circumscribed (di luar lingkaran)	

1.4.9 Ellipse

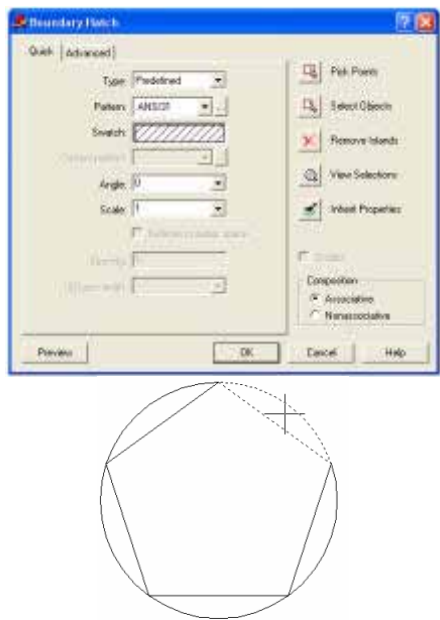
Pembuatan ellips diawali dengan penentuan titik pusat ellips, setelah itu jarak kedua sumbu ellips. Dapat pula dilakukan dengan menentukan panjang dan lebar ellips. Sumbu yang panjang sebagai sumbu mayor sedangkan sumbu yang pendek sebagai sumbu minor.

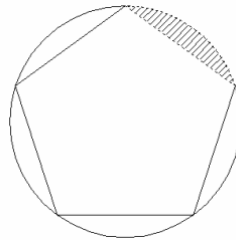
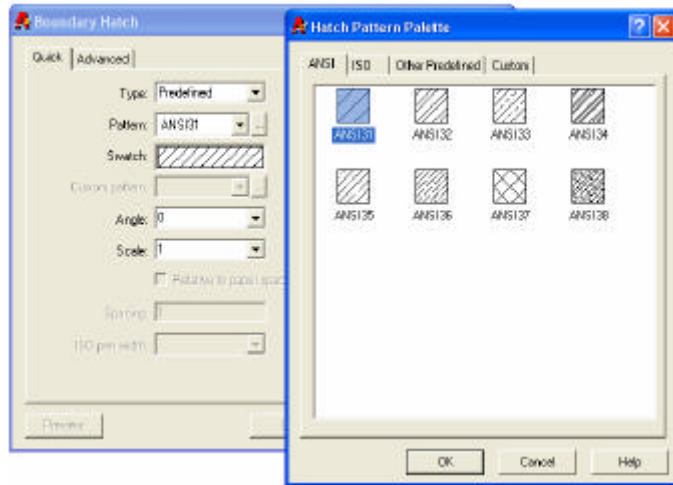
Ellipse	
  Command: ellipse Specify axis endpoint of ellipse or [Arc/Center]: C Specify center of ellipse: (A) Specify endpoint of axis: @60<0 Specify distance to other axis or [Rotation]: 30	
	Command: ellipse Specify axis endpoint of ellipse or [Arc/Center]: C Specify center of ellipse: (A) Specify endpoint of axis: @60<0 Specify distance to other axis or [Rotation]: R Specify rotation around major axis: 45

Input panjang sumbu 120	= Command: ellipse Specify axis endpoint of ellipse or [Arc/Center]: (A) Specify other endpoint of axis: @120<0 Specify distance to other axis or [Rotation]: 30
	 Command: ellipse Specify axis endpoint of ellipse or [Arc/Center]: A Specify axis endpoint of elliptical arc or [Center]: (A) Specify other endpoint of axis: @120<0 Specify distance to other axis or [Rotation]: 30 Specify start angle or [Parameter]: 180 Specify end angle or [Parameter/Included angle]: 270

1.4.10 Hatch

Hatch digunakan untuk mengarsir suatu gambar. Jenis arsir maupun metode pengarsiran dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti memberi titik pada bidang yang diarsir maupun melalui batas-batas bidang yang diarsir.



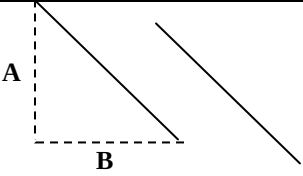
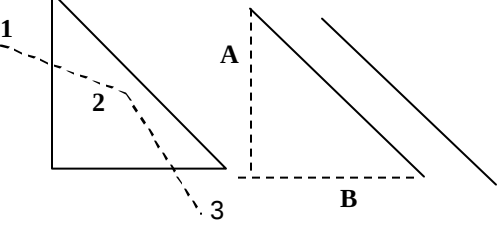
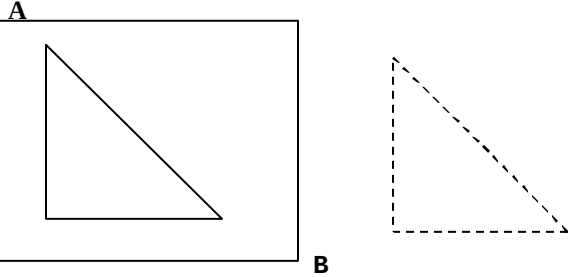


1.4.11 Modify

AutoCAD menyediakan fasilitas modifikasi (*Modify*) untuk mengubah baik ukuran, bentuk maupun lokasi suatu objek atau gambar. Modifikasi objek dapat dilakukan dengan memberikan salah satu perintah modifikasi kemudian memilih objek yang akan dimodifikasi atau sebaliknya. Modifikasi dapat pula dilakukan melalui jendela *Properties* dengan meng-klik ganda suatu objek. Perintah-perintah modifikasi terdiri dari *Erase*, *Copy*, *Mirror*, *Offset*, *Array*, *Move*, *Rotate*, *Scale*, *Stretch*, *Lengthen*, *Trim*, *Extend*, *Break*, *Chamfer*, *Fillet*, dan *Explode*.

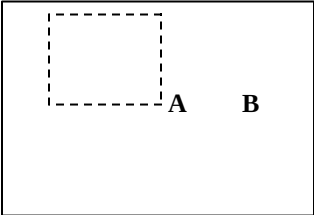
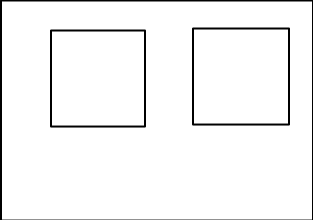
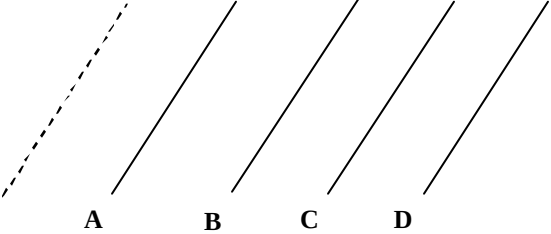
Perintah *Erase* digunakan untuk menghapus suatu objek. Objek dapat pula dihapus dengan perintah *Cut* atau dengan menekan tombol *Delete*. Objek yang sudah dihapus dapat dikembalikan dengan perintah *Undo*. Sedangkan perintah *Oops* akan mengembalikan semua objek yang baru dihapus dengan baik dengan perintah *Erase*, *Block* maupun *Wblock*.

Pemilihan objek yang akan dihapus dapat dilakukan melalui beberapa cara yaitu *Pick*, *Fence*, dan *Window* seperti tertera pada tabel di bawah ini:

Erase	
Pemilihan obyek menggunakan pick	 Command: erase Select objects: pilih garis A 1 found Select objects: pilih garis B 1 found, 2 total Select objects: ←┐
Pemilihan obyek menggunakan fence	 Command: erase Select objects: F First fence point: (1) Specify endpoint of line or [Undo]: (2) Specify endpoint of line or [Undo]: (3) Specify endpoint of line or [Undo]: ←┐ 2 found Select objects: ✕┐
Pemilihan obyek menggunakan window	 Command: erase Select objects: klik di (A) Specify opposite corner: klik di (B) 3 found Select objects: ←┐

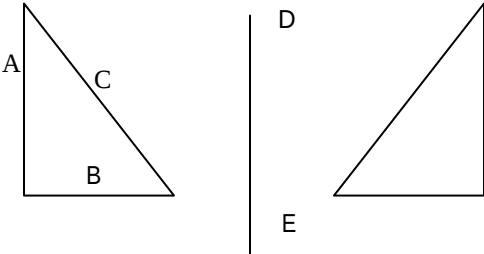
1.4.12 Mengcopy

Intruksi mengcopy dilakukan untuk memperbanyak gambar atau garis atau bidang. Objek yang akan dicopy diblok terlebih dahulu selanjutnya diperbanyak sesuai dengan kebutuhan. Perintah *Copy* dilakukan dengan menentukan jarak dan arah dari objek aslinya melalui dua titik (*base point* dan *second point of displacement*).

Copy	
Metode Base point dan Second point	  Command: copy Select objects: klik obyek 1 found Select objects:  Specify base point or displacement, or [Multiple]: (A) Specify second point of displacement or <use first point as displacement>: (B)
Metode Base point dan Multiple	 Command: _copy Select objects: klik obyek 1 found Select objects:  Specify base point or displacement, or [Multiple]: M Specify base point: (A) Specify second point of displacement or <use first point as displacement>: (B) Specify second point of displacement or <use first point as displacement>: (C) Specify second point of displacement or <use first point as displacement>: (D) Specify second point of displacement or <use first point as displacement>: 

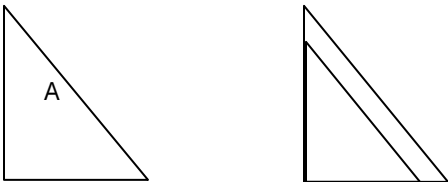
1.4.13 Mirror (pencerminan)

Pencerminan suatu gambar dilakukan bila kita menginginkan objek sama dalam posisi yang saling berhadapan atau bersebelahan tanpa merubah dimensi gambar aslinya. Pencerminan dapat dilakukan dalam berbagai sumbu, seperti sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z maupun sembarang sumbu asal ditentukan sebelumnya.

Mirror	
Garis D – E sebagai sumbu cermin	 Command: mirror Select objects: (A) 1 found Select objects: (B) 1 found, 2 total Select objects: (C) 1 found, 3 total Select objects: Specify first point of mirror line: (D) Specify second point of mirror line: (E) Delete source objects? [Yes/No] <N>:

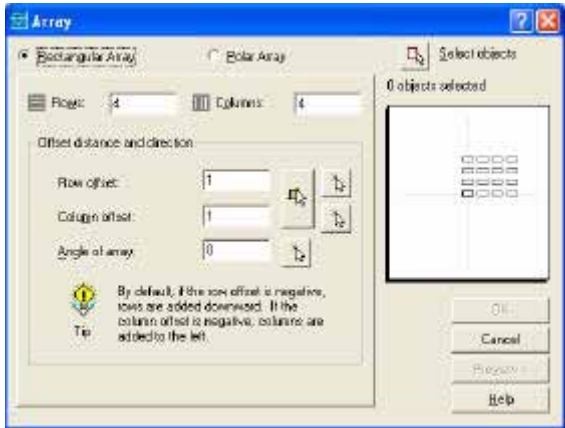
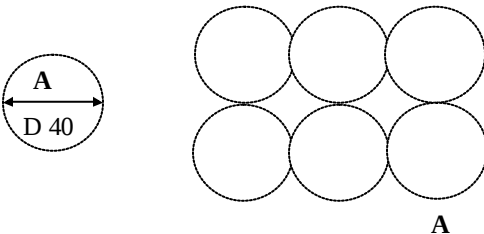
1.4.14 Offset

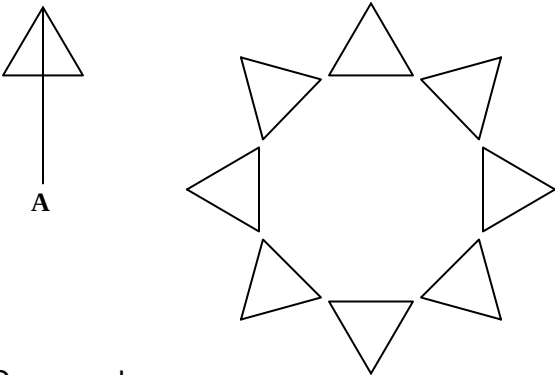
Perintah *Offset* digunakan untuk membuat objek baru yang paralel terhadap objek aslinya. Hasil *offset* untuk bidang tertutup dan lengkung seperti lingkaran dan busur dapat lebih besar atau lebih kecil dari objek aslinya, tergantung pada penentuan sisi *offset*.

Offset	
	 Command: offset Specify offset distance or [Through] <1.0000>: 5 Select object to offset or <exit>: klik obyek Specify point on side to offset: pilih sisi offset (A)

1.4.15 Array (Menggandakan)

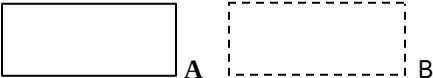
Intruksi *array* dapat digunakan untuk memperbanyak gambar atau objek. Langkah pertama dengan mengaktifkan perintah *array* lalu pilih objek atau gambar, selanjutnya menentukan jumlah duplikasi objek. *Array* dapat membentuk pola atau susunan gambar persegi panjang (*rectangular*) dengan mengatur jumlah baris dan kolom, jarak antar baris dan kolom serta ukuran sudut. *Array* juga dapat membentuk susunan melingkar (*polar*) dengan mengatur jumlah duplikasi objek baik searah jarum jam maupun berlawanan arah jarum jam sesuai dengan nilai sudut yang dimasukkan, positif atau negatif.

Array	
Jendela informasi Array	
Array Rectangular	 Command: array Select objects: (pilih lingkaran A) 1 found Select objects:  Enter the type of array [Rectangular/Polar] <R>: R Enter the number of rows (---) <1>: 2 Enter the number of columns () <1>: 3 Enter the distance between rows or specify unit cell (---): 40 Specify the distance between columns (): 40

Array Polar	 Command: array Select objects: klik obyek 1 found Select objects: ↵ Enter the type of array [Rectangular/Polar] <P>: P Specify center point of array: endp of (A) Enter the number of items in the array: 8 Specify the angle to fill (+=ccw, -=cw) <360>: 360 Rotate arrayed objects? [Yes/No] <Y>: Y
-------------	--

1.4.16 Move (memindah)

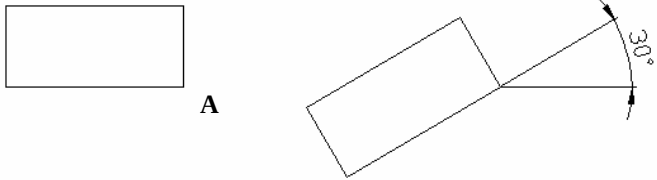
Perintah *Move* digunakan untuk memindah objek tanpa mengubah orientasi dan ukurannya. Objek dapat dipindahkan pada posisi yang tepat dengan menggunakan koordinat dan *object snaps* atau dengan menetapkan titik perpindahan dari titik A ke titik B.

Move	
	 Command: _move Select objects: 1 found Select objects: ↵ Specify base point or displacement: (A) Specify second point of displacement or <use first point as displacement>: (B)

1.4.17 Rotasi (memutar)

Perintah *Rotate* digunakan untuk memutar objek secara melingkar pada titik tertentu. Untuk menentukan sudut perputaran dapat dilakukan dengan memasukkan nilai sudut atau menetapkan titik

berikutnya. Nilai sudut positif akan memutar objek berlawanan arah atau searah jarum jam sesuai dengan pengaturan arah pada kotak dialog gambar.

Rotate	
	 Command: rotate Current positive angle in UCS: ANGDIR=counterclockwise ANGBASE=0 Select objects: pilih obyek 1 found Select objects:  Specify base point: endp of (A) Specify rotation angle or [Reference]: 30

1.4.18 *Scala* (memperbesar/memperkecil)

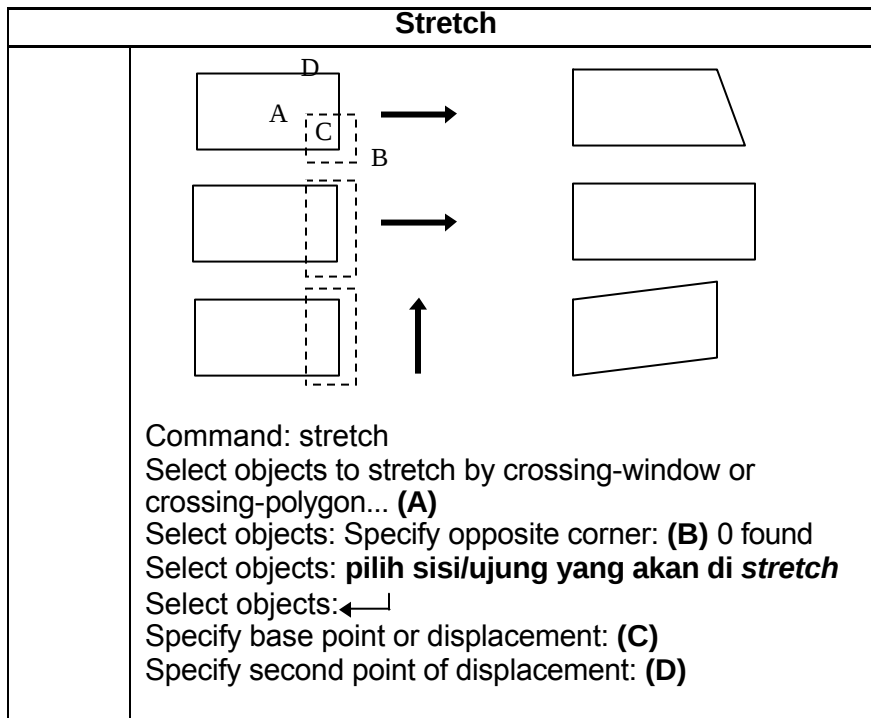
Perintah *Scale* digunakan untuk memperbesar atau memperkecil suatu objek secara proporsional. Perintah ini dilakukan dengan cara menentukan titik pusat dan panjang sebagai faktor skala sesuai dengan satuan yang digunakan atau dengan memasukkan nilai faktor skala melalui *command*. Dapat pula dilakukan dengan menetapkan ukuran panjang yang baru berdasar pada ukuran panjang awal.

Perintah *scale* dapat mengubah seluruh ukuran dimensi objek yang dipilih. Faktor skala yang lebih besar dari 1 akan memperbesar objek sedangkan faktor skala yang lebih kecil dari 1 akan memperkecil suatu objek.

Scale	
	 Command: scale Select objects: : pilih obyek 1 found Select objects:  Specify base point: endp of (A) Specify scale factor or [Reference]: 2

1.4.19 Stretch

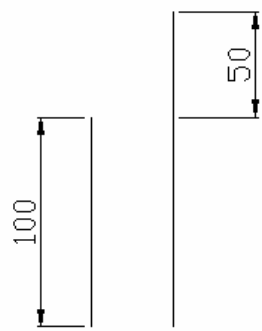
Perintah *Stretch* digunakan untuk mengubah posisi, bentuk atau ukuran objek dengan cara menseser atau merentangkannya berdasarkan titik awal dan titik perpindahannya. Pemilihan objek yang akan diseret dilakukan dengan memblok atau *crossing selection*. Agar lebih tepat, bisa dengan mengkombinasikan *grip editing* dengan *object snap*, *grid snap*, dan koordinat relatif.



1.4.20 Lengthen

Dimensi sudut suatu busur dan panjang suatu objek seperti garis terbuka, busur, *polyline*, busur eliptik, dan *spline* dapat diubah dengan perintah *Lengthen*. Beberapa cara penggunaan perintah *Lengthen* sebagai berikut:

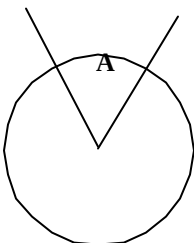
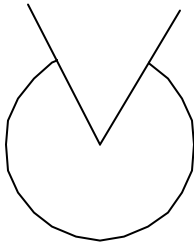
- menarik titik akhir objek secara dinamis.
- Menentukan ukuran panjang atau sudut yang baru sebagai persentase dari panjang total atau sudut aslinya.
- Menentukan pertambahan panjang atau sudut yang diukur dari titik akhir.
- Menentukan panjang total absolut atau sudut absolut suatu objek

Lengthen	
DELTA Setiap obyek yang di lengthen akan bertambah/berkurang sesuai dengan nilai delta length yang dimasukkan	 Command: <code>_lengthen</code> Select an object or [DElta/Percent/Total/DYnamic]: (pilih obyek) Current length: 100.0000 Select an object or [DElta/Percent/Total/DYnamic]: DE Enter delta length or [Angle] <0.0000>: 50 Select an object to change or [Undo]: (pilih obyek)
PERCENT Setiap obyek yang di lengthen akan berubah panjangnya sesuai dengan prosentasenya	Command: <code>_lengthen</code> Select an object or [DElta/Percent/Total/DYnamic]: p Enter percentage length <100.0000>: 50 Select an object to change or [Undo]: (pilih obyek)
TOTAL Setiap obyek yang di lengthen akan berubah panjangnya sesuai nilai total length	Command: <code>_lengthen</code> Select an object or [DElta/Percent/Total/DYnamic]: Current length: 100.0000 Select an object or [DElta/Percent/Total/DYnamic]: T Specify total length or [Angle] <100.0000>: 200 Select an object to change or [Undo]: (pilih obyek)
DYNAMIC Setiap obyek yang di lengthen akan berubah panjangnya sesuai posisi kursor	Command: <code>_lengthen</code> Select an object or [DElta/Percent/Total/DYnamic]: DY Select an object to change or [Undo]: Specify new end point: (pilih obyek)

1.4.21 Trim (memotong)

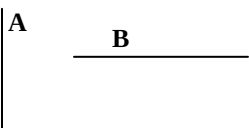
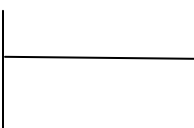
Trim digunakan untuk memotong objek yang dibatasi oleh objek lainnya. Batas pemotongan dapat berupa garis, busur, lingkaran, polyline, ellips, spline, region, dan sebagainya.

Pada perintah Trim, objek yang telah dipotong ataupun objek baru dapat diperpanjang kembali tanpa keluar dari perintah Trim, yaitu dengan menekan tombol Shift kemudian memilih objek yang akan diperpanjang.

Trim	
	
Command: trim Current settings: Projection=UCS Edge=Extend Select cutting edges ... Select objects: Specify opposite corner: 3 found (pilih obyek) Select objects: ← Select object to trim or [Project/Edge/Undo]: (pilih A) Select object to trim or [Project/Edge/Undo]: ←	

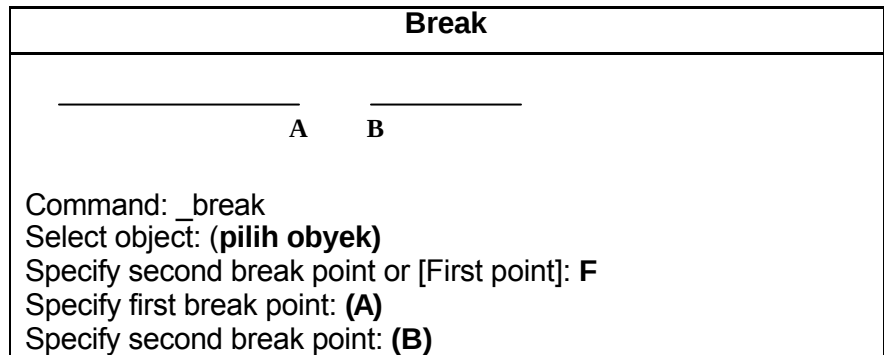
1.4.22 Extend (memperpanjang)

Extend digunakan untuk memperpanjang suatu objek hingga batas objek yang ditentukan. Operasi perintah Extend sama seperti perintah Trim.

Extend	
	
Command: _extend Current settings: Projection=UCS Edge=Extend Select boundary edges ... Select objects: 1 found (A) Select objects: ← Select object to extend or [Project/Edge/Undo]: (B) Select object to extend or [Project/Edge/Undo]: ←	

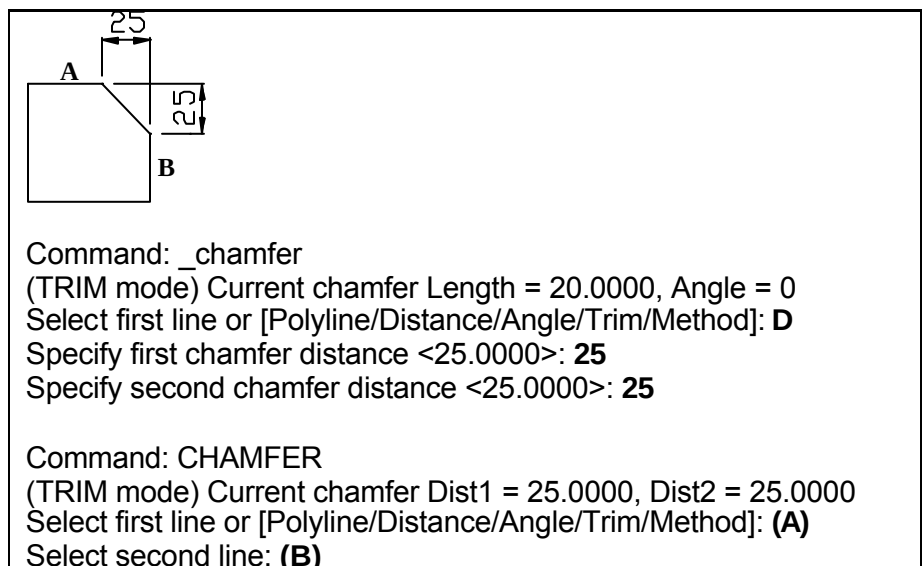
1.4.23 Break (memotong)

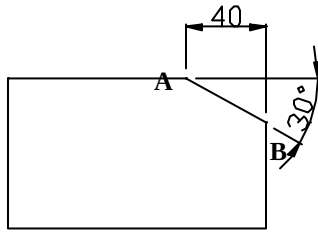
Perintah *Break* digunakan untuk membuat celah (*gap*) pada sebuah objek seperti busur, garis, lingkaran, *polyline*, dan sebagainya yang menghasilkan dua objek terpisah. Perintah *Break* sering digunakan untuk memasukkan teks atau blok pada celah diantara dua objek. Pemotongan suatu objek dengan perintah *Break* dapat dilakukan dengan memilih objek sebagai titik potong pertama dan kemudian menentukan titik potong kedua, atau dengan cara memilih seluruh objek dan kemudian menentukan titik-titik potongnya.



1.4.24 Chamfer (membuat garis potong lurus)

Chamfer merupakan perintah untuk membuat garis diantara dua garis yang tidak paralel. Biasanya digunakan untuk membuat bentuk baji atau tirus pada bagian tepi objek. *Chamfer* dapat dilakukan dengan metode penentuan jarak (*distance*) atau metode penentuan sudut (*angle*).





Command: CHAMFER

(TRIM mode) Current chamfer Dist1 = 10.0000, Dist2 = 10.0000

Select first line or [Polyline/Distance/Angle/Trim/Method]: **A**

Specify chamfer length on the first line <20.0000>: **40**

Specify chamfer angle from the first line <0>: **30**

Command:

CHAMFER

(TRIM mode) Current chamfer Length = 40.0000, Angle = 30

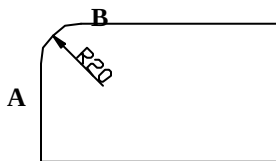
Select first line or [Polyline/Distance/Angle/Trim/Method]: **(A)**

Select second line: **(B)**

1.4. 25 Fillet (membuat radius)

Fillet digunakan untuk membentuk busur dengan radius tertentu sekaligus menghubungkan dua buah objek baik paralel maupun tidak paralel.

Fillet



Command: fillet

Current settings: Mode = TRIM, Radius = 10.0000

Select first object or [Polyline/Radius/Trim]: **R**

Specify fillet radius <10.0000>: **20**

Command: FILLET

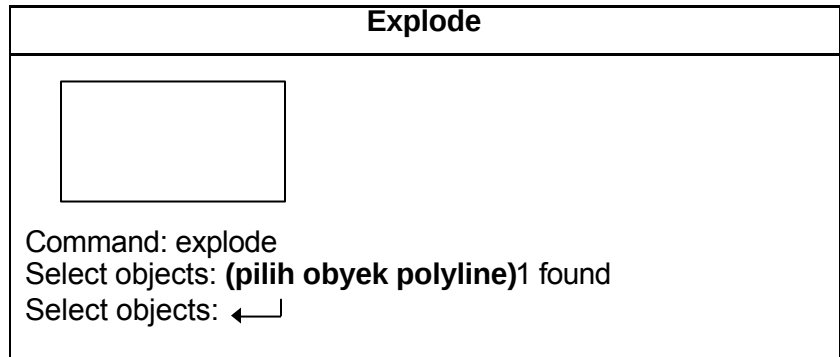
Current settings: Mode = TRIM, Radius = 20.0000

Select first object or [Polyline/Radius/Trim]: **(A)**

Select second object: **(B)**

1.4.26 Explode

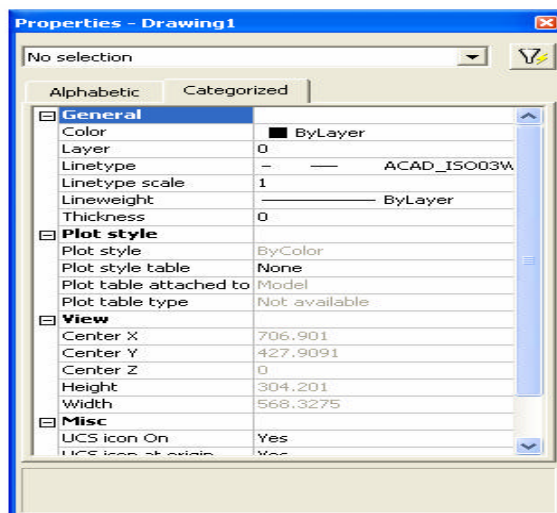
Perintah *Explode* digunakan untuk menguraikan atau memecahkan gabungan objek seperti *block* menjadi beberapa komponen terpisah.

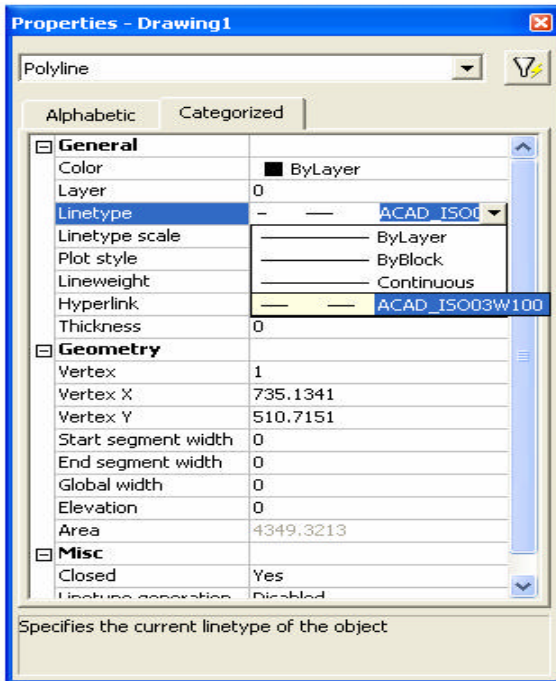


1.4.27 Editing dengan mengubah properties

Objek yang dibuat memiliki beragam informasi seperti geometri, ukuran, jenis garis, warna, posisi, *layer* dan lain-lain. Semua informasi tersebut dapat diperoleh dan diubah melalui jendela *properties*. Jika memilih beberapa objek sekaligus, maka jendela *properties* hanya akan menampilkan informasi secara umum saja.

Properties suatu objek dapat ditampilkan secara alfabetis atau berdasar kategori tergantung pada menu *tab* yang dipilih. Untuk mengubah *properties* suatu objek dapat dilakukan dengan memasukkan nilai baru; memilih nilai yang telah tersedia pada *list*; mengubah nilai property pada kotak dialog; atau dengan menggunakan *pick point button* untuk mengubah nilai koordinat.





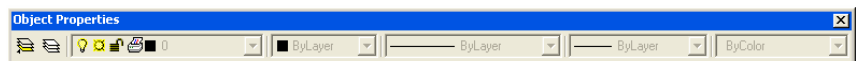
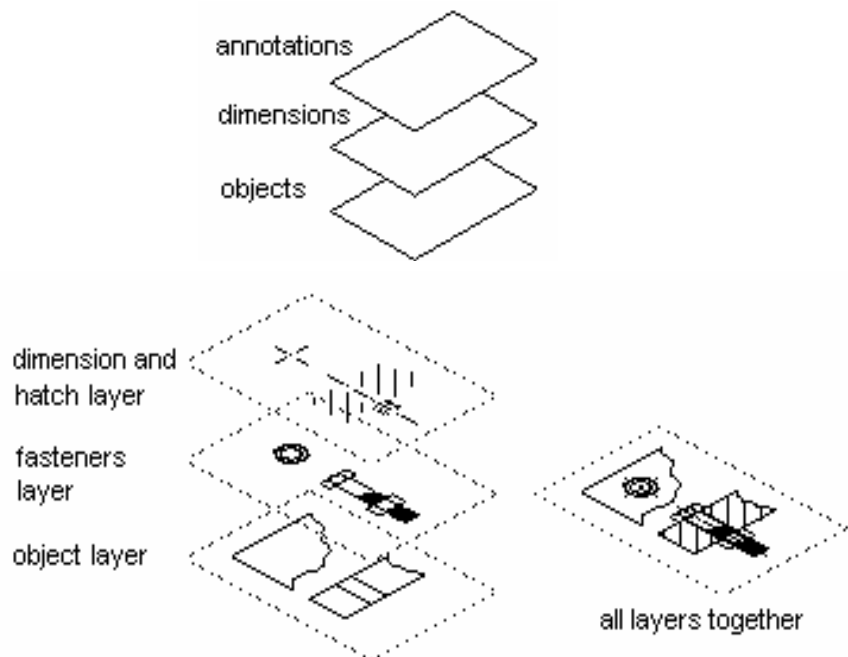
1.4.28 Layer

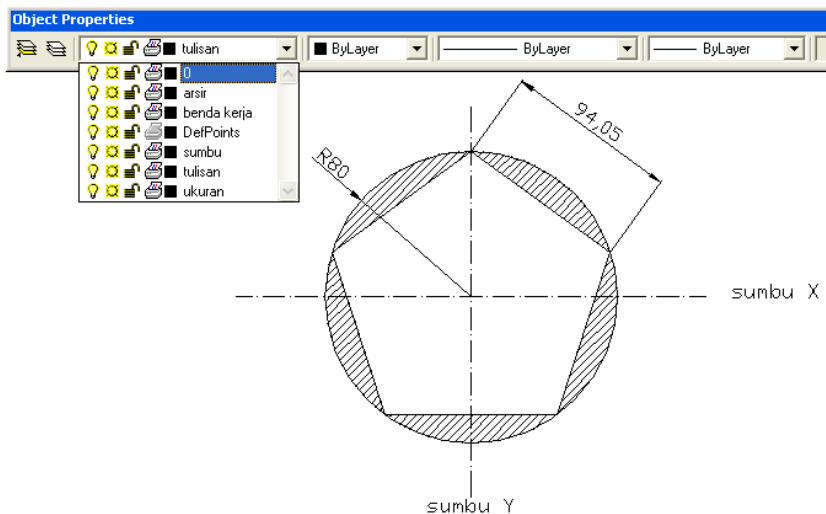
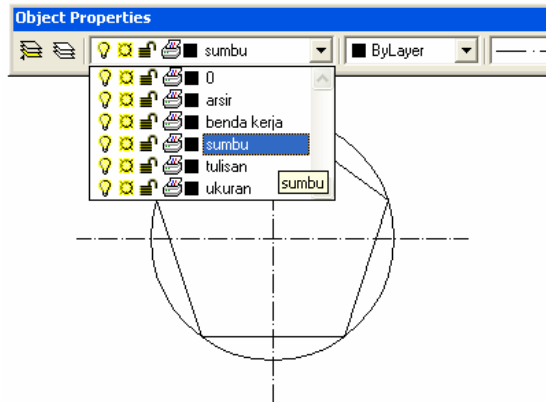
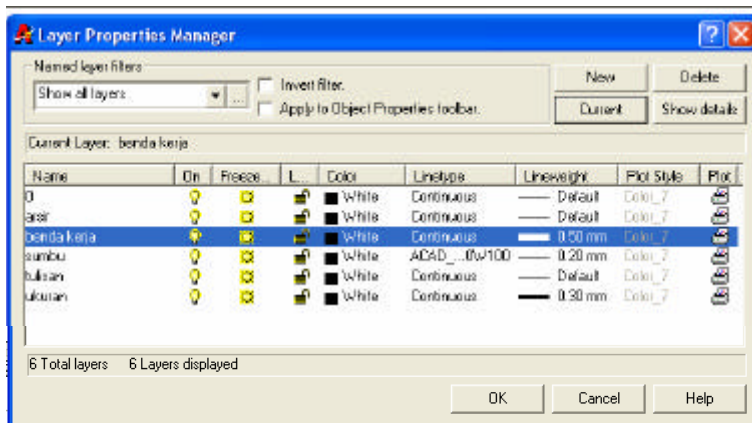
Bekerja dengan *layer* pada dasarnya obyek/gambar di AutoCAD terdiri atas obyek-obyek atau gambar-gambar pada lembaran-lembaran transparan. Ketika lembaran-lembaran itu ditumpuk menjadi satu akan muncul obyek/gambar yang utuh. *Layer* adalah lapisan-lapisan bidang gambar, dimana setiap lapisan dapat diatur tersendiri. Kita sebenarnya selalu menggunakan *layer* saat bekerja dengan AutoCAD, yaitu *default layer* atau *layer* yang kita tentukan sendiri.

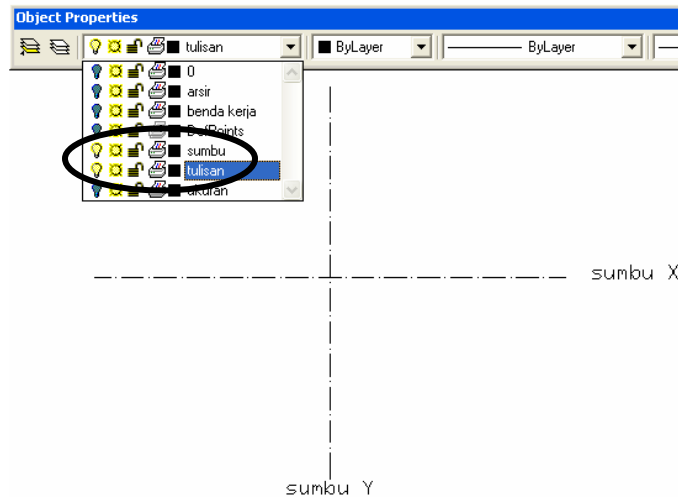
Setiap *layer* mempunyai informasi warna (*color*), jenis garis (*linetype*), tebal garis (*lineweight*), dan *plot style*. *Layer* digunakan untuk mengorganisasikan gambar ke dalam kelompok-kelompok obyek. Dengan bantuan *layer* kita akan lebih mudah dalam bekerja dan mengedit. Misalnya: dengan membuat *layer* garis sumbu (*color*, *linetype*, *lineweight*), maka setiap kali menggambar sumbu kita tidak perlu menentukan lagi *color*, *linetype*, dan *lineweight*-nya. Kita hanya perlu mengaktifkan *layer* garis sumbu. Kita juga dapat menetapkan *plot style* pada *layer* yang ada. *Plot style* akan menentukan bagaimana gambar yang dibuat akan diplot/dicetak, misalnya dicetak dengan skala 50%.

1.4.29 Beberapa fasilitas pada perintah layer antara lain:

1. membuat dan menamai *layer*
2. mengaktifkan sebuah *layer*
3. mengaktifkan *layer* milik suatu obyek
4. mengurutkan *layer*
5. mengatur visibilitas *layer*
6. mengunci dan membuka *layer*
7. menetapkan warna/color pada *layer*
8. menetapkan jenis garis/*linetype* pada *layer*
9. menetapkan tebal garis/*lineweight* pada *layer*
10. menetapkan *plot style* to pada *layer*
11. menyaring *layer*
12. mengganti nama/*renaming layer*
13. menghapus *layer*

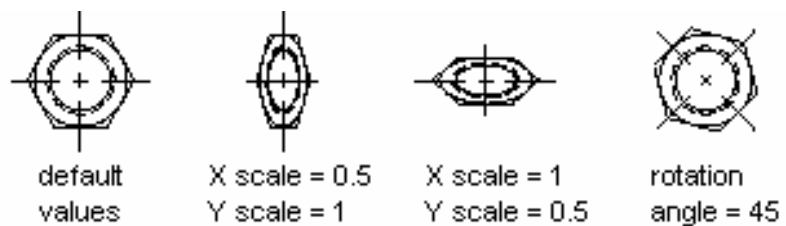






1.4.30 Bekerja dengan *Blocks*

Block merupakan kumpulan obyek yang dapat digabungkan untuk membentuk obyek tunggal. *Block* tersebut dapat disisipkan atau dimasukkan ke dalam gambar, dapat diskala, diputar dan lain sebagainya. *Block* akan mempercepat proses menggambar. Contohnya, kita dapat menggunakan *block* untuk membuat perpustakaan yang berisi obyek-obyek yang sering digabungkan seperti: simbol, komponen, atau bagian-bagian standar. Kita hanya perlu menyisipkan obyek tanpa perlu menggambar obyek yang sama berulang kali.



Gambar 3. Jenis Simbol Bekerja dengan *Block*

1.5 Tes formatif

1.5.1 Soal-Soal

- Mengapa CAD dipelajari dalam dunia teknik?
- Sebutkan dan jelaskan koordinat pada AutoCAD?
- Sebutkan perintah menggambar dan editing dengan AutoCAD beserta dengan fungsinya?

1.5.2 Kunci Jawaban

- Teknologi CAD menjadi dasar untuk beragam kegiatan keteknikan seperti gambar, desain, analisa, dan proses manufaktur. CAD memudahkan proses dalam menggambar atau mendesain karena telah menggunakan komputerisasi, sehingga kesalahan yang terjadi mudah dibenarkan. Sekarang semua industri menggunakan CAD dalam menggambar, desain, analisa bahkan uji kekuatan bahan dari desain yang telah dibuat. Seorang ahli CAD sangat dibutuhkan dalam dunia industri.
- AutoCAD menggunakan sistem koordinat sebagai berikut :
 - Sistem Koordinat Absolut**
Sistem koordinat absolut menggunakan titik pusat sumbu x, y, z (0,0,0) sebagai acuan utama. Artinya semua posisi titik dari suatu obyek diukur jaraknya dari titik pusat (0,0,0). Bila menggambar dalam 2 dimensi, koordinat z dapat diabaikan atau tidak ditulis.
 - Sistem Koordinat Relatif**
Dalam sistem ini posisi suatu titik tidak ditentukan dari pusat sumbu x, y, z (0,0,0) tetapi menggunakan acuan titik terakhir. Artinya koordinat suatu titik ditentukan relatif terhadap koordinat titik sebelumnya. Titik terakhir akan dianggap sebagai pusat sumbu (0,0,0) oleh titik terbaru, demikian juga titik terbaru tersebut akan menjadi pusat sumbu (0,0,0) bagi titik yang lebih baru lagi.
 - Sistem Koordinat Polar**
Sistem koordinat polar menggunakan jarak dan sudut untuk menentukan suatu posisi. Penentuan jarak bisa dilakukan dengan metode absolut terhadap titik pusat sumbu maupun relatif terhadap titik terakhir. Sedangkan sudut diukur terhadap sumbu x.
Default AutoCAD menggunakan WCS atau *World Coordinate System*. Selain itu juga terdapat fasilitas UCS (*User Coordinate System*) yaitu sistem koordinat yang dapat dipindahkan posisinya dan diputar arah sumbunya. Sistem koordinat dalam AutoCAD dapat dibuat dalam bentuk tabel sebagai berikut.

- c. Perintah menggambar dengan AutoCAD dan perintah untuk editing yang umum digunakan sebagai berikut :
- 1) Line = membuat garis dengan memasukkan posisi titik awal dan dilanjutkan titik berikut dengan hasil garis yang bukan satu kesatuan.
 - 2) Polyline = membuat garis dengan satu kesatuan
 - 3) Arc = membuat busur.
 - 4) Circle = membuat lingkaran pada satu bidang dengan sebuah titik pusat.
 - 5) Rectangle = membuat persegi panjang dengan 2 buah titik secara diagonal.
 - 6) Polygon = membuat segi banyak (polygon).
 - 7) Ellipse = membuat lingkaran ellipse.
 - 8) Hatch = membuat arsiran suatu bidang gambar sesuai dengan bentuk arisan yang diinginkan.
 - 9) Offset = membuat objek baru yang paralel dengan objek asli.
 - 10) Array = memperbanyak atau menggandakan objek, baik secara vertikal dan horisontal atau arah melingkar.
 - 11) Scale = memperbesar atau memperkecil objek.
 - 12) Stretch = mengubah posisi, bentuk dan ukuran objek sesuai yang diinginkan.
 - 13) Trim = memotong objek.
 - 14) Extend = memperpanjang objek.
 - 15) Chamfer = membuat garis potong dengan bentuk lurus pada dua bidang/garis dengan sudut tegak lurus.
 - 16) Fillet = membuat radius.
 - 17) Spline = membuat bentuk seperti gelombang berdasarkan titik.
 - 18) Region = mengabungkan objek pada satu bidang.
 - 19) Explode = menguraikan atau memecahkan gabungan objek.

1.5 Membuat Gambar Solid 3D Dengan AutoCAD

1.5.1 Menggambar dengan 3D Solids

Untuk membuat objek solid 3D, selain diperlukan penguasaan perintah-perintah dasar gambar dan modifikasi objek 2D juga diperlukan penguasaan penggunaan *User Coordinat System (UCS)* dan menu *view*.

Objek solid 3D meliputi volume total sebuah benda. Objek solid merupakan salah satu model 3D yang sangat informatif dan mudah dipahami. Proses pembentukan dan perbaikan (*editing*) bentuk-bentuk solid yang kompleks juga lebih mudah.

Proses pembuatan benda solid dapat dilakukan melalui fasilitas bentuk dasar solid seperti *box*, *cone*, *cylinder*, *sphere*, *torus*, dan *wedge* atau melalui proses ekstruksi (*Extrude*) benda 2D, atau dapat dilakukan melalui proses *revolving* objek 2D.

Jika suatu objek solid sudah terbentuk, maka dapat dibuat bentuk lain yang lebih kompleks dengan mengkombinasikan objek-objek solid tersebut. Objek-objek solid dapat digabungkan (*joint*) dengan perintah *union* ataupun dikurangkan (*subtract*) dari objek solid lainnya.

Objek solid dapat dimodifikasi menjadi bentuk tertentu melalui beberapa perintah seperti *fillet*, *chamber*, atau *color edges*. Permukaan solid mudah dimanipulasi karena tidak memerlukan penggambaran bentuk baru maupun operasi *boolean* pada objek solid tersebut. Pada AutoCAD juga terdapat perintah untuk mengiris (*slice*) suatu solid menjadi dua bagian atau mendapatkan penampang 2D dari solid 3D.

Perintah-perintah yang digunakan untuk membuat objek solid 3D diuraikan sebagai berikut:

1. BOX

Untuk membuat objek kotak solid dapat dilakukan dengan menggunakan perintah BOX. Bidang alas selalu paralel dengan sumbu XY. Selain itu, objek kotak dapat dibuat dari objek segiempat melalui perintah RECTANG atau objek *polyline* tertutup melalui perintah PLINE. Kemudian diekstruksi dengan perintah EXTRUDE.

2. CONE

Untuk membentuk gambar konis solid, dapat dilakukan dengan perintah CONE. Dapat pula dilakukan dengan membuat gambar lingkaran 2D kemudian diekstruksi dengan sudut tertentu sepanjang sumbu Z.

3. CYLINDER

Objek silinder solid dapat dibentuk dengan perintah CYLINDER. Dasar silinder dapat berbentuk melingkar atau eliptik. Dapat pula dilakukan dengan membuat gambar lingkaran 2D kemudian diekstruksi dengan tinggi tertentu sepanjang sumbu Z.

4. SPHERE
Perintah SPHERE digunakan untuk membuat gambar bola solid yang didasarkan pada titik pusat dan radius atau diameter.
5. TORUS
Perintah TORUS digunakan untuk membuat objek cincin solid atau *donut*.
6. CIRCLE
Perintah CIRCLE digunakan untuk membuat lingkaran 2D.
7. PLINE
Perintah PLINE digunakan untuk membentuk objek *polyline* 2D.
8. RECTANG
Perintah RECTANG digunakan untuk membuat segiempat 2D.
9. EXTRUDE
Perintah EXTRUDE digunakan untuk membentuk solid 3D primitif dengan mengekstruksi objek 2D.
10. INTERFERE
Perintah INTERFERE digunakan untuk membuat komposit solid 3D dari dua atau lebih objek solid.
11. INTERSECT
Perintah INTERSECT digunakan untuk membuat komposit solid dari interseksi dua atau lebih objek solid dan menghilangkan area di luar interseksi.
12. PEDIT
Perintah PEDIT digunakan untuk meng-edit *polyline* atau *polygon* 3D.
13. REVOLVE
Perintah REVOLVE digunakan untuk membuat objek solid dengan cara melingkarkan objek 2D pada sumbu tertentu.
14. SUBTRACT
Perintah SUBTRACT digunakan untuk menggabungkan beberapa solid sekaligus mengurangkannya.
15. UNION
Perintah UNION digunakan untuk menggabungkan beberapa solid sekaligus menambahkannya.

1.5.1.1 Membuat BOX

Langkah-langkah penggambaran BOX adalah sebagai berikut:

1. Dari Menu Draw, pilih **Solids** → **Box**

atau dari Toolbar Solids, klik 

atau dari Command line, ketik **BOX** ↵

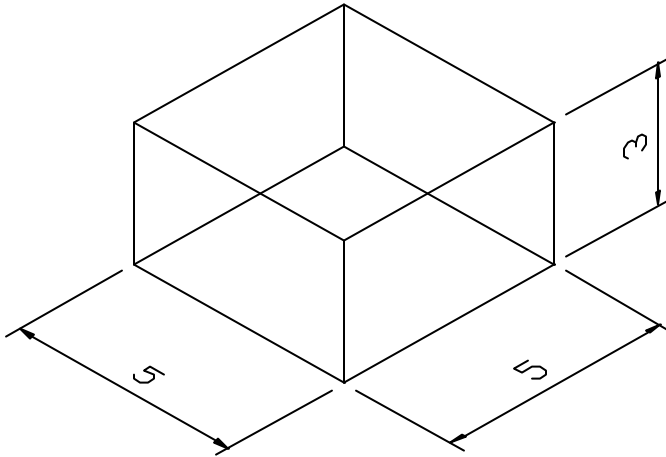
2. Tentukan posisi sudut pertama.
3. Tentukan posisi sudut berikutnya (panjang, lebar, tinggi).

Misalnya:

Command: BOX ↵

Specify corner of box or [CEnter]<0,0,0>: (klik sembarang)

Specify corner or [Cube/Length]: @5,5,2 ↵



Gambar 4. Benda Kerja Berupa Box

1.5.1.2 Membuat **CONE**

Langkah-langkah penggambaran CONE dengan dasar melingkar adalah sebagai berikut:

1. Dari Menu Draw, pilih **Solids** → **Cone**

atau dari Toolbar Solids, klik 

atau dari Command line, ketik **CONE** ↵

2. Tentukan titik pusat.
3. Tentukan radius atau diameter.
4. Tentukan tinggi.

Misalnya:

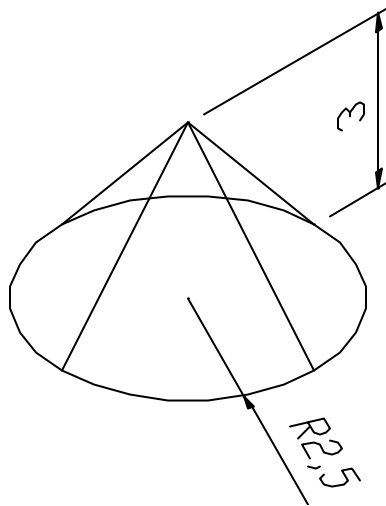
Command: CONE ↵

Current wire frame density: ISOLINES=4

Specify center point for base of cone or [Elliptical] <0,0,0>: (klik sembarang)

Specify radius for base of cone or [Diameter]: 2.5 ↵

Specify height of cone or [Apex]: 3 ↵



Gambar 5. Benda Kerja Berupa **CONE**

1.5.1.3 Membuat **CYLINDER**

Langkah-langkah penggambaran **CYLINDER** dengan dasar melingkar adalah sebagai berikut:

1. Dari Menu Draw, pilih **Solids** → **Cylinder**

atau dari Toolbar Solids, klik 

atau dari Command line, ketik **CYLINDER** ↵

2. Tentukan titik pusat.
3. Tentukan radius atau diameter.
4. Tentukan tinggi.

Misalnya:

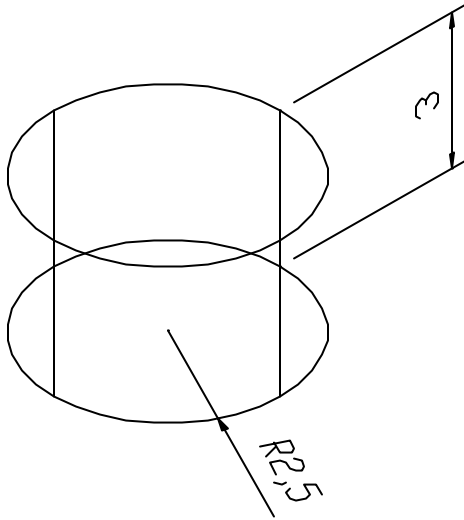
Command: **CYLINDER** ↵

Current wire frame density: **ISOLINES=4**

Specify center point for base of cylinder or [Elliptical] <0,0,0>: (*klik sembarang*)

Specify radius for base of cylinder or [Diameter]: **2.5** ↵

Specify height of cylinder or [Center of other end]: **3** ↵



Gambar 6. Benda Kerja Berupa Silinder

1.5.1.4 Membuat **SPHERE**

Langkah-langkah penggambaran **SPHERE** adalah sebagai berikut:

1. Dari Menu Draw, pilih **Solids** → **Sphere**

atau dari Toolbar Solids, klik 
atau dari Command line, ketik **SPHERE** ↵

2. Tentukan titik pusat sphere.
3. Tentukan radius atau diameter *sphere*.

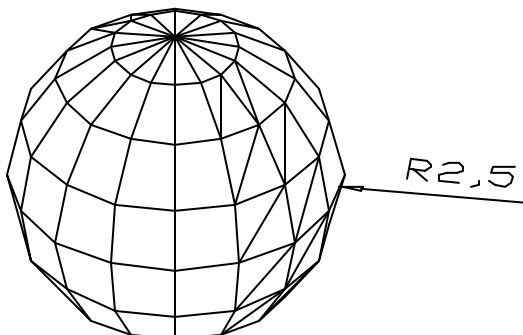
Misalnya:

Command: SPHERE ↵

Current wire frame density: ISOLINES=4

Specify center of sphere <0,0,0>: (*klik sembarang*)

Specify radius of sphere or [Diameter]: 2.5 ↵



Gambar 7. Benda Kerja Berupa Bola

1.5.1.5 Membuat **TORUS**

Langkah-langkah penggambaran **TORUS** adalah sebagai berikut:

1. Dari Menu Draw, pilih **Solids** → **Torus**

atau dari Toolbar Solids, klik 

atau dari Command line, ketik **TORUS** ↵

2. Tentukan titik pusat torus.
3. Tentukan radius atau diameter torus.
4. Tentukan radius atau diameter tube.

Misalnya:

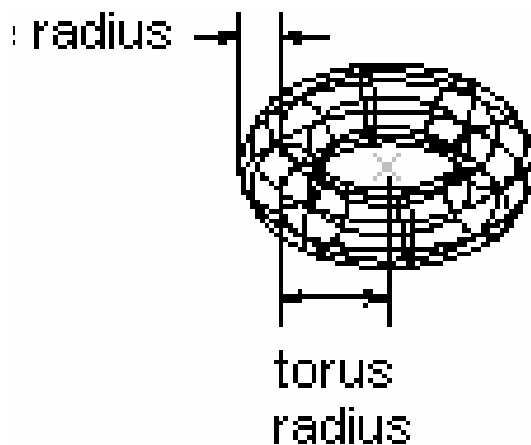
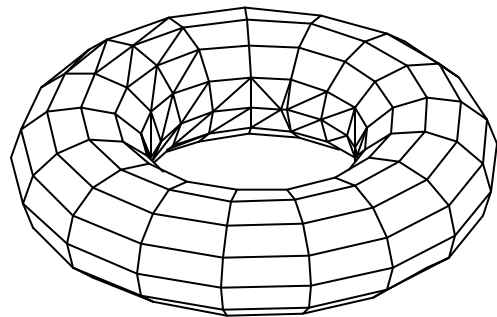
Command: **TORUS** ↵

Current wire frame density: **ISOLINES=4**

Specify center of torus <0,0,0>: (*klik sembarang*)

Specify radius of torus or [Diameter]: **2.5** ↵

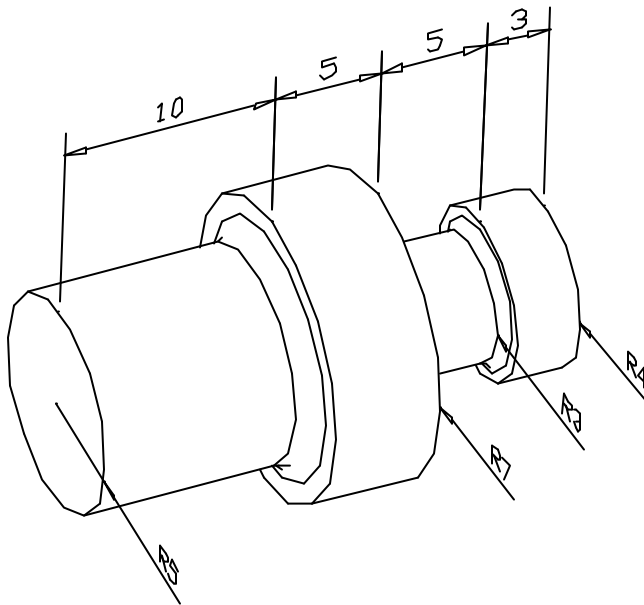
Specify radius of tube or [Diameter]: **1** ↵



Gambar 8. Benda Kerja Berupa Torus

1.5.2 Menggambar Benda Kerja

1.5.2.1 Poros Bertingkat

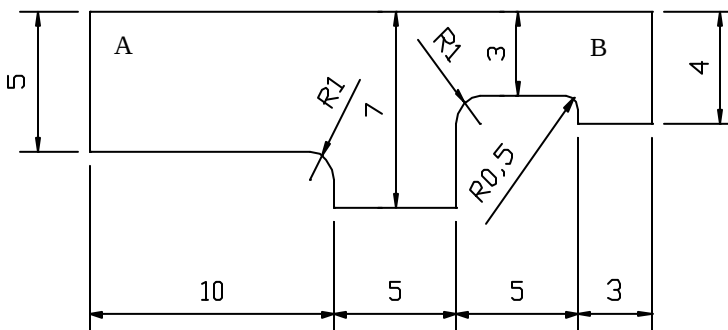


Gambar 9. Benda Kerja Poros Bertingkat

Penyelesaian

Gambar ini dapat diselesaikan dengan berbagai cara. Salah satunya dengan cara membuat model 2D tertutup terlebih dahulu kemudian di *REVOLVE* menjadi objek 3D Solid. Langkah penyelesaian sebagai berikut:

- Dari tampak atas, buat model 2D menggunakan perintah *POLYLINE* dan *FILLET* seperti gambar di bawah.



Gambar 10. Benda Kerja Potongan A-B

Command: **PLINE** ↵

Specify start point: <klik sembarang>

Current line-width is 0.0000

Specify next point or [Arc/Halfwidth/Length/Undo/Width]: @0,-5 ↵

Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]:
@10,0 ↵

Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]:
@0,-2 ↵

Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]:
@5,0 ↵

Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]:
@0,4 ↵

Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]:
@5,0 ↵

Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]:
@0,-1 ↵

Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]:
@3,0 ↵

Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]:
@0,4 ↵

Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: c ↵

- b. Gunakan perintah REVOLVE agar objek 2D menjadi 3D Solid.

Command: **REVOLVE** ↵

Current wire frame density: ISOLINES=4

Select objects: <klik model 2D>

Select objects: ↵

Specify start point for axis of revolution or
define axis by [Object/X (axis)/Y (axis)]: <klik di titik A>

Specify endpoint of axis: <klik di titik B>

Specify angle of revolution <360>: ↵

- c. Ubah pandangan menjadi SW Isometric dari Menu **View → 3D Views → SW Isometric**

- d. Berikan perintah HIDE untuk melihat hasilnya.

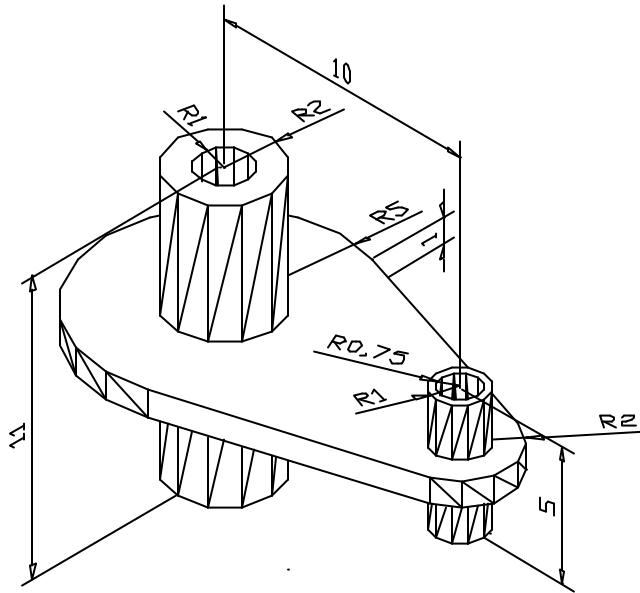
- e. Hasil gambar masih terlihat garis-garis isoline. Untuk menghilangkannya, gunakan perintah DISPSILH berikut:

Command: **DISPSILH** ↵

Enter new value for DISPSILH <0>: 1 ↵

- f. Berikan kembali perintah HIDE untuk melihat hasilnya.

1.5.2.2 Stang Torak

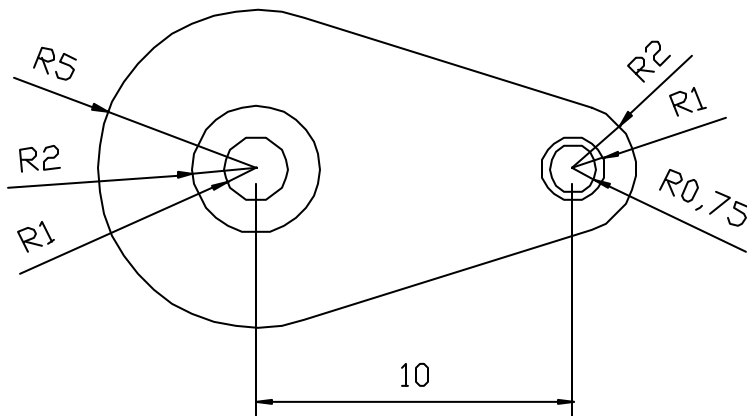


Gambar 11. Benda Kerja Stang Torak

Penyelesaian

Seperti pada contoh sebelumnya, gambar ini dapat diselesaikan dari model 2D digabung dengan operasi *Boolean* untuk membentuk objek solid 3D. Berikut langkah penyelesaiannya.

- Dari tampak atas, buat beberapa lingkaran dan garis-garis hubung sekaligus membentuk sebuah polyline seperti gambar di bawah.



Gambar 12. Bagian Benda Kerja Stang Torak

Command: **LINE** ↵
Specify first point: <klik sembarang>
Specify next point or [Undo]: @10,0 ↵
Specify next point or [Undo]: ↵

Command: **CIRCLE** ↵
Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: <klik di ujung kiri garis>
Specify radius of circle or [Diameter] <1.0000>: 5 ↵

Command: **CIRCLE** ↵
Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: <klik di pusat lingkaran>
Specify radius of circle or [Diameter] <5.0000>: 2 ↵

Command: **CIRCLE** ↵
Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: <klik lagi di pusat lingkaran>
Specify radius of circle or [Diameter] <2.0000>: 1 ↵

Command: **CIRCLE** ↵
Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: <klik di ujung kanan garis>
Specify radius of circle or [Diameter] <1.0000>: 2 ↵

Command: **CIRCLE** ↵
Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: <klik di pusat lingkaran>
Specify radius of circle or [Diameter] <2.0000>: 1 ↵

Command: **CIRCLE** ↵
Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: <klik lagi di pusat lingkaran tadi>
Specify radius of circle or [Diameter] <1.0000>: 0.5 ↵

Command: **LINE** ↵
Specify first point: _tan to <klik bagian atas lingkaran jari-jari 5>
Specify next point or [Undo]: _tan to <klik bagian atas lingkaran sebelah kanan jari-jari 2>
Specify next point or [Undo]: ↵

Command: **MIRROR** ↵
Select objects: <klik garis hubung antar lingkaran>
Specify first point of mirror line: <klik pusat lingkaran sebelah kiri>

Specify second point of mirror line: <klik pusat lingkaran sebelah kanan>

Delete source objects? [Yes/No] <N>: ↵

Command: **TRIM** ↵

Current settings: Projection=UCS, Edge=None

Select cutting edges ...

Select objects: <klik garis hubung lingkaran bagian atas>

Select objects: <klik garis hubung lingkaran bagian bawah>

Select objects: ↵

Select object to trim or shift-select to extend or

[Project/Edge/Undo]: <klik lingkaran terbesar sebelah kanan>

Select object to trim or shift-select to extend or

[Project/Edge/Undo]: <klik lingkaran terluar sebelah kiri>

Select object to trim or shift-select to extend or

[Project/Edge/Undo]: ↵

Command: **PEDIT** ↵

Select polyline or [Multiple]: <klik potongan lingkaran sebelah kiri>

Object selected is not a polyline

Do you want to turn it into one? <Y> ↵

Enter an option [Close/Join/Width/Edit vertex/Fit/Spline/Decurve/Ltype gen/Undo]: **J** ↵

Select objects: <klik garis hubung atas>

Select objects: <klik garis hubung bawah>

Select objects: <klik potongan lingkaran sebelah kanan>

Select objects: ↵

3 segments added to polyline

Enter an option [Open/Join/Width/Edit vertex/Fit/Spline/Decurve/Ltype gen/Undo]: ↵

b. Ubah pandangan menjadi SW Isometric dari Menu **View → 3D Views → SW Isometric**

c. Ubah elevasi (Center Z) lingkaran jari-jari 1 dan 2 sebelah kiri menjadi -5, sedangkan lingkaran jari-jari 0.75 dan 1 sebelah kiri menjadi -2 melalui **PROPERTIES**.

d. Ekstruksi polyline sebesar 1, lingkaran jari-jari 1 dan 2 sebelah kiri sebesar 11, dan lingkaran jari-jari 0.75 dan 1 sebelah kanan menjadi 5.

Command: **EXTRUDE** ↵

Current wire frame density: ISOLINES=4

Select objects: <klik polyline>

Select objects: ↵

Specify height of extrusion or [Path]: 1 ↵

Specify angle of taper for extrusion <0>: ↵

Command: **EXTRUDE** ↵
Current wire frame density: ISOLINES=4
Select objects: <klik lingkaran jari-jari 1 sebelah kir>
Select objects: <klik lingkaran jari-jari 2 sebelah kiri>
Select objects: ↵
Specify height of extrusion or [Path]: 11 ↵
Specify angle of taper for extrusion <0>: ↵

Command: **EXTRUDE** ↵
Current wire frame density: ISOLINES=4
Select objects: <klik lingkaran jari-jari 0.75 sebelah kanan>
Select objects: <klik lingkaran jari-jari 1 sebelah kanan>
Select objects: ↵
Specify height of extrusion or [Path]: 5 ↵
Specify angle of taper for extrusion <0>: ↵

- e. Gabungkan polyline dengan lingkaran jari-jari 2 sebelah kiri dan jari-jari 1 sebelah kanan dengan perintah UNION.

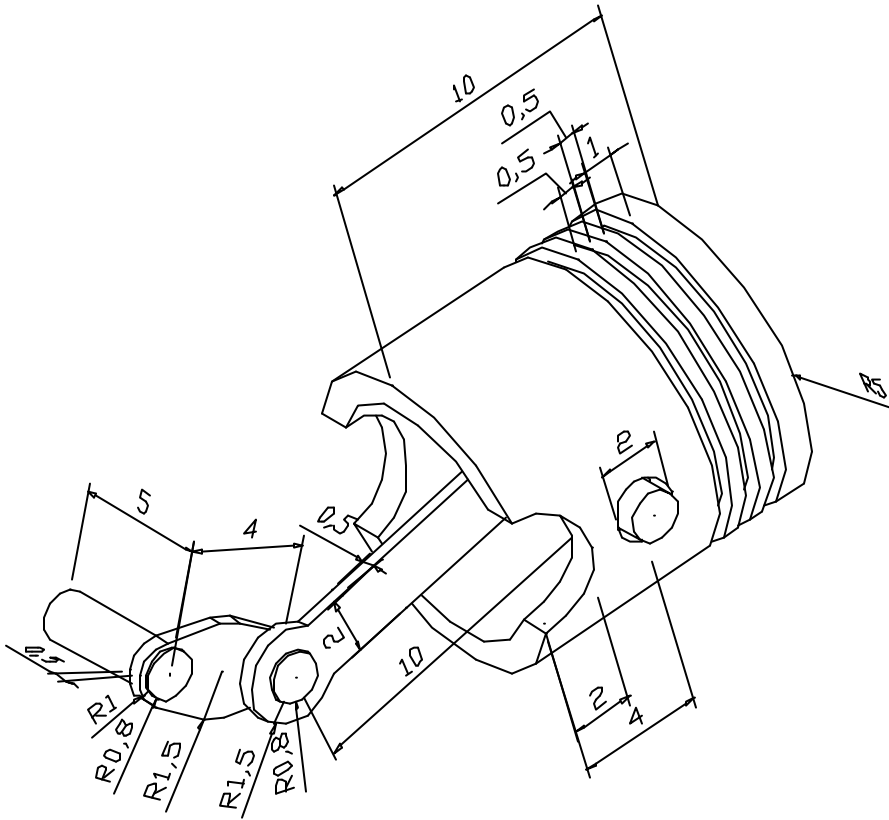
Command: **UNION** ↵
Select objects: <klik polyline>
Select objects: <klik lingkaran jari-jari 2 sebelah kiri>
Select objects: <klik lingkaran jari-jari 1 sebelah kanan>
Select objects: ↵

- f. Lubangi objek hasil union tadi dengan lingkaran lainnya menggunakan perintah SUBTRACT.

Command: **SUBTRACT** ↵
Select solids and regions to subtract from ..
Select objects: <klik objek hasil union>
Select objects: ↵
Select solids and regions to subtract ..
Select objects: <klik lingkaran sebelah kiri>
Select objects: <klik lingkaran sebelah kanan>
Select objects: ↵

- g. Untuk melihat hasilnya sudah sesuai dengan gambar soal, gunakan perintah HIDE.

1.5.2.3 Torak/Piston



Gambar 13. Benda Kerja Stang Torak

Penyelesaian

Gambar ini diselesaikan dengan menggabungkan perintah 2D dan perintah dasar 3D solid. Langkah penyelesaian sebagai berikut:

1. Dari tampak belakang, buat silinder dengan jari-jari 5, tinggi 10 dan jari-jari 4, tinggi 9.

Command: **CYLINDER** ↵

Current wire frame density: ISOLINES=4

Specify center point for base of cylinder or [Elliptical] <0,0,0>: <klik sembarang>

Specify radius for base of cylinder or [Diameter]: 5 ↵

Specify height of cylinder or [Center of other end]: 10 ↵

Command: **CYLINDER** ↵

Current wire frame density: ISOLINES=4

Specify center point for base of cylinder or [Elliptical] <0,0,0>: *<klik di pusat silinder pertama>*

Specify radius for base of cylinder or [Diameter]: 4 ↵

Specify height of cylinder or [Center of other end]: 9 ↵

2. Lubangi silinder pertama dengan silinder kedua dengan perintah SUBTRACT.

Command: **SUBTRACT** ↵

Select solids and regions to subtract from ..

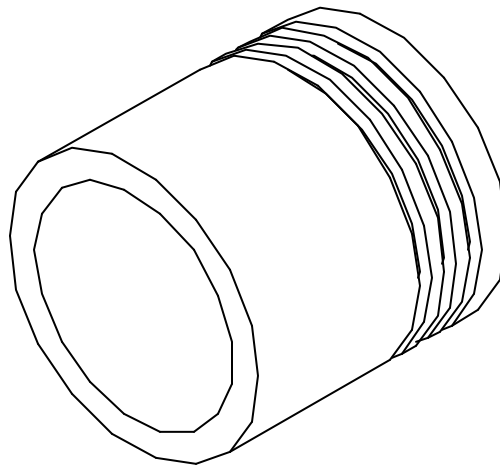
Select objects: *<klik silinder pertama>*

Select objects: ↵

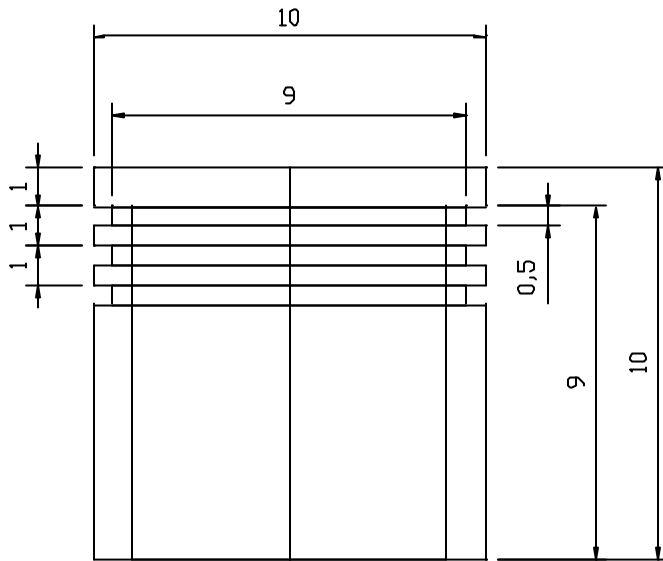
Select solids and regions to subtract ..

Select objects: *<klik silinder kedua>*

3. Buat dua buah silinder masing-masing dengan jari-jari 5, tinggi 0.5 dan jari-jari 4.5, tinggi 0.5. Kemudian gunakan SUBTRACT untuk melubanginya.
4. Ubah pandangan menjadi SW Isometric dari Menu **View → 3D Views → SE Isometric**.
5. Perbanyak menjadi 3 dengan jarak masing-masing 1 dan tempatkan seperti tampak pada gambar di bawah. Setelah posisinya tepat, lubangi Silinder jari-jari 5 dan tinggi 10 dengan SUBTRACT.



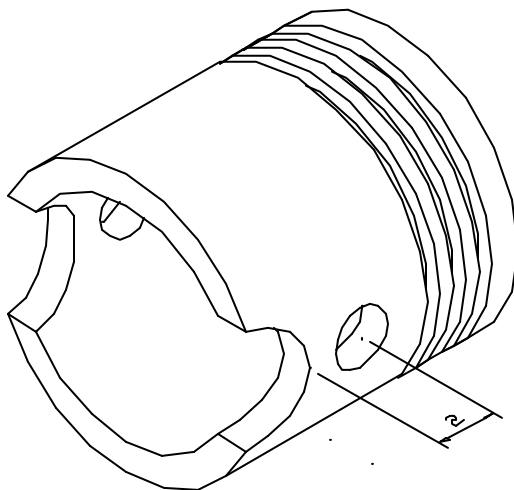
(a)



(b)

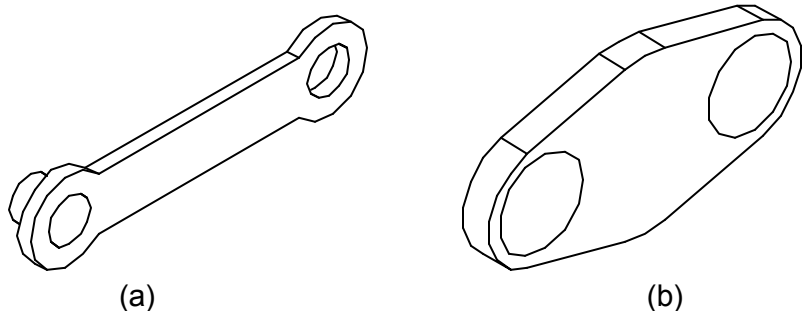
Gambar 14. Benda Kerja Torak (a) dan dimensinya (b)

6. Ubah UCS bidang gambar ke kanan dari menu **TOOLS → ORTHOGRAPHIC UCS → RIGHT**
7. Buat silinder jari-jari 2 , tinggi 10 dan titik pusat di quadran sisi kiri silinder terbesar. Kemudian lakukan **SUBTRACT** untuk melubangi silinder terbesar. Hasilnya seperti gambar (a) di bawah.



Gambar 15. Benda Kerja Torak

8. Buat silinder jari-jari 1 dan tinggi 10. Kemudian lakukan SUBTRACT untuk melubangi silinder terbesar. Hasilnya seperti gambar (b) di atas. Buat pula sebuah silinder jari-jari 1, tinggi 11 sepusat dengan silinder sebelumnya.
9. Buat BOX dengan ukuran 10 x 2 x 0.5
 Command: **BOX** ↵
 Specify corner of box or [CEnter] <0,0,0>: <klik sembarang>
 Specify corner or [Cube/Length]: @10,2,0.5 ↵
10. Buat dua buah silinder masing-masing berjari-jari 0.8 dan 1.5 dengan tinggi 0.5, pusat di tengah sebelah ujung kiri BOX. Kemudian COPY ke ujung kanan. Buat pula sebuah silinder jari-jari 0.8, tinggi 1.5 di pusat yang sama.
11. Gabungkan BOX dengan CYLINDER jari-jari 1.5, tinggi 0.5 sekaligus lubangi dengan CYLINDER jari-jari 0.8, tinggi 0.5 dengan perintah SUBTRACT. Hasilnya seperti pada gambar (a) di bawah.
 Command: **SUBTRACT** ↵
 Select solids and regions to subtract from ..
 Select objects: <klik box>
 Select objects: <klik silinder jari-jari 1.5 sisi kiri>
 Select objects: <klik silinder jari-jari 1.5 sisi kanan>
 Select objects: ↵
 Select solids and regions to subtract ..
 Select objects: <klik silinder jari-jari 0.8 sisi kiri>
 Select objects: <klik silinder jari-jari 0.8 sisi kanan>
 Select objects: ↵

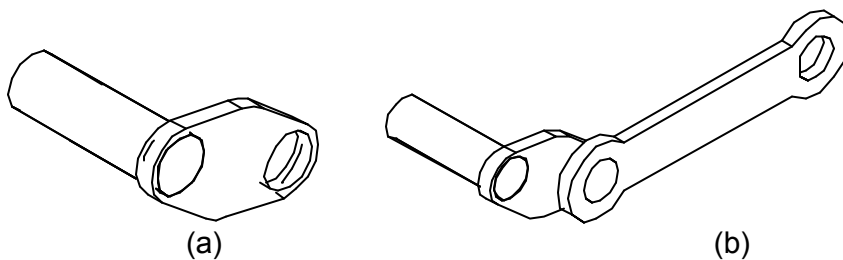


Gambar 16. Benda Kerja Klem Batang Torak

12. Dengan perintah 2D, buat beberapa lingkaran dan garis hubung. Gunakan TRIM untuk membentuk model dan PEDIT – JOIN untuk membentuk polyline dari garis-garis hubung dan potongan

lingkaran. Kemudian EXTRUDE sebesar 0.5 seperti tampak pada gambar (b) di atas.

13. Lubangi model tersebut dengan kedua silinder terkecil menggunakan SUBTRACT. Kemudian diputar sebesar 335° .
14. Buat pula silinder jari-jari 0.8 dan tinggi 5 seperti tampak pada gambar (a) di bawah.



Gambar 17. Benda Kerja Batang Torak

15. Gabungkan semua komponen untuk membentuk gambar seperti soal. Kemudian berikan perintah HIDE untuk melihat hasilnya.

2. Computer Numerically Controlled (CNC)

2.1 Sejarah mesin CNC

CNC singkatan dari *Computer Numerically Controlled*, merupakan mesin perkakas yang dilengkapi dengan sistem kontrol berbasis komputer yang mampu membaca instruksi kode N dan G (G-kode) yang mengatur kerja sistem peralatan mesinnya, yakni sebuah alat mekanik bertenaga mesin yang digunakan untuk membuat komponen/benda kerja. Mesin perkakas CNC merupakan mesin perkakas yang dilengkapi dengan berbagai alat potong yang dapat membuat benda kerja secara presisi dan dapat melakukan interpolasi/sisipan yang diarahkan secara numerik (berdasarkan angka). Parameter sistem operasi/sistem kerja CNC dapat diubah melalui program perangkat lunak (*software load program*) yang sesuai.

Adanya mesin CNC berawal dari berkembangnya sistem *Numerically Controlled* (NC) pada akhir tahun 1940an dan awal tahun 1950an yang ditemukan oleh **John T. Parsons** dengan bekerjasama dengan Perusahaan *Servomechanism MIT*. Adanya mesin CNC didahului oleh penemuan mesin NC yang mempunyai ciri parameter sistem pengoperasiannya tidak dapat diubah. Sistem CNC pada awalnya menggunakan jenis perangkat keras (*hard ware*) NC, dan

komputer yang digunakan sebagai alat penghitungan kompensasi dan terkadang sebagai alat untuk mengedit.

Pada awalnya mesin CNC masih menggunakan kertas berlubang sebagai media untuk mentransfer kode G dan M ke sistem kontrol. Setelah tahun 1950, ditemukan metode baru mentransfer data dengan menggunakan kabel RS232, *floppy disks*, dan terakhir oleh Komputer Jaringan Kabel (*Computer Network Cables*) bahkan bisa dikendalikan melalui internet.

Akhir-akhir ini mesin-mesin CNC telah berkembang secara menakjubkan sehingga mengubah industri pabrik yang selama ini menggunakan tenaga manusia menjadi full otomatis. Berkembangnya Mesin CNC, maka benda kerja yang rumit sekalipun dapat dibuat secara mudah dalam jumlah yang banyak.

Telah kita ketahui bersama bahwa pembuatan komponen/suku cadang suatu mesin yang presisi dengan mesin perkakas manual tidaklah mudah, meskipun dilakukan oleh seorang operator mesin perkakas yang mahir sekalipun penyelesaiannya memerlukan waktu lama. Bila ada permintaan konsumen untuk membuat komponen berteknologi tinggi dalam jumlah banyak dengan waktu singkat, dengan kualitas sama baiknya, tentu akan sulit dipenuhi bila menggunakan perkakas manual. Apalagi bila bentuk benda kerja yang dipesan lebih rumit, tentu akan semakin sulit diselesaikan dalam waktu singkat. Penyelesaian produk yang lama secara ekonomis akan meningkatkan biaya produksinya, harga jual produk akan menjadi semakin mahal, sehingga semakin sulit bersaing dengan produk import.



Gambar 18. Mesin Bubut CNC Production Unit (PU 2A)

Tuntutan konsumen yang menghendaki kualitas benda kerja yang presisi, berkualitas sama baiknya, dalam waktu singkat dan

dalam jumlah yang banyak, akan lebih mudah dikerjakan dengan mesin perkakas CNC (*Computer Numerically Controlled*) yaitu mesin yang dapat bekerja melalui pemrograman yang dilakukan dan dikendalikan melalui komputer. Mesin CNC dapat bekerja secara otomatis atau semi otomatis setelah diprogram terlebih dahulu melalui komputer yang ada.

Program yang dimaksud merupakan program membuat benda kerja yang telah direncanakan atau dirancang sebelumnya. Sebelum benda kerja tersebut dieksekusi atau dilaksanakan oleh mesin CNC, program tersebut sebaiknya dicek berulang-ulang agar program yang telah dibuat benar-benar telah selesai dengan bentuk seperti yang diinginkan, serta benar-benar dapat dikerjakan oleh mesin CNC. Pengecekan tersebut dapat melalui layar monitor yang terdapat pada mesin CNC atau melalui *plotter* yang dipasang pada tempat dudukkan pahat/pisau frais. Setelah program benar-benar telah berjalan seperti yang direncanakan, baru kemudian dieksekusi oleh mesin CNC, selanjutnya mesin CNC akan mengerjakannya secara otomatis.

Dari segi pemanfaatannya, mesin perkakas CNC dapat dibagi menjadi dua, antara lain: (a) mesin CNC *Training Unit* (TU), yaitu mesin yang digunakan untuk keperluan pendidikan, pelatihan atau *training*. (b) mesin CNC *Production Unit* (PU), yaitu mesin CNC yang digunakan untuk membuat benda kerja/komponen yang dapat digunakan sebagai mana mestinya.



Gambar 19. Mesin Frais CNC

Dari segi jenisnya mesin perkakas CNC dapat dibagi menjadi tiga jenis, antara lain: (a) mesin CNC 2A yaitu mesin CNC 2 aksis, karena gerak pahatnya hanya pada arah dua sumbu koordinat (aksis) yaitu X, dan Z, atau dikenal dengan mesin bubut CNC. (b) mesin CNC 3A, yaitu mesin CNC 3 aksis atau mesin yang memiliki gerakan sumbu utama ke arah sumbu koordinat X, Y, dan Z, atau dikenal dengan mesin frais CNC. (c) mesin CNC kombinasi (*arbeitszentrum*), yaitu mesin CNC bubut dan frais yang dilengkapi dengan peralatan pengukuran sehingga dapat melakukan pengontrolan kualitas benda kerja yang dihasilkan. Mesin CNC pada umumnya berupa mesin CNC bubut dan mesin CNC frais.

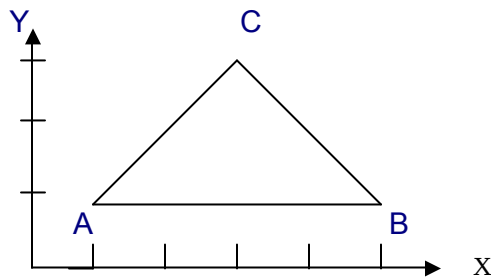
2.2 Dasar-Dasar Pemrograman Mesin CNC

Ada beberapa langkah yang harus dilakukan seorang programmer sebelum menggunakan mesin CNC, pertama mengenal beberapa sistem koordinat yang ada pada mesin CNC, yaitu: (a) sistem koordinat kartesius, yang terdiri dari koordinat mutlak (*absolut*) dan koordinat berantai/relatif (*inkremental*), dan (b) sistem koordinat kutub (*koordinat polar*), yang terdiri dari koordinat mutlak (*absolut*) dan koordinat relatif/berantai (*inkremental*). Selanjutnya menentukan sistem koordinat yang akan digunakan dalam pemrograman. Apakah program akan menggunakan pemrograman dengan metode *absolut* atau *inkremental*. Pada umumnya sistem koordinat yang sering digunakan antara lain sistem koordinat kartesius, yaitu koordinat mutlak (*absolut*) dan koordinat relatif/berantai (*incremental*). Langkah kedua adalah memahami prinsip gerakan sumbu utama dalam mesin CNC.

2.2.1 Pemrograman Absolut

Pemrograman absolut adalah pemrograman yang dalam menentukan titik koordinatnya selalu mengacu pada titik nol benda kerja. Kedudukan titik dalam benda kerja selalu berawal dari titik nol sebagai acuan pengukurannya. Sebagai titik referensi benda kerja letak titik nol sendiri ditentukan berdasarkan bentuk benda kerja dan keefektifan program yang akan dibuat. Penentuan titik nol mengacu pada titik nol benda kerja (TMB). Pada pemrograman benda kerja yang rumit, melalui kode G tertentu titik nol benda kerja (TMB) bisa dipindah sesuai kebutuhan untuk memudahkan pemrograman dan untuk menghindari kesalahan pengukuran.

Pemrograman absolut dikenal juga dengan sistem pemrograman mutlak, di mana pergerakan alat potong mengacu pada titik nol benda kerja. Kelebihan dari sistem ini bila terjadi kesalahan pemrograman hanya berdampak pada titik yang bersangkutan, sehingga lebih mudah dalam melakukan koreksi. Berikut ini contoh pengukuran dengan menggunakan metode absolut.



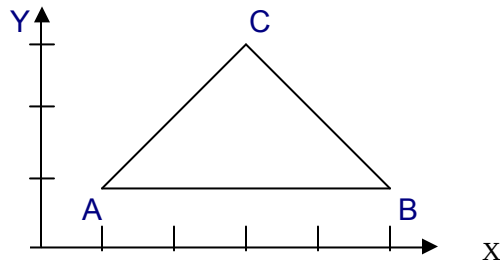
Titik	Koordinat Absolut (X , Y)
A	(1, 1)
B	(5, 1)
C	(3, 3)

Gambar 20. Pengukuran Metode Absolut

2.2.2 Pemrograman Relatif (*inkremental*)

Pemrograman inkremental adalah pemrograman yang pengukuran lintasannya selalu mengacu pada titik akhir dari suatu pengukuran. Titik akhir suatu lintasan merupakan titik awal untuk pengukuran lintasan berikutnya atau penentuan koordinatnya berdasarkan pada perubahan panjang pada sumbu X (ΔX) dan perubahan panjang lintasan sumbu Y (ΔY). Titik nol benda kerja mengacu pada titik nol sebagai titik referensi awal, tidak titik nol benda kerja ditentukan berdasarkan bentuk benda kerja dan keefektifan program yang akan dibuatnya. Penentuan titik koordinat berikutnya mengacu pada titik akhir suatu lintasan.

Sistem pemrograman inkremental dikenal juga dengan sistem pemrograman berantai atau relative koordinat. Penentuan pergerakan alat potong dari titik satu ke titik berikutnya mengacu pada titik pemberhentian terakhir alat potong. Penentuan titik setahap demi setahap. Kelemahan dari sistem pemrograman ini, bila terjadi kesalahan dalam penentuan titik koordinat, penyimpangannya akan semakin besar. Berikut ini contoh dari pengukuran inkremental.

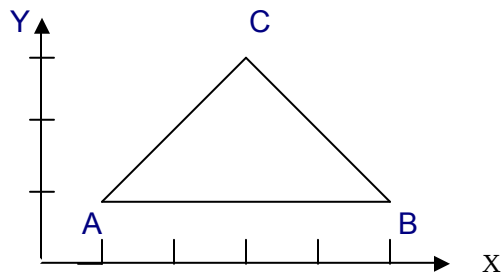


Titik	Koordinat Inkremental (? X , ? Y)
A	(1 , 1)
B	(4 , 0)
C	(-2 , 2)

Gambar 21. Pengukuran metode *inkremental*

2.2.3 Pemrogramman Polar

Pemrogramman polar terdiri dari polar absolut mengacu pada panjang lintasan dan besarnya sudut (@ L, a) dan polar inkremental mengacu pada panjang lintasan dan besarnya perubahan sudut (@ L, ? a).

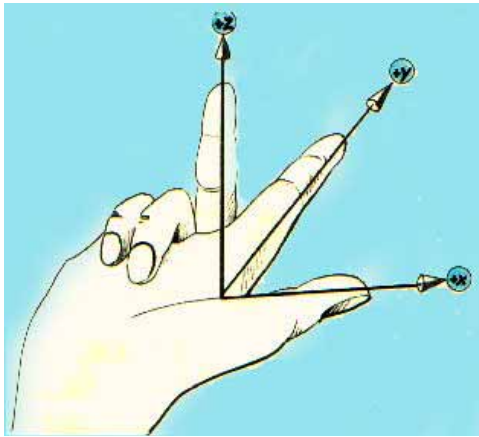


Polar Koordinat Absolut: (@ L , a)	Polar Koordinat Inkremental (@ L , ? a)
B (5, 0°), C (2√2, 135°) A (2√2, 225°)	B (5, 0°), C (2√2, 135°) A (2√2, 270°)

Gambar 22. Pengukuran metode inkremental.

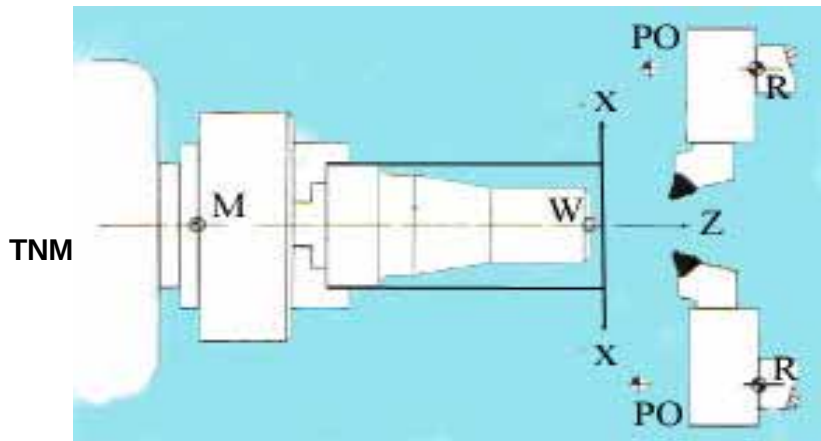
2.3 Gerakan sumbu utama pada mesin CNC

Dalam pemrograman mesin CNC perlu diperhatikan bahwa dalam setiap pemrograman menganut, prinsip bahwa sumbu utama (tempat pahat/pisau frais) yang bergerak ke berbagai sumbu, sedangkan meja tempat dudukan benda diam meskipun pada kenyataannya meja mesin frais yang bergerak. Programmer tetap menganggap bahwa alat potonglah yang bergerak. Sebagai contoh bila programmer menghendaki pisau frais ke arah sumbu X positif, maka meja mesin frais akan bergerak ke sumbu X negatif, juga untuk gerakan alat pemotong lainnya.

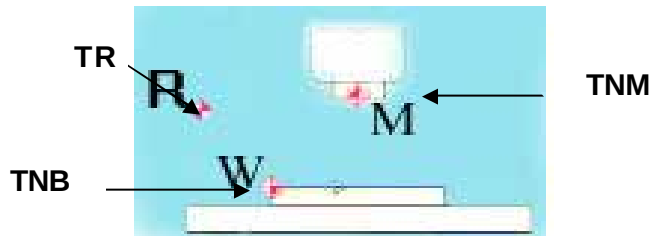


Gambar 23. Gerakan sumbu utama menganut kaidah tangan kanan

Selain menentukan sumbu simetri mesin, langkah berikutnya adalah memahami letak titik nol benda kerja (TNB), titik nol mesin (TNM), dan titik referens (TR). TNB merupakan titik nol di mana dari titik tersebut programmer mengacu untuk menentukan dimensi titik koordinatnya sendiri, baik secara absolute maupun inkremental. TNM merupakan titik nol mesin. Pada mesin CNC bubut TNM terletak di pangkal cekam (lihat Gambar 24) tempat cekam benda kerja diletakkan. Pada mesin CNC frais TNM berada pada pangkal dimana alat potong/pisau frais diletakkan (lihat Gambar 25). Titik Referens (TR) adalah suatu titik yang menyebutkan letak alat potong mula-mula diparkir atau diletakan. Titik referens ditempatkan agak jauh dari benda kerja, agar pada saat pemasangan atau melepaskan benda kerja, tangan operator tidak mengenai alat potong yang dapat mengakibatkan kecelakaan kerja. Benda kerja aman untuk dipasang maupun dilepas dari ragum atau pencekam.



Gambar 24. Posisi TNB, TNM, dan TR pada mesin CNC Bubut



Gambar 25. Posisi TNB, TNM, dan TR pada mesin CNC Frais

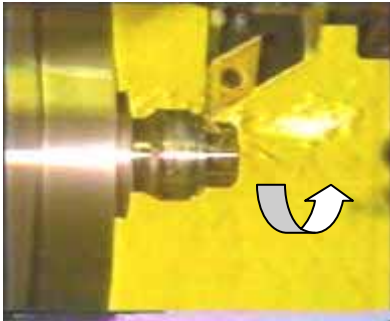
Pembuatan program mesin CNC, seorang programmer harus memiliki kemampuan dasar pemrograman, antara lain: (a) Pengalaman dalam membaca gambar teknik, (b) berpengalaman dalam pengerjaan logam dengan menggunakan mesin perkakas konvensional. (c) mampu memilih alat potong/pisau perkakas secara tepat sesuai dengan bentuk benda kerjanya, (d) dapat menentukan posisi benda kerja dalam sistem koordinat dengan tepat, (e) mempunyai dasar-dasar pengetahuan matematika terutama trigonometri.

2.4 Standarisasi Pemrograman Mesin Perkakas CNC

Pemakaian kode-kode pada mesin perkakas CNC dapat menggunakan standar pemrograman yang berlaku antara lain: DIN (*Deutsches Institut für Normung*) 66025, ANSI (*American National Standards Institute*), AEROS (*Aerospatiale France*), ISO, dll. Sebagian besar dari standar, yang diinginkan memiliki persamaan dan sedikit saja perbedaannya. Berikut ini beberapa bagian kode pada mesin CNC EMCO antara lain kode G, kode M, kode F, kode S dan kode T yang mempunyai arti sebagai berikut.

3.4.1 Arti Kode M pada mesin CNC

Tabel 1. Arti kode M mesin CNC

KODE	ARTI
M00	Mesin terhenti terprogram
M03	Sumbu utama berputar searah dengan jarum jam; Kode ini biasanya pada awal intruksi. Adanya kode ini menyebabkan sumbu utama mesin akan berputar searah jarum jam. Pada mesin bubut CNC cekam benda kerja akan berputar searah jarum jam, sedangkan pada mesin frais CNC yang berputar adalah tempat alat potong arbornya  Gambar 26. Alat potong berputar searah jarum jam M03
M04	Sumbu utama berputar berlawanan arah jarum jam  Gambar 27. Arah putaran <i>spindle</i> berlawanan arah dengan jarum jam (M04)
M05	Sumbu utama berhenti terprogram
M06	Penggantian alat potong dilakukan agar kualitas benda kerja meningkat. Bentuk benda kerja yang semakin kompleks akan cenderung menggunakan alat potong yang banyak, seperti pemakanan kasar, pengeboran, pembuatan alur, dan pemakanan finishing. Masing-

	masing jenis pemakanan memerlukan alat potong yang khusus, sebagai contoh alat potong yang digunakan untuk melakukan pemakanan kasar akan berbeda dengan dat potong yang digunakan untuk membuat ulir.
M08	Cairan pendingin akan mengalirkan. Pada proses pengerjaan benda kerja, terjadi gesekan antara benda kerja dan alat potong. Alat potong dan benda kerja akan menjadi panas. Bila tidak didinginkan maka alat potong akan cepat tumpul/ rusak. Oleh karena itu perlu didinginkan dengan cara memerintahklan mesin untuk mengalirkan cairan pendingin (<i>coolant</i>).  Gambar 28. Cairan pendingin disemprotkan untuk mendinginkan alat potong dan benda kerja
M09	Cairan pendingin berhenti mengalir
M17	Sub program (<i>unterprogram</i>) berakhir
M19	Sumbu utama posisi tepat
M30	Program berakhir dan kembali pada program semula.
M38	Berhenti tepat, aktif
M39	Berhenti tepat, pasif
M90	Pembatalan fungsi pencerminan
M91	Pencerminan sumbu X
M92	Pencerminan sumbu Y
M93	Pencerminan sumbu X dan Y
M99	Penentuan parameter lingkaran I, J, K.

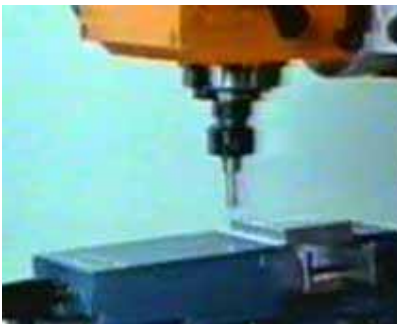
2.4.2 Arti Kode G pada mesin CNC

Intruksi pada mesin CNC menggunakan kode-kode pemrograman, misal kode G, kode M, kode P, dan sebagainya. Arti kode tiap mesin biasanya memiliki persamaan, namun arti kode pada merek yang berbeda dapat memiliki arti yang berbeda pula, sehingga programmer harus dapat menyesuaikan standarisasi kode yang digunakan pada mesin CNC yang akan digunakan. Sebagai contoh intruksi G 84 pada mesin CNC EMCO TU 2A berarti pembubutan memanjang, sedangkan pada mesin CNC PU 2A merek Gildmeister siklus pembubutan memanjang menggunakan kode G 81.

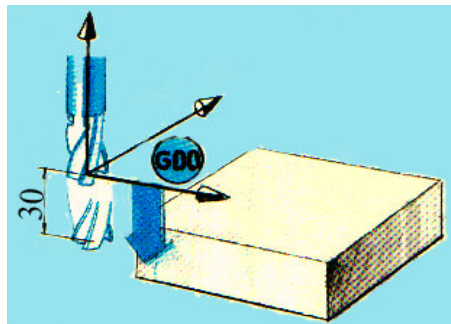
Pembahasan kali ini penulis mengacu pada arti kode yang digunakan pada mesin CNC EMCO baik yang *Training Unit* (TU) maupun *Production Unit* (PU) kecuali bila penulis menyebutkan merek tertentu seperti Gildmesiter, MAHO, Deckel, dan lain-lain.

2.4.2.1 Arti Kode G 00

Kode G 00 merupakan intruksi untuk memerintahkan mesin CNC agar sumbu utama (pisau frais/pahat bubut) melakukan gerakan cepat tanpa melakukan pemakanan. Gerakan ini digunakan bila pahat/pisau frais tidak melakukan pemakanan/pemotongan pada benda kerja. Gerakan cepat digunakan bila alat potong berada bebas dari pemakanan benda kerja, alat potong kembali ke atas permukaan benda kerja, atau kembali ke titik referen. Gerakan cepat dapat dilakukan bila posisi alat potong benar-benar tidak akan menabrak benda kerja dari peralatan lainnya. Kesalahan dalam penentuan koordinat dapat menyebabkan tabrakan antara alat potong dengan mesin atau benda kerja yang dapat menyebabkan kerusakan fatal pada alat potong maupun mesin



(a)



(b)

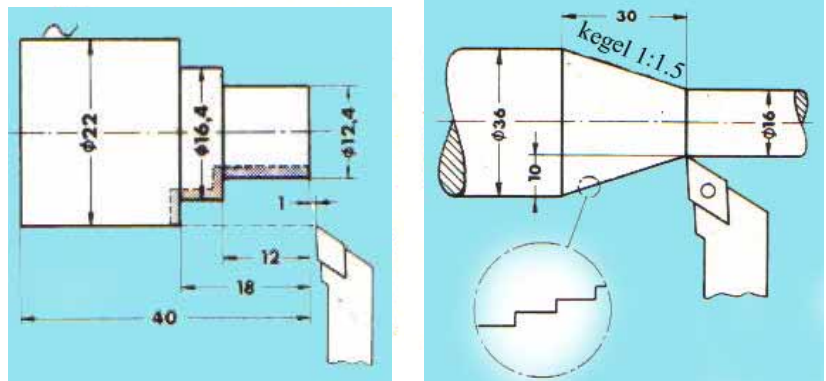
Gambar 29. Gerakan cepat alat potong di atas benda kerja

Lintasan alat potong di atas akan bergerak cepat ke bawah di sebelah benda kerja tanpa pemakanan (Gambar 29 b), pemrograman inkrementalnya dapat ditulis:

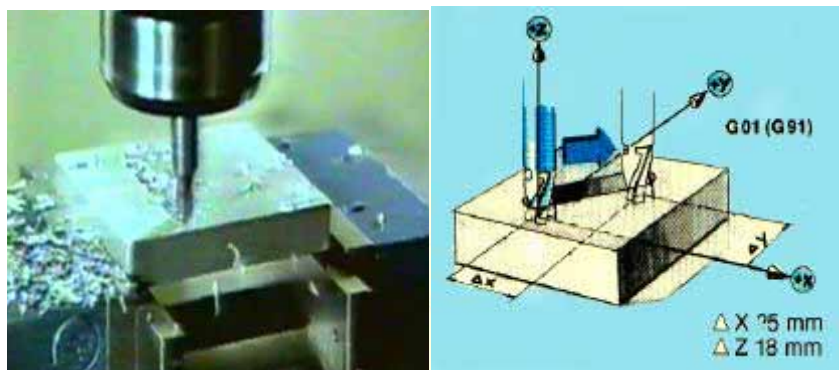
```
G00 x=0 y=0 z=-3000
```

3.4.2.2 Arti Kode G 01

Kode G 01 merupakan instruksi agar alat potong mesin CNC melakukan gerakan pemakanan lurus baik ke arah sumbu X, Y, maupun Z. Pada mesin CNC baik bubut maupun frais instruksi G 01 merupakan perintah agar alat potong bergerak lurus dari satu titik ke titik lainnya dengan kecepatan sesuai dengan feeding yang telah ditentukan.



Gambar 30. Pembubutan lurus (a) dan tirus (b) pada mesin bubut CNC



(c)

(b)

Gambar 31. Pemakanan lurus pada mesin CNC frais

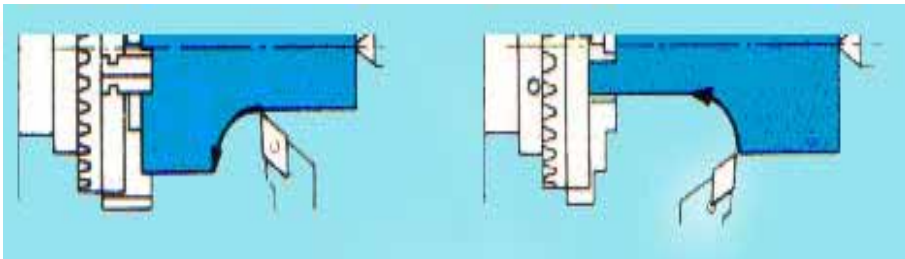
Gerakan lurus dengan pemakanan digunakan untuk melakukan pengefraisan atau pembubutan lurus, termasuk tirus dan kedalaman pemakanan.

Lintasan alat potong bergerak dengan pemakanan lurus ke titik X =25 dan Y =18 (Gambar 31 b), pemrograman inkrementalnya dapat ditulis:

G01 / X2500 / Y1800 / Z=0 / F...

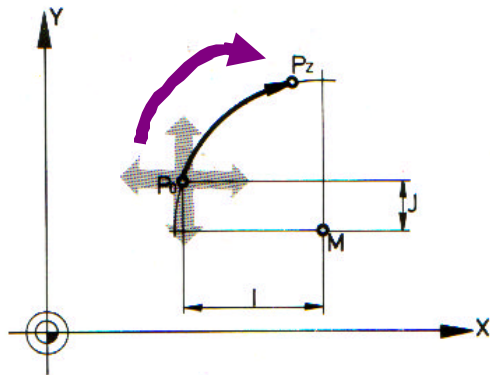
3.4.2.3 Arti Kode G 02

Kode G 02 merupakan intruksi agar alat potong mesin CNC melakukan gerakan interpolasi lingkaran searah jarum jam. Alat potong (pisau frais atau pahat bubut) akan membentuk lingkaran yang searah jarum jam. Sering dijumpai bentuk benda kerja yang berupa lengkungan yang memiliki radius tertentu. Seperti bentuk fillet pada ujung-ujung benda kerja atau bentuk lingkaran sebagian atau penuh pada benda kerja. Gerakan searah jarum jam atau berlawanan menggunakan asumsi bahwa alat potong berada di atas benda kerja, atau di belakang benda kerja. Jadi bila alat potong berada di depan benda kerja maka berlaku sebaliknya.



G 02 X + Z - G 02 X - Z -

Gambar 32. Arah pembubutan melingkar G 02 pada mesin CNC Bubut



Gambar 33. Arah pemakanan melingkar G 02 pada mesin CNC Frais

Lintasan alat potong mesin frais bergerak dengan pemakanan radius berlawanan dengan jarum jam ke titik $X = Pz$ dan $Y = Pz$ (Gambar 33). Pemrograman inkrementalnya bila menggunakan EMCO TU 2A dapat ditulis:

N100 / G02 / XPz / YPz / ZPz / F

N101 / M99 / I / J / K

N 100 = Nomor blok ke 100

G 02 = Gerak alat potong melingkar searah dengan jarum jam

XPz = Tujuan lengkungan searah X yang dikehendaki (mm)

YPz = Tujuan lengkungan searah Y yang dikehendaki (mm)

ZPz = Tujuan lengkungan searah Z yang dikehendaki (mm)

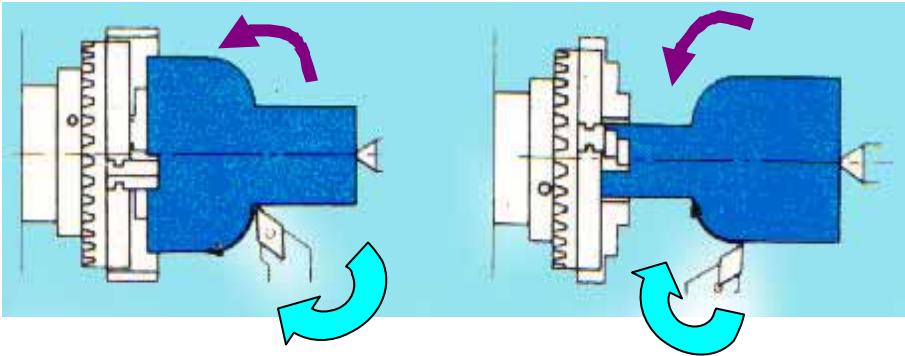
F = *Feeding* (kecepatan asutan dalam mm/menit)

M99 = merupakan parameter gerak alat potong membentuk radius yang berpusat di titik M yang memiliki jarak dengan titik awal searah sumbu X disebut I, searah dengan sumbu Y disebut J, dan searah dengan sumbu Z disebut K

2.4.2.4 Arti Kode G 03

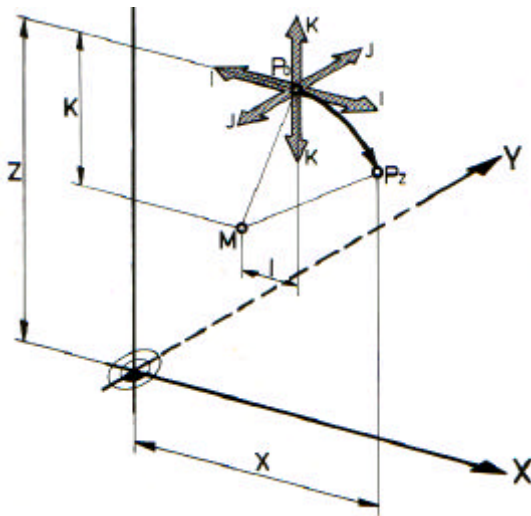
Kode G 03 merupakan instruksi agar alat potong mesin CNC melakukan gerakan interpolasi lingkaran berlawanan arah dengan jarum jam. Gerakan ini akan selalu membentuk lingkaran yang berlawanan arah dengan jarum jam.

G 03 berlawanan arah JJ



G 03 X + Z - G 03 X - Z -

Gambar 34. Arah pembubutan melingkar G 03 pada mesin CNC bubut



Gambar 35. Arah pemakanan melingkar G 03 pada mesin CNC Frais

Lintasan alat potong mesin frais bergerak dengan pemakanan radius berlawanan dengan jarum jam ke titik $X = P_z$ dan $Y = P_z$ (Gambar 35). Pemrograman inkrementalnya bila menggunakan EMCO TU 2A dapat ditulis:

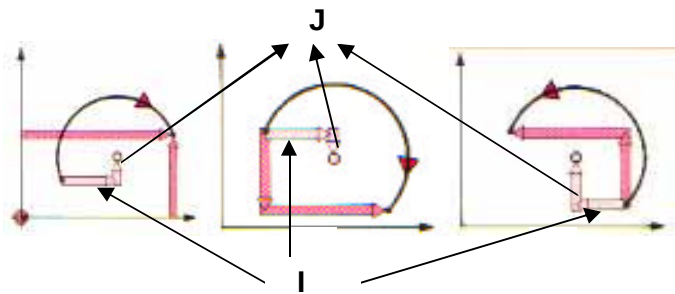
N100 / G03 / X_{PZ} / Y_{PZ} / Z_{PZ} / F

N101 / M99 / I / J / K

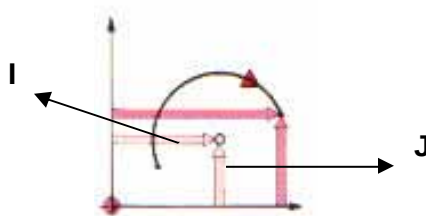
2.4.2.5 Parameter I, J, K

Setiap gerakan alat potong yang membentuk lintasan radius, baik searah jarum jam (G02) maupun yang berlawanan arah dengan jarum jam (G03) harus dilengkapi parameteri I, J, K. Parameter I artinya jarak titik awal lintasan radius ke titik pusat lengkungan searah X, Parameter J artinya jarak titik awal lintasan radius ke titik pusat lingkaran searah Y, Parameter K artinya jarak titik awal lintasan radius ke titik pusat lingkaran searah Z.

Parameter I, J, K (Gambar 36) bernilai absolute maupun inkremental. Nilai absolute selalu mengacu pada titik nol, sedangkan nilai inkremental mengacu pada perubahan X, dan perubahan Y (Gambar 37).



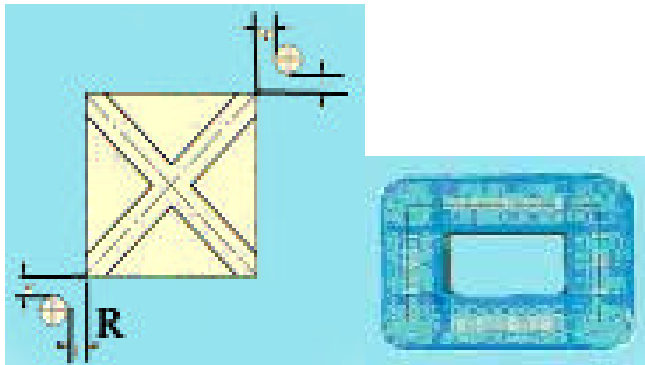
Gambar 36. Nilai I, J, K inkremental



Gambar 37. Nilai I, J, K Absolute

2.4.2.6 Arti Kode G 40

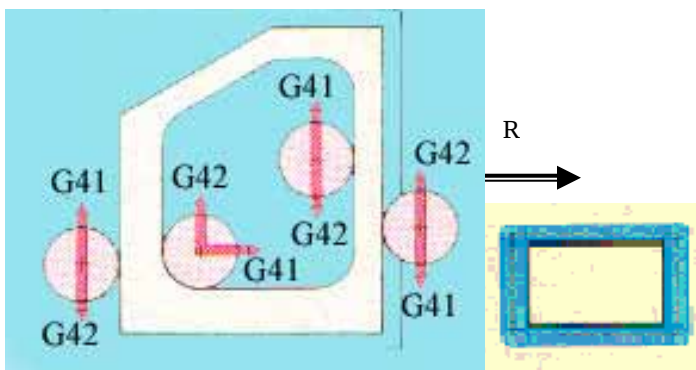
Gerakan alat potong tanpa memperhatikan besar radius alat potongnya. Alat potong bergerak sesuai dengan bentuk lintasan benda kerja. Biasanya digunakan untuk pembuatan alur, atau huruf tertentu.



Gambar 38. Gerak alat potong sesuai lintasan G 40

2.4.2.7 Arti Kode G 41

Instruksi kode G 41 berarti gerakan sumbu utama ke kiri dari lintasannya sebesar radius alat potongnya. Alat potong (pisau frais/bubut) akan bergeser ke kiri lintasan sesuai dengan besarnya diameter alat potongnya. Kode G41 akan menyebabkan gerakan alat potong akan selalu menyesuaikan dengan besarnya radius alat potong yang dimilikinya dengan cara menggeser ke posisi sebelah kiri dari lintasannya, sehingga bentuk benda kerja tidak akan berubah walaupun pisau frais atau pahat bubut memiliki radius yang berbeda.



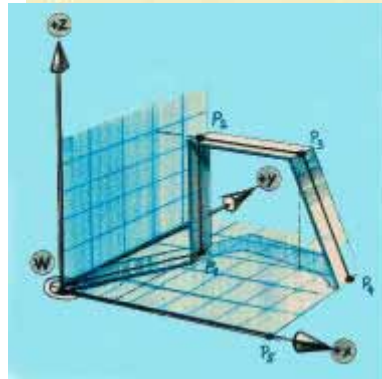
Gambar 39. Gerak alat potong bergeser ke kiri lintasannya

2.4.2.8 Arti Kode G 42

Alat potong (pisau frais/bubut) akan bergeser ke kanan lintasan sesuai dengan besarnya diameter alat potong. Gerakan sumbu utama dengan memperhatikan besarnya radius pisau frais yang dimilikinya dengan melakukan penggeseran ke arah kanan lintasan benda kerja (Gambar 39).

2.4.2.9 Arti Kode G 91

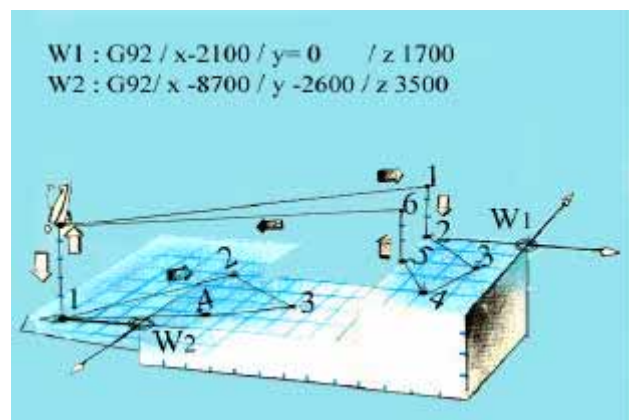
Kode G 91 merupakan penempatan program inkremental, Pemrograman inkremental merupakan pemrograman yang mengacu pada besarnya perubahan lintasan. Titik akhir suatu lintasan merupakan awal dari lintasan berikutnya

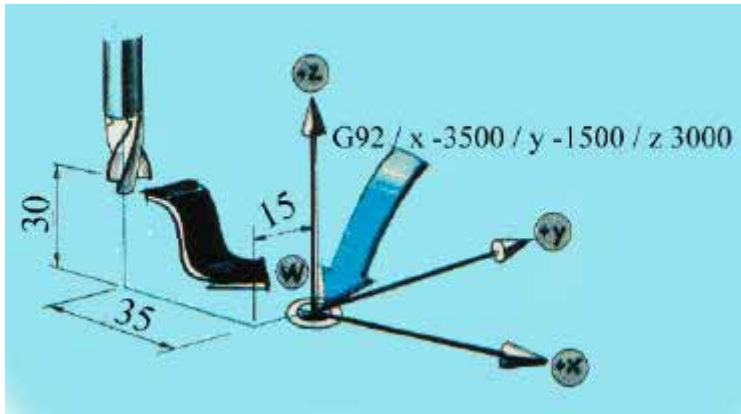


Gambar 40. Pemrograman Inkremental G 91

2.4.2.10 Arti Kode G 92

Pemrograman absolute merupakan pemrograman yang mengacu pada titik nol. Penetapan titik nol dapat dilakukan pada posisi yang memudahkan pemrogramman. G 92 merupakan penetapan pemrogramman absolute yang selalu mengacu pada titik nol.





Gambar 41. Titik nol benda kerja (W)

3.4.2.11 Arti Kode lainnya

Tabel 2. Arti Kode Lainnya

KODE	ARTI (mengacu pada CNC EMCO PU)
G07	Gerakan pahat/pisau frais (alat potong) membentuk radius (<i>fillet</i>).
G17	Pengaturan persumbuan ke 1
G 18	Pengaturan persumbuan ke 2
G 19	Pengaturan persumbuan ke 3
G 20	Pengaturan persumbuan ke 4
G 21	Pengaturan persumbuan ke 5
G 22	Pengaturan persumbuan ke 6
G 25	Memanggil sub program
G 27	Lompatan tanpa syarat
G 53	Penggeseran posisi 1 dan 2 hapus / batal
G 54	Penggeseran posisi 1
G 55	Penggeseran posisi 2
G 56	Penggeseran posisi 3, 4 dan 5 hapus
G 57	Penggeseran posisi 3
G 58	Penggeseran posisi 4
G 59	Penggeseran posisi 5, juga dapat diubah dalam program
G 70	Ukuran dalam inchi
G 71	Ukuran dalam mm
G 72	Penetapan jajaran lingkaran lubang bor
G 73	Pelaksanaan jajaran lingkaran lubang bor
G 74	Penetapan jajaran segi empat lubang bor
G 75	Pelaksanaan jajaran segi empat lubang bor
G 81	Pemboran, penyenteran
G 82	Pemboran, pengefraisan muka setempat
G 83	Pemboran lubang dalam dengan penarikan
G 86	Pemboran lubang dalam dengan pemutusan tatal
G 87	Siklus pengefraisan kantong

G 89	Siklus pengefraisan alur
G 94	Data kecepatan asutan dalam mm/men, inchi/men
G 95	Data asutan dalam mm/put, inchi/put
G 98	Penarikan ke bidang awal
G 99	Penarikan ke bidang penarikan
A 00	Salah perintah fungsi G atau M
A 01	Salah perintah G 02 atau G 03
A 02	Nilai X Salah
A 03	Nilai F salah
A 05	Kurang perintah M 30
A 06	Kurang perintah M 03
A 08	Pita kaset habis, perlu diganti baru
A 09	Program tidak ditemukan
A 10	Pita kaset dalam pengamanan
A 13	Penyetelan inchi/mm dengan memory program penuh
A 14	Salah posisi kepala frais
A 15	Salah nilai Y
A 16	Tidak ada nilai radius pada pisau frais
A 17	Salah sub program
A 18	Jalannya komposisi radius pisau frais lebih kecil dari nol
F	Asutan dalam mm/men, μ m/put Kisar ulir dalam μ m
S	Kecepatan sumbu utama
T	Memanggil alat potong (empat angka)
L	Nomor sub program/pengulangan (empat angka) tujuan lompatan

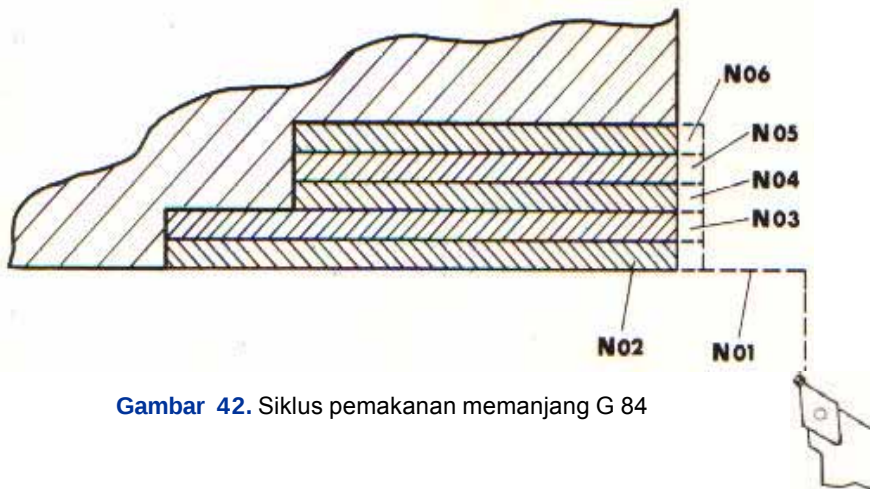
2.5 Siklus Pemrograman

Pengerjaan benda kerja dengan bentuk tertentu akan lebih cepat bila menggunakan siklus pemrograman. Keuntungan yang diperoleh antara lain: tidak memerlukan intruksi/blok kalimat yang panjang, lebih mudah, dan lebih cepat. Beberapa siklus pemrograman yang ada pada tiap mesin CNC antara lain: siklus pengeboran, siklus pembuatan ulir, siklus kantong, siklus alur, dan lain-lain. Siklus pemrograman merupakan pemrograman membuat kontur atau pengeboran yang mengacu pada dimensi bentuk konturnya. Pola siklus pemrograman kontur untuk setiap mesin memiliki karakteristik yang berbeda. Di bawah ini beberapa contoh siklus pemrograman dengan menggunakan mesin Frais CNC MAHO 432, CNC Bubut Gildmesiter dan CNC Training Unit (TU).

2.5.1 Siklus pemrograman pembubutan memanjang

Alat potong (pisau frais/bubut) akan bergerak membentuk siklus pemakanan memanjang secara otomatis. Siklus pemakanan ini biasanya untuk melakukan pemakanan awal yang masih kasar sebelum alat potong bergerak melakukan finishing sesuai lintasannya. Pada mesin CNC EMCO TU 2A siklus pembubutan memanjang menggunakan kode G 84, biasanya dilakukan untuk pemakanan kasar sehingga dapat memperpendek waktu pengerjaan dan proses finishing akan lebih mudah.

2.5.1.1 Siklus pemrograman G 84 pada mesin CNC EMCO



Gambar 42. Siklus pemakanan memanjang G 84

Lintasan alat potong mesin CNC bubut bergerak dengan siklus pemakanan memanjang dengan pengurangan diameter secara bertahap (Gambar 42). Pemrogramannya bila menggunakan EMCO TU 2A dapat ditulis:

Tabel 3. Siklus pemrograman G84 Mesin CNC EMCO

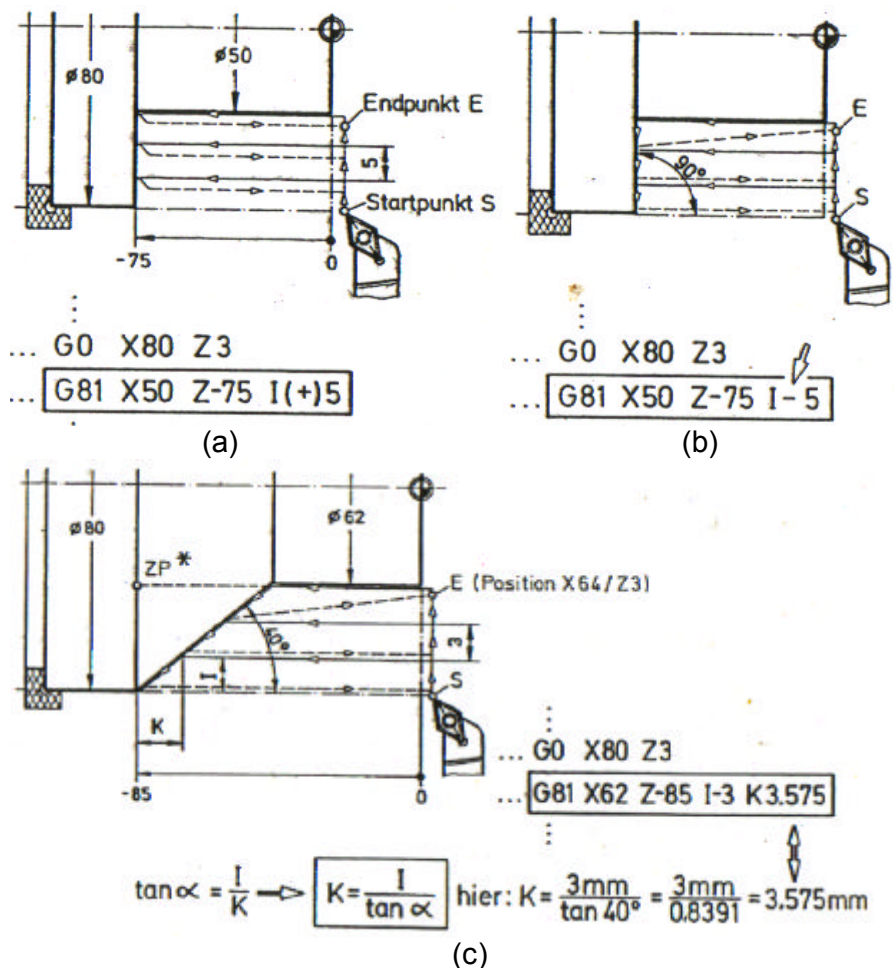
N	G	X	Z	F
00	00	-500		
01	00	0	-400	
02	84	-100	-2100	100
03	84	-200	-2100	100
04	84	-300	-1600	100
05	84	-400	-1600	100
06	84	-500		
07	00	500		
08	00	0	400	
09	22			

Keterangan :

- N = nomor blok
- G 84 = Perintah siklus pembubutan memanjang
- X = Diameter yang akan dikehendaki (mm)
- Z = Gerak memanjang (m)
- F = Feeding (kecepatan asutan dalam mm/menit)
- H = Kedalaman tiap kali pemakanan

2.5.1.2 Siklus pemrograman G 81 mesin CNC PU 2A Gildmeister

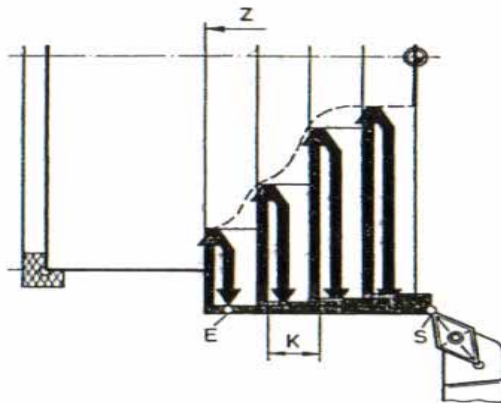
Pada mesin CNC bubut Production Unit merek Gildmeister terdapat tiga jenis pembubutan memanjang. Pertama pada akhir siklus tanpa diakhiri proses finishing (Gambar 43 a), kedua pada akhir siklus dilanjutkan proses finishing (Gambar 43b), ketiga bentuk pembubutan memanjang dengan bentuk lurus dan tirus (Gambar 43c).



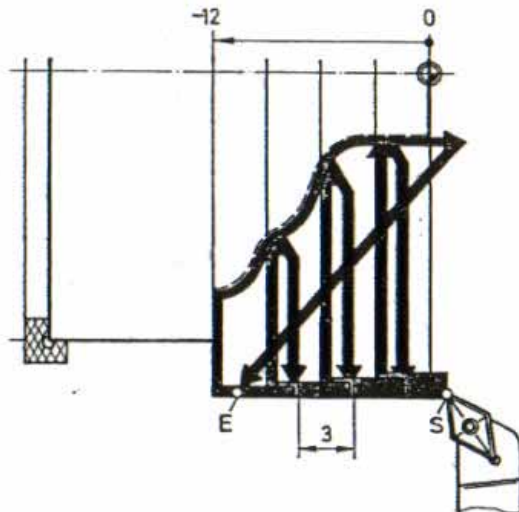
Gambar 43. Siklus pemakanan memanjang G 81 mesin Gildmeister

2.5.2 Arti Kode G 88

G 88 merupakan perintah untuk membuat siklus pembubutan melintang pada mesin CNC TU 2A EMCO. Pada mesin CNC PU 2A merek Gildmesiter siklus pembubutan melintang intruksinya berupa G 36 G 82. Bila pemakanan dimulai dari titik nol benda kerja, maka siklus ini dapat digunakan untuk mengurangi panjang benda kerja, atau untuk menghasilkan permukaan melintang yang halus selanjutnya dapat menentukan titik nol benda kerja. Berbeda dengan perintah G 84, benda kerja akan mengalami pengurangan diameter sepanjang titik koordinat yang sudah ditentukan sebelumnya.



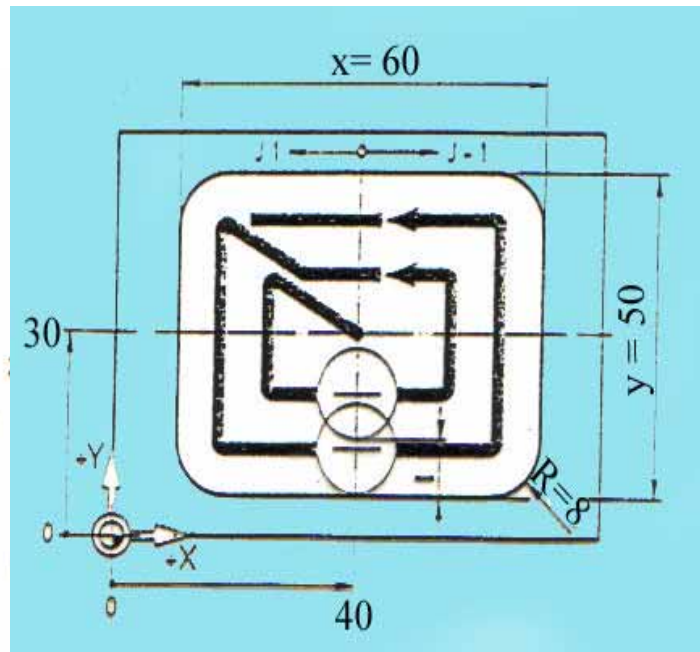
Gambar 44. Siklus pembubutan melintang G 36 G 82



Gambar 45. Siklus pembubutan melintang dengan finishing G 37 G 82

Bila proses pembubutan melintang dilanjutkan dengan proses finishing dengan menggunakan alat potong yang sama, maka siklus pemrogramannya menggunakan G 37 G 82

2.5.3 Siklus Pembuatan Kantong



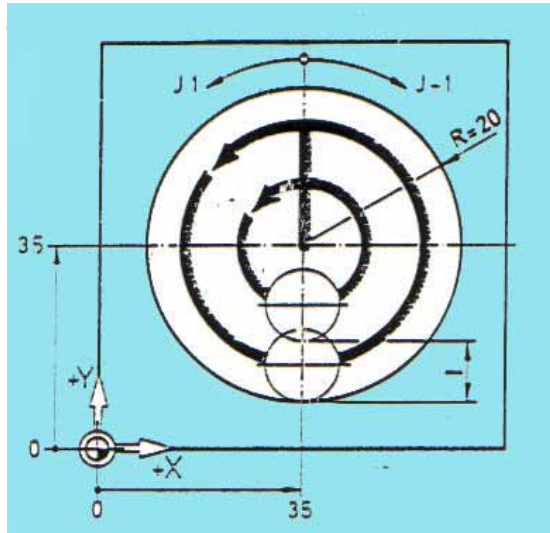
Gambar 46. Siklus pembuatan kantong

Penulisan program siklus pembuatan kantong di atas dapat dituliskan :

G87 X60 Y60 Z-10 B2 R8 (I70) (J-1) K5 F... Z.... M...

- G87 = Siklus pembuatan kantong (mesin CNC MAHO 432)
- X60 = Panjang kantong
- Y60 = Lebar kantong
- Z-10 = Kedalaman kantong
- B2 = Mulai dikerjakan alat potong pada jarak 2 mm di BK
- K5 = Setiap siklus melakukan pemakanan se dalam 5 mm
- I70 = Lebar pemakanan alat potong 70%
- J-1 = Pisau frais berputar berlawanan arah jarum jam

2.5.4 Siklus Pembuatan kantong Lingkaran



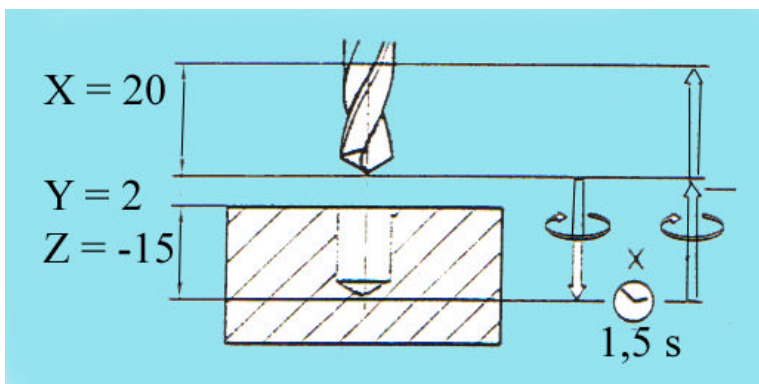
Gambar 47. Siklus kantong lingkaran

Penulisan program siklus pembuatan kantong di atas dapat dituliskan :

G89 Z-10 B2 R20 (I70) (J-1) K5 F... Z.... M...

- G89 = Siklus pembuatan lingkaran (mesin CNC MAHO 432)
- Z-10 = Kedalaman kantong
- B2 = Mulai dikerjakan alat potong pada jarak 2 mm di BK
- K5 = Setiap siklus melakukan pemakanan se dalam 5 mm
- I70 = Lebar pemakanan alat potong 70%
- J-1 = Pisau frais berputar berlawanan arah jarum jam

3.5.5 Siklus Pemrogramman Pengeboran



Gambar 48. Siklus Pengeboran

Penulisan program siklus pembuatan kantong di atas dapat dituliskan :

G81 (X1.5) Y2 Z-15 B20 R20 F... Z.... M...

G81 = Siklus pengeboran (mesin Frais CNC MAHO 432)

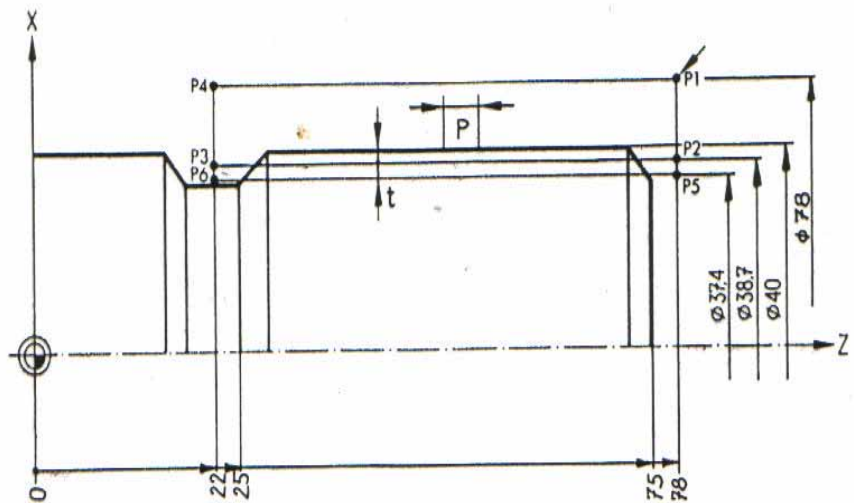
Z-15 = Kedalaman pengeboran 15 mm

Y2 = Jarak aman alat potong 2 mm di atas permukaan benda kerja

B20 = Jarak aman alat potong 20 mm di atas BK (setelah selesai)

2.5.6 Siklus pembuatan ulir G33

Siklus pembuatan ulir akan membuat ulir sesuai dengan prosedur baku. Siklus pembuatan ulir dilakukan setelah diameter luar ulir terbentuk. Setelah itu menggunakan mesin CNC akan mengganti alat potong sesuai dengan modul ulir yang akan dikerjakan. Di bawah ini contoh siklus pembuatan ulir M 40 x 2 dengan puncak ulir $P=2$ mm, dan kedalaman ulir 1,3 mm, menggunakan mesin CNC bubut Production Unit.



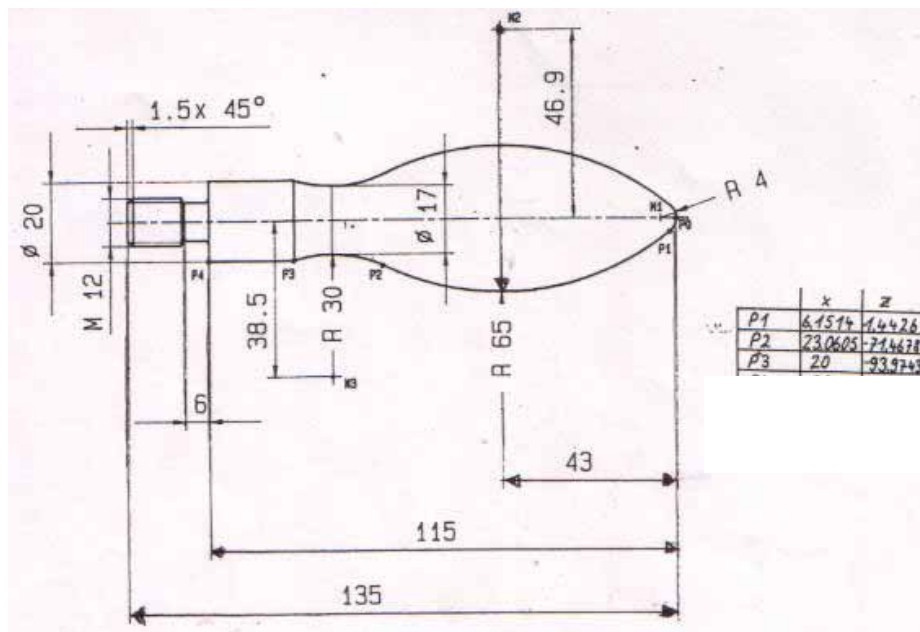
Gambar 49. Siklus pembuatan ulir G 33

Tabel 4. Siklus pembuatan ulir G33

N	G/M	X,Y,Z,I,J,K	Keterangan
01	90	S.....M 03	Poros berputar searah JJ
02	G 00	X 46 Z 78 M 07	Cairan pendingin mengalir
03	G 00	X 38,7	
04	G 33	Z 22 K 2	Tahap pertama penguliran
05	G 00	X 46	
06	G 00	Z 78	
07	G 00	X 37,4	
08	G 33	Z 22 K 2	Tahap kedua penguliran
09	G 00	X 46 M 09	
10	G 00	X 100 Z 150	
11	M 30		Program berhenti

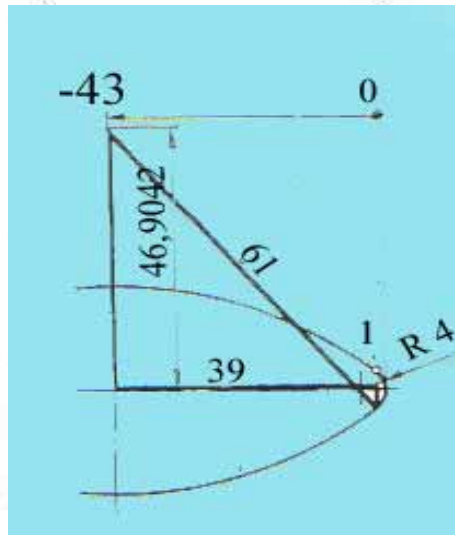
2.6 Menentukan titik koordinat benda kerja

2.6.1 Handel



Gambar 50. Dimensi handel

Penentuan Titik 1

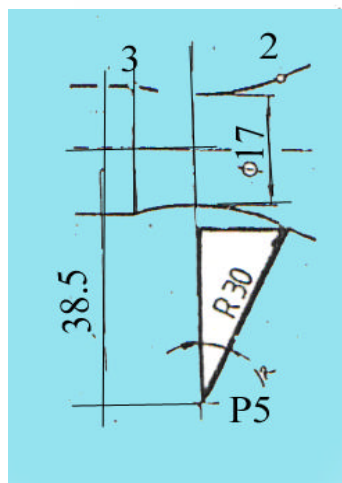


$$\begin{aligned} \frac{+6,9042}{61} &= \frac{x}{4} \\ \frac{x}{2} &= \frac{+6,9042 \cdot 4}{61} \\ \frac{x}{2} &= 3,075685246 \\ x &= \underline{6,1514} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{39}{61} &= \frac{y}{4} \\ y &= \frac{39 \cdot 4}{61} \\ y &= 2,557377049 \\ z &= 4 - y \\ z &= \underline{1,4426} \end{aligned}$$

Gambar 51. Perhitungan koordinat titik 1

Penentuan Titik 2



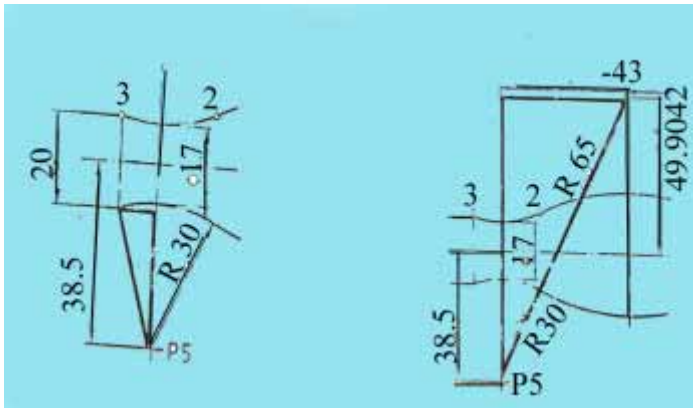
$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{41,61}{9,2} \cdot \frac{62}{100} \\ \alpha &= 25,97117024 \\ x' &= \sin \alpha \cdot 30 \\ x' &= 13,137759 \\ x &= x' \cdot 14,60562 \\ x &= \underline{71,4675} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x' &= \cos \alpha \cdot 29 \\ x' &= 26,71525 \\ x &= (38,5 - x') \cdot 2 \\ x &= \underline{23,5695} \end{aligned}$$

Gambar 52. Perhitungan koordinat titik 2

Penentuan Titik 3

Penentuan Titik 5



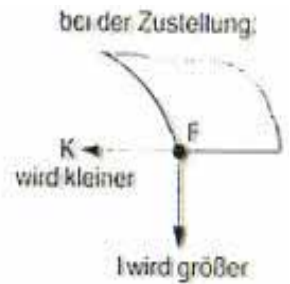
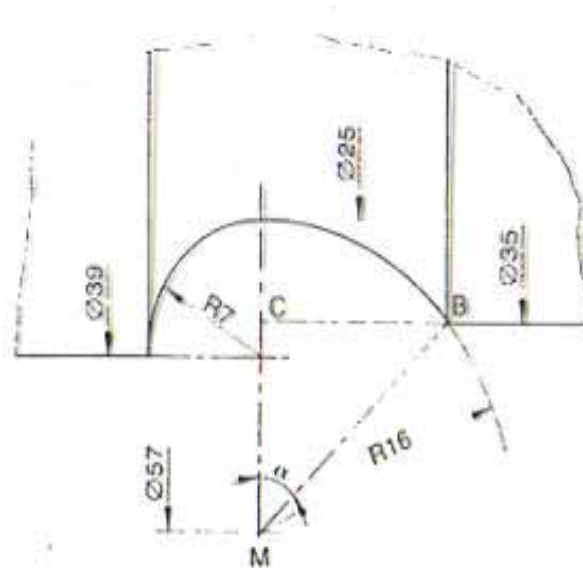
$$\begin{aligned}
 c^2 &= a^2 + b^2 \\
 b^2 &= c^2 - a^2 \\
 b^2 &= 95^2 - 85,4^2 \\
 &= 41,6068 \\
 z &= b + 43 \\
 &= 41,6068 + 43 \\
 &= 84,6068 \\
 x &= 38,5 \cdot 2 \\
 &= 77
 \end{aligned}$$

Gambar 53. Perhitungan koordinat titik 3 dan 5

Tabel 5. Koordinat hasil perhitungan benda kerja

Titik	X	Z
P1	6,1514	1,4426
P2	23,0605	-71,4678
P3	20	-93,9743
P4	20	-115
P5	77	-84,6068

2.6.2 Lengkungan



l	K
11,0	11,61
13,0	10,58
14,0	9,31
15,0	7,74
16,0	5,07
11	11,61

$$\begin{aligned} CM &= 11,0 \text{ mm} \\ BM &= 16,0 \text{ mm} \\ K = CB &= ? \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{CM}{BM} & \sin \alpha &= \frac{CB}{BM} \\ &= \frac{11 \text{ mm}}{16 \text{ mm}} = 0,6875 & CB &= \sin \alpha \cdot BM \\ & & &= 46,567^\circ \cdot 16,0 \text{ mm} = 0,7261 \cdot 16,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\underline{\cos \alpha = 46,567^\circ} \quad \underline{CB = 11,618 \text{ mm} = K}$$

$$\text{oder } c^2 = a^2 + b^2$$

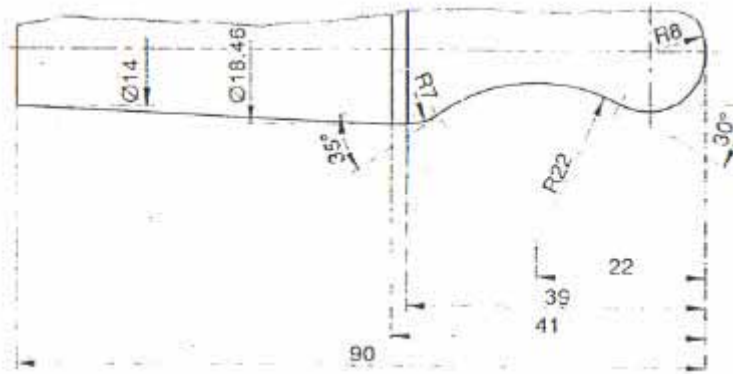
$$b = \sqrt{c^2 - a^2} = \sqrt{16^2 - 11^2}$$

$$\underline{b = 11,618 \text{ mm} = K}$$

2.6.3 Paron bola

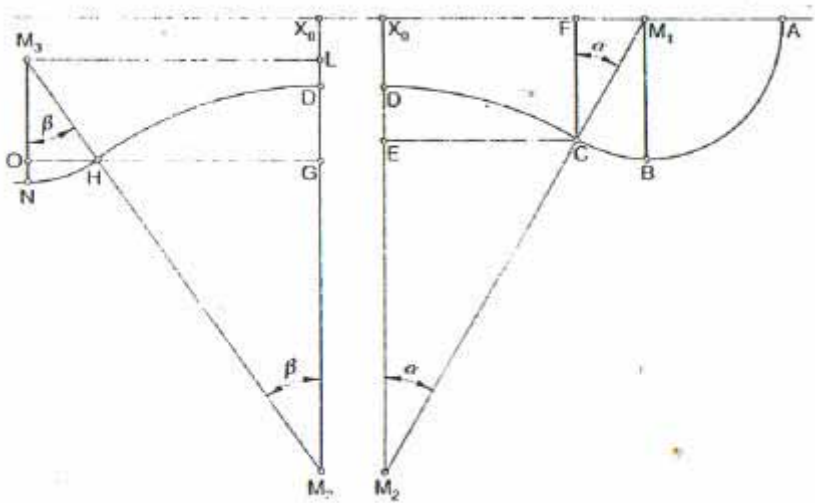


(a)

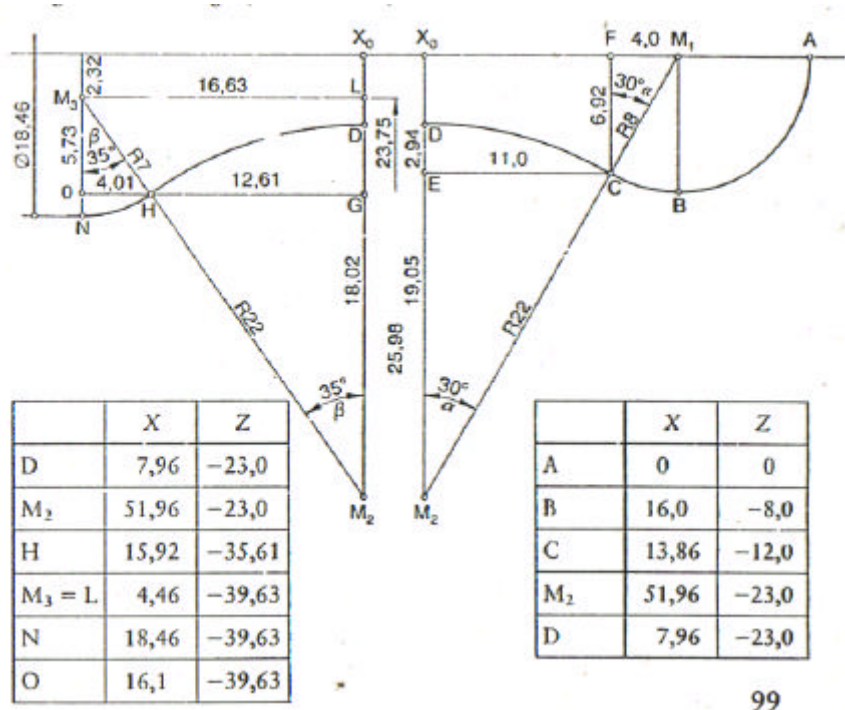


(b)

Gambar 54. Dimensi Paron Bola (a) dan dimensinya (b)



Gambar 55, Detail perhitungan kontur paron bola



99

Gambar 56, Penentuan titik koordinat paron bola

2.7 Kecepatan Potong dan Kecepatan Asutan

2.7.1 Kecepatan Potong (Vc)

$$Vc = (\pi \times d \times n) / 1000 \text{ (m/menit)}$$

d = Diameter Benda Kerja

n = Jumlah putaran/menit (rpm)

π = Phi = 3,14

Vc Dipengaruhi oleh: a) Bahan, b) Jenis alat potong,
c) Kecepatan penyayatan/asutan, d) Kedalaman penyayatan

2.7.2 Kecepatan Asutan (F)

Kecep. Asutan (F)

$$F \text{ (mm/menit)} = n \text{ (put/menit)} \times f \text{ (mm/put)}$$

Dimana : $n = (Vc \times 1000) / \pi \times d \text{ (put/menit)}$

F = dalam mm/putaran atau mm/menit

2.8 Mengoperasikan mesin CNC EMCO TU 2A

Langkah-langkah mengoperasikan mesin CNC EMCO TU 2A, antara lain :

a) Mempersiapkan program.

Program ini merupakan perintah atau informasi pengerjaan benda kerja oleh mesin CNC. Program yang dibuat harus benar agar tidak terjadi bahaya (kerusakan pahat, benda kerja, atau cekam).

b) Pemasukan program

Program yang sudah dibuat dimasukkan ke mesin CNC dengan menggunakan tombol-tombol angka.

- Pindahkan pengendali manual ke palayanan CNC dengan menekan tombol (H/C).
- Mulailah memasukan program dengan tombol angka. Setiap memasukkan satu angka tekan (INP) agar tersimpan. Jika salah hapus dengan (DEL).

c) Pengujian atau pemeriksaan program

Program yang sudah selesai dibuat dapat diperiksa kebenarannya dengan menekan tombol (-). Untuk memeriksa atau mengetahui gerakannya gunakan plotter. Langkah plotter akan berhenti jika program salah. Jika alarm informasi kesalahan berbunyi tekan (REV) + (INP). Lakukan koreksi kesalahan sampai program menjadi benar.



Gambar 57. Mesin CNC TU 2A EMCO

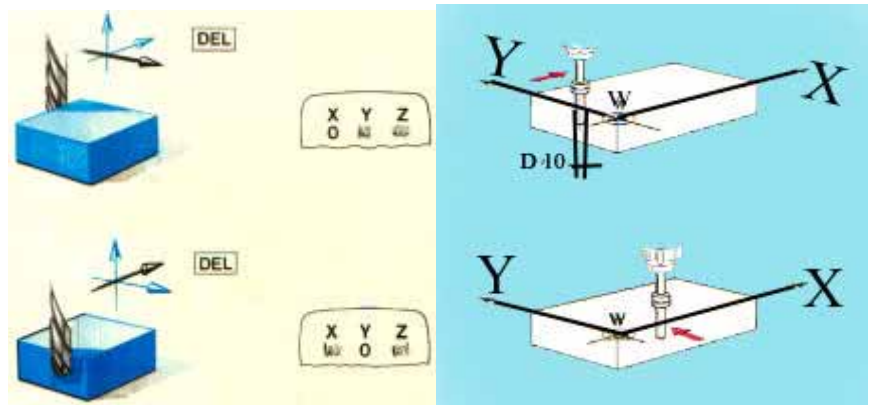
d) Eksekusi Program

Program yang sudah selesai dan benar dapat dieksekusi atau diterapkan pada Benda Kerja. Apabila belum berani ke benda kerja dapat diganti dengan lilin, kemudian baru menggunakan benda kerja aluminium.

2.8.1 Setting Tool

Mengatur posisi pahat jika menggunakan lebih dari satu macam pahat. Dilakukan dengan menggunakan sebuah Lup. Pahat yang disetel pertama sebagai pedoman untuk pahat yang lainnya. Hal ini dilakukan agar pahat tidak menabrak benda pada saat pergantian pahat.

- a. Mempersiapkan Benda Kerja
 - ✚ Pasang dan jepitlah benda kerja pada cekam dengan keras agar tidak goyang.
 - ✚ Jika diameternya kelebihan dapat dikurangi dengan pengendalian manual atau CNC (G 84)
- b. Tentukan titik awal pahat sesuai dengan program.



Gambar 58. Menentukan Titik Nol Benda Kerja pada Mesin CNC Frais

- c. Eksekusi Program.
Eksekusi program dilakukan dengan:
 - ✚ Tekan (H/C) manual ke CNC.
 - ✚ Aktifkan Sumbu Utama dengan memutar saklar putar ke arah CNC.
 - ✚ Tekan tombol (START)
- d. Jika akan terjadi bahaya tekan tombol darurat.
Untuk mengaktifkan kembali matikan kunci (OFF), hidupkan kembali (ON) putar kembali tombol darurat ke kanan.

2.8.2 Langkah Kerja

1. Susunlah program untuk membuat Pion
2. Masukkan program tersebut ke mesin CNC TU 2A untuk membuat program pion, dan pada saat memasukkan data alangkah baiknya motor dimatikan dengan G 64

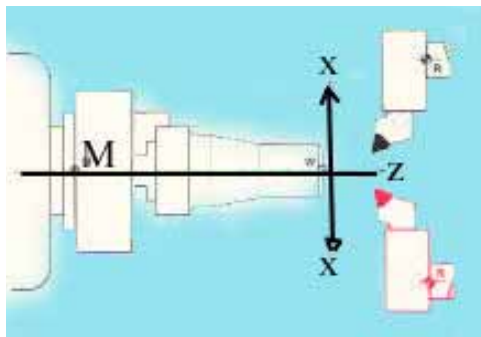
3. Periksa program dengan (-) dan menggunakan plotter untuk mengetahui gerakan pahat.
4. Jika sudah benar programnya. Mulailah eksekusi program.
5. Setting Tool.
6. Pasang benda kerja (aluminium) dengan kuat jangan sampai goyang.
7. Tentukan titik awal pahat dengan menekan tombol X dan Z secara manual.,. Untuk posisi nol tekan tombol (DEL), Pahat digerakkan ke sumbu utama benda tekan (DEL) maka $X = 0$. Pahat digerakkan ke tepi benda gerakan sedikit Z, tekan (DEL) maka $Z = 0$. Letakkan pahat pada titik $X = 1350$, $Z = 500$
8. Eksekusi program
 - Tekan tombol (H/C)
 - Putar saklar menjadi CNC
 - Tekan tombol (START)
 - Mesin akan menggerakkan program
9. Jika sudah selesai bersihkan mesin CNC TU 2A, dan kembalikan perlengkapan ke tempat semula.

2.9 Membuat Benda Kerja Menggunakan Mesin CNC

2.9.1 Membuat Program CNC Bubut EMCO TU 2A

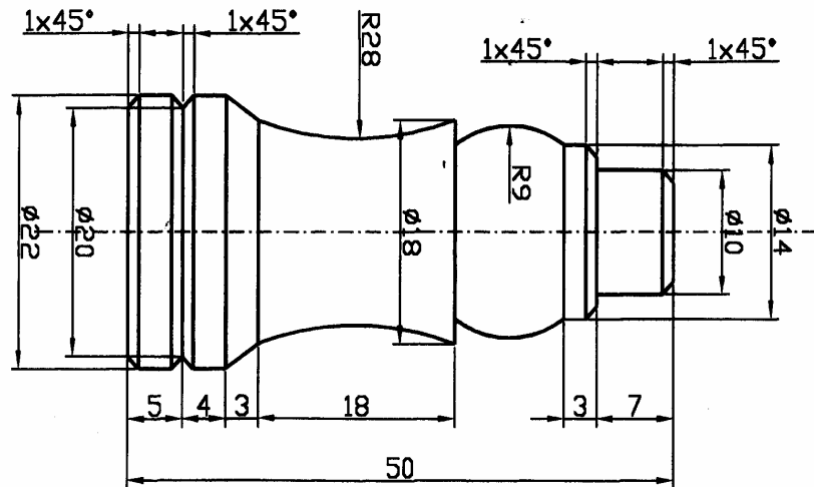
Mesin CNC TU 2A (Training Unit 2 Aksis) merupakan mesin bubut CNC yang memiliki dua sumbu gerakan yaitu sumbu X dan sumbu Z. Sumbu X menunjukkan besar kecilnya diameter sedangkan sumbu z menunjukkan panjang langkah pahat/alat potong. 2A menunjukkan jumlah sumbu (Sumbu x dan Sumbu Z). Selain dapat dijalankan secara otomatis mesin ini dapat juga melayani eksekusi manual.

Sebelum membuat program benda kerja, kita harus memahami dulu sistem persumbuan pada mesin CNC Bubut, sumbu X menyatakan besar kecilnya diameter sedangkan Z menunjukkan panjang langkah, antara lain sebagai berikut:



Gambar 59. Sistem persumbuan pada mesin bubut

Benda kerja yang akan dibuat adalah sebuah pion dari bahan material Alumunium dengan dimensi awal berdiameter 32 mm panjang 50 mm dengan bentuk sebagai berikut.



Gambar 60. Benda kerja pion yang akan dibuat

Dari benda kerja di atas, maka dapat dibuat program dengan menggunakan mesin CNC EMCO Training Unit (TU 2A) sebagai berikut :

Tabel 6. Program benda kerja pion pada Mesin CNC TU 2A

NO	G/M	X	Z	F
1	G92	27500	500	
2	M03			
3	G00	3200	100	
4	G84	3200	-5500	50
5	G00	2000	100	
6	G84	2000	-5000	50
7	G01	2000	-1600	50
8	G84	1800	-8000	50
9	G01	1600	-1000	50
10	G84	1600	-2200	50
11	G01	1400	-1600	50
12	G84	1400	-2200	50
13	G01	1200	-1700	50
14	G84	1200	-2100	50
15	G01	2200	-1000	50
16	G84	1400	-2500	50
17	G01	1200	-2500	50

18	G84	1200	-3500	50
19	G00	1600	-4000	
20	G01	2000	-5000	50
21	G00	2200	100	
22	G00	1800	100	
23	G84	1800	-500	50
24	G00	1600	100	
25	G84	1600	-400	50
26	G00	1400	100	
27	G84	1400	-300	50
28	G00	1200	100	
29	G84	1200	-200	50
30	G00	0	0	
31	G03	2000	-1000	50
32	M99	I 00	K 1000	
33	G00	2000	-1500	
34	G02	1000	-2000	50
35	M99	I 00	K 500	
36	G01	1600	-2300	50
37	G01	1000	-2600	50
38	G01	1400	-4000	50
39	G01	1600	-4000	50
40	G01	2000	-5000	50
41	G00	2750	500	50
42	M30			

2.9.2 Mesin Frais CNC TU 3A

Mesin Frais CNC (*Computer Numerically Controlled*) TU (*Training Unit*) 3A merupakan mesin bubut CNC dengan tiga sumbu gerakan yaitu sumbu X (gerak ke arah horizontal), sumbu Y (gerakan melintang) dan sumbu Z (gerakan vertikal) yang sistem pengoperasiannya menggunakan program yang dikontrol langsung oleh komputer. Mesin Frais CNC TU 3A dapat dioperasikan secara otomatis (lewat program yang dikendalikan komputer) maupun secara manual.



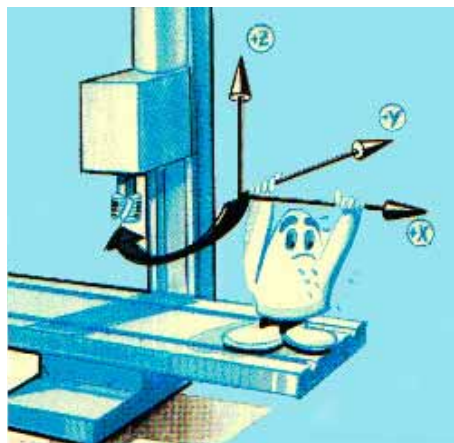
Gambar 61. Mesin Frais CNC TU 3A EMCO

Bagian-bagian Mesin Frais CNC TU 3A hampir sama dengan Mesin Bubut CNC TU 2A, namun ada beberapa bagian yang berbeda yaitu :

1. Eretan (*Support*): gerak persumbuan jalannya mesin untuk mesin 3 axis memiliki dua fungsi gerakan kerja yaitu posisi vertikal dan posisi horizontal.
2. Rumah Alat Potong (*Milling Taper spindle*): menjepit tool atau alat potong.
3. Ragum : berfungsi untuk menjepit benda kerja.

Unsur pengendali manual pada Mesin Frais CNC TU 3A sama dengan Mesin Bubut CNC TU 2A begitu juga dengan cara pengoperasian mesin dan langkah-langkah penggunaannya.

Mesin Frais CNC TU 3A memiliki 3 aksis (sumbu) sehingga pada saat praktikum tombol masukan data yang juga ikut digunakan yaitu G 83 yang berfungsi siklus pengeboran dengan penarikan total (sumbu Z yang gerakanya vertikal).



Gambar 62. Sumbu simetri mesin Frais CNC TU 3A EMCO

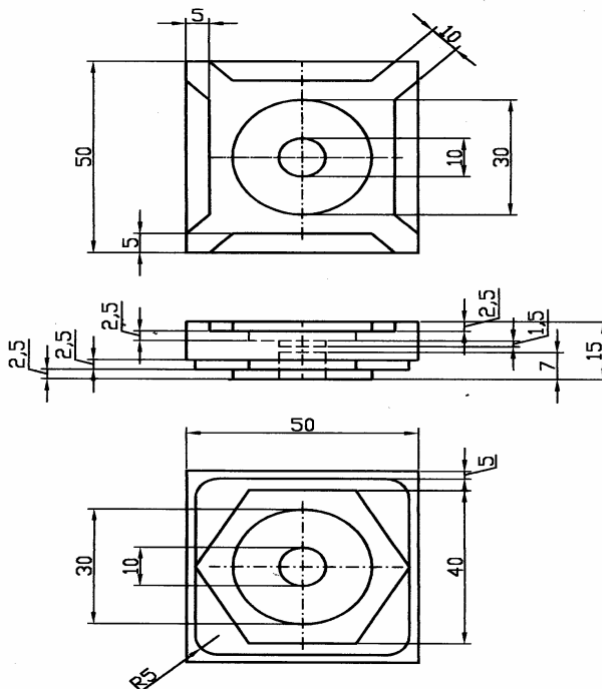
Adapun pelayanan pembagian tombol TU 3A adalah sebagai berikut:

a. Unsur pelayanan CNC.

1. Saklar utama : Memory hilang apabila mesin dimatikan.
2. Lampu kontrol : Menunjukkan supply tenaga pada mesin unit pengendali.
3. Tombol darurat: Jika tombol ini ditekan memory akan hilang, berfungsi sebagai pegangan jika pahat akan menabrak cekam, atau benda kerja akan lepas, dan pahat terlalu dalam memakan.
4. Saklar pemilih sistem persumbuan dan untuk pelayanan metric / inch.

2.9.3 Pembuatan Benda Kerja dengan Mesin CNC EMCO TU 3A

Sebelum membahas lebih jauh mengenai cara pemrograman benda kerja dengan mesin CNC, perlu diinformasikan terlebih dahulu jenis mesin apa yang akan digunakan, serta metode pemrograman yang akan digunakan, diameter pisau frais, panjang pisau frais (bila akan menggunakan lebih dari satu PF). Dalam contoh di bawah ini penulis akan membahas pemrograman membuat benda kerja berupa asbak rokok dengan menggunakan mesin CNC EMCO TU 3A (mesin frais).



Gambar 63. Benda kerja Asbak Rokok

Ada beberapa cara untuk membuat program benda kerja seperti di atas, yang pertama dengan menggunakan metode absolut, yang kedua dengan menggunakan metode inkremental. Penggunaan

metode kombinasi memungkinkan sebagian program menggunakan metode absolut (G 92) dan sebagian lagi menggunakan metode pemrograman berantai (inkremental) (G91).

Dari benda kerja di atas dapat dibuat program mesin CNC Frais dengan mesin CNC TU 3A sebagai berikut:

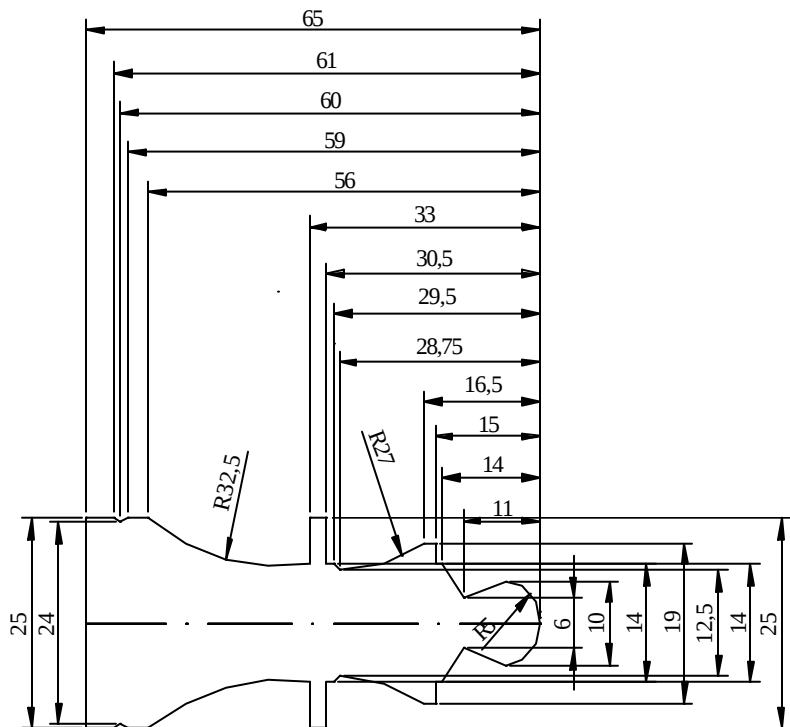
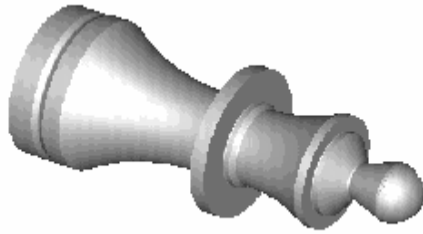
Tabel 7. Program benda kerja asbak rokok dengan Mesin CNC TU 3A

NO	G	X	Y	Z	F
00	92	-2500	00	6000	
01	M 03				
02	M 06	D 500	S 1000	00	T 01
03	00	00	00	6000	
04	00	00	00	500	
05	01	00	00	-250	60
06	01	5000	5000	-250	60
07	00	5000	5000	500	
08	00	00	5000	500	
09	01	00	5000	-250	
10	01	5000	00	-250	60
11	01	4000	1000	-250	60
12	01	1000	1000	-250	60
13	01	1000	4000	-250	60
14	01	4000	4000	-250	60
15	01	4000	1000	-250	60
16	01	2500	1500	-250	60
17	01	2500	1500	-500	60
18	02	1500	2500	-500	60
19	02	2500	3500	-500	60
20	02	3500	2500	-500	60
21	02	2500	1500	-500	60
22	00	2500	1500	500	
23	00	2500	2500	500	
24	83			-700	25
25	00	2500	2500	6000	
26	00	-2500	00	6000	
27	M 05				
28	M 00				
29	M 03				
30	00	400	400	6000	
31	00	400	400	500	
32	01	400	400	-250	60
33	01	400	4600	-250	60
34	01	4600	460	-250	60
35	01	4600	400	-250	60
36	01	400	400	-250	60
37	01	400	2500	-250	60
38	01	500	2500	-250	60

39	02	2500	4500	-250	60
40	02	4500	2500	-250	60
41	02	2500	500	-250	60
42	02	500	2500	-250	60
43	01	-310	2500	-250	60
44	01	-310	2500	-500	60
45	01	1057	5000	-500	60
46	01	3942	5000	-500	60
47	01	5310	2500	-500	60
48	01	3942	00	-500	60
49	01	1057	00	-500	60
50	01	-310	2500	-500	60
51	01	-310	2500	-700	60
52	01	-310	3810	-700	60
53	02	1190	5310	-700	60
54	01	3810	5310	-700	60
55	02	5310	3810	-700	60
56	01	5310	1190	-700	60
57	02	3810	-310	-700	60
58	01	1190	-310	-700	60
59	02	-310	1190	-700	60
60	01	-310	2500	-700	60
61	00	-310	2500	500	
62	00	2500	2500	500	
63	83			-700	25
64	00	2500	2500	6000	
65	00	-2500	00	6000	
66	M 05				
67	M 30				

2.10 Membuat Benda Kerja Berbasis Software AutoCAD

Membuat benda kerja menggunakan mesin perkakas CNC dapat melalui pemrograman CNC seperti di atas. Pemrograman konvensional memerlukan waktu yang lama, terutama bila harus menghitung pertemuan dua kontur dalam satu titik koordinat. Programmer harus menghitung titik potongnya secara trigonometri dengan ketelitian hingga 0,001 mm. Melalui software CNC Keller Q Plus. Benda kerja dapat dibuat secara bebas dengan menggunakan software AutoCAD selanjutnya disimpan dalam bentuk dxf file ke software CNC Keller Q Plus. Berikut ini akan diberikan contoh membuat benda kerja berbentuk mentri catur yang akan digambar dulu menggunakan software AutoCAD selanjutnya akan dibuat program CNC nya melalui software CNC Keller Q Plus. Adapun benda kerja berupa Mentri catur dengan dimensi sebagai berikut:

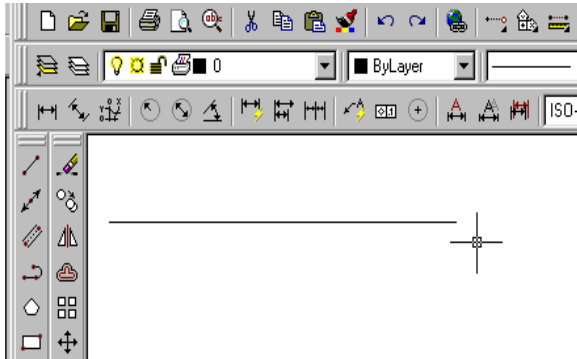


Gambar 64. Menti Catur

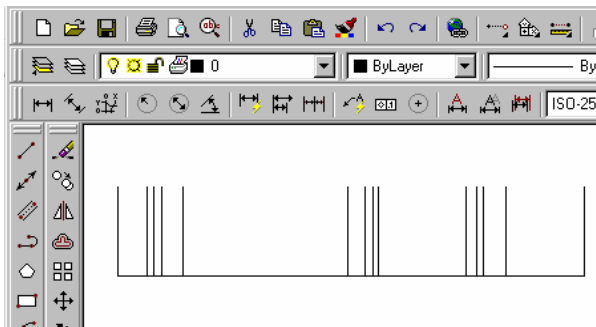
Ada beberapa langkah yang harus ditempuh, adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

2.10.1 Menggambar rencana benda kerja pada *Software AUTOCAD*

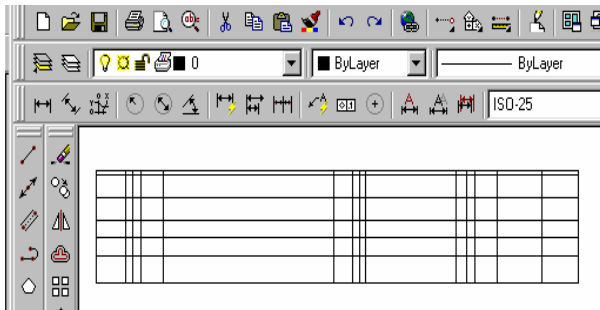
- 1) Klik  tarik garis ke arah horisontal *Next Point* = 65



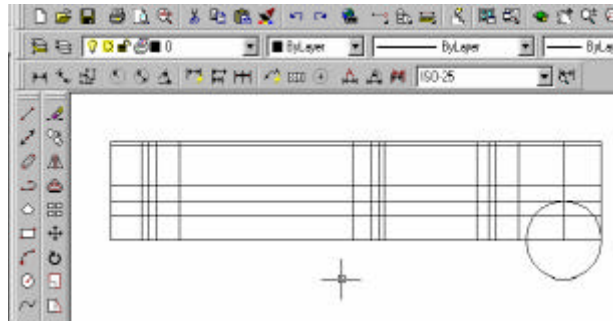
- 2) klik  tarik garis ke arah vertikal *Next Point* : 12.5 kemudian klik  atau ketik *Specify offset distance or (Through)<11.0000>*: 14, 15, 16.5, 28.75, 29.5, 30.5, 33, 56, 59, 60, 61, 65



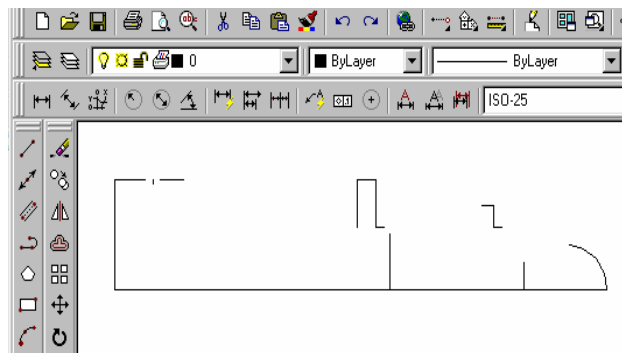
- 3) klik offset  ketik dengan nilai *Specify offset distance or (Through)<5.0000>*: 3, 5, 7, 9.5, 6.25, 9.5, 12.5



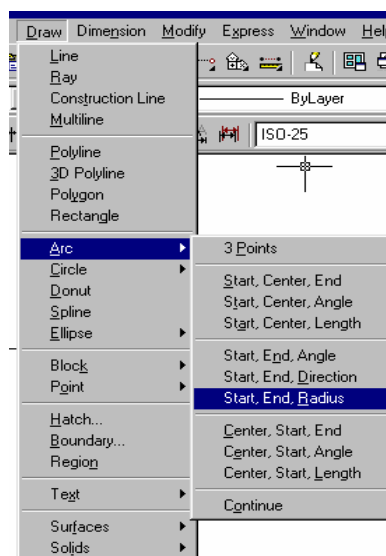
- 4) klik  ketik *Specify radius of circle or (Diameter)* : Ketik 5 Enter



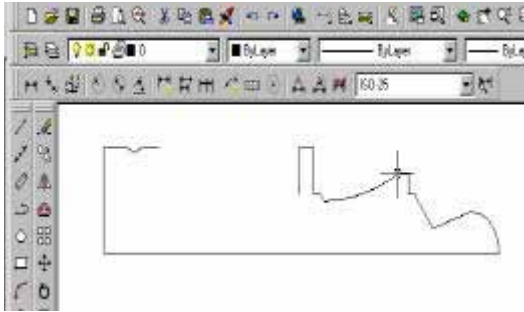
- 5) Klik *Trim*  atau *erase*  untuk menghapus garis yang tidak terpakai sehingga didapatkan gambar seperti dibawah ini.



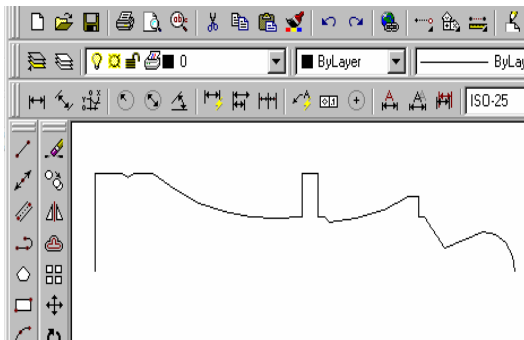
- 6) Klik *Draw* pada *toolbar* kemudian klik *Arc* dan klik lagi *Start, End Radius*.



- 7) *Specify second point of arc or (Angle/ Direction/ Radius) :_spesify radius of arc* : ketik 27

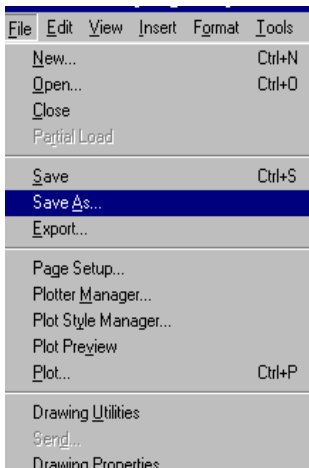


- 8) Klik *Draw* pada *toolbar* kemudian klik *Arc* dan klik lagi *Start, End Radius* untuk membuat radius yang kedua dengan *Specify second point of arc or (Angle/ Direction/ Radius) :_spesify radius of arc* : ketik 32.5

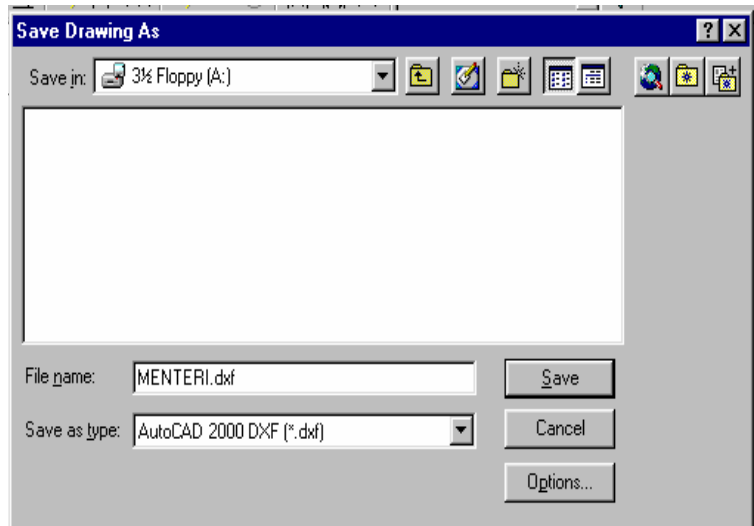


Menyimpan file gambar pada disket

- 1) Klik *file* pada *toolbar* kemudian klik *Save As*

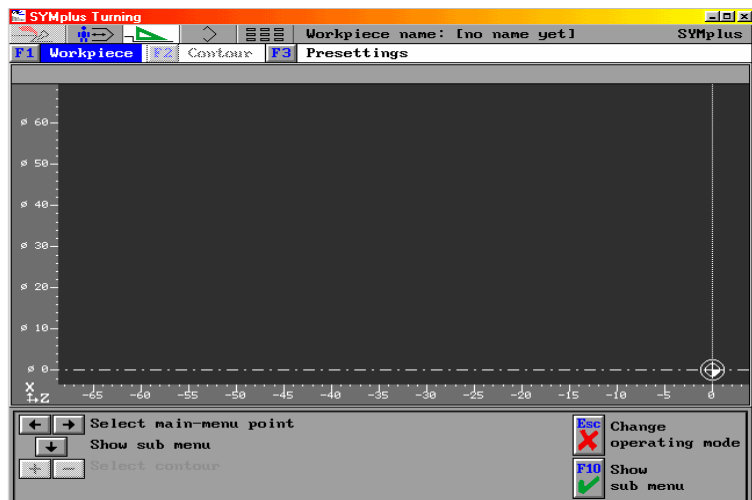


- 2) Pada *Save Drawing As* pilih *Save in 3 ½ Floppy (A:)* untuk penyimpanan pada disket.
- 3) Isi *File name*, contoh nama file MENTERI dan pilih *Save as type AutoCAD 2000 DXF (*.dxf)* kemudian save.

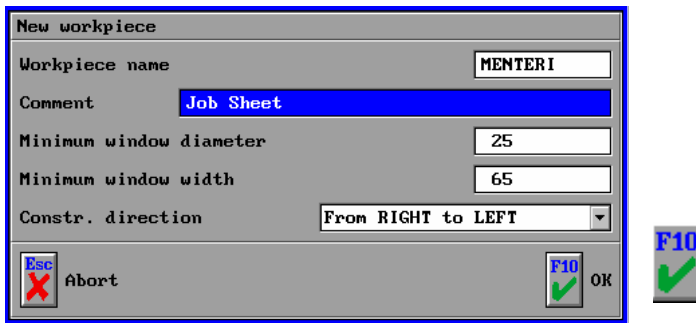


3.10.2 Mengimpor file dari gambar *AutoCAD* ke software *KELLER SYMplus*.

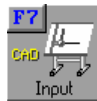
- a. Klik *geometry*



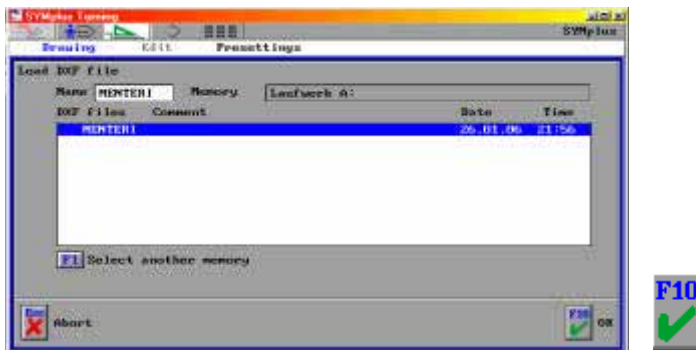
- b. Klik **F1 Workpiece** kemudian **F1 Create**



c. Klik **F2 Contour** kemudian

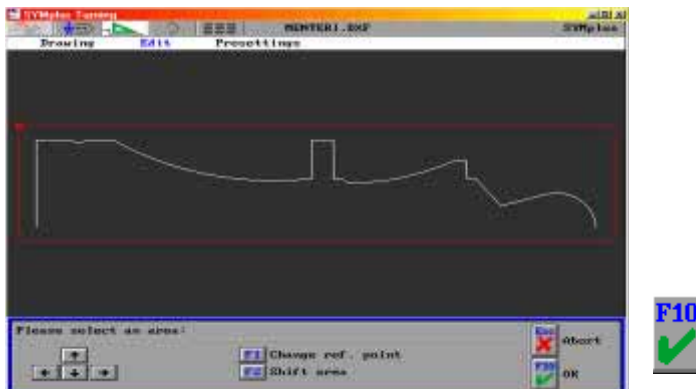


d. Klik **F1 Drawing** kemudian

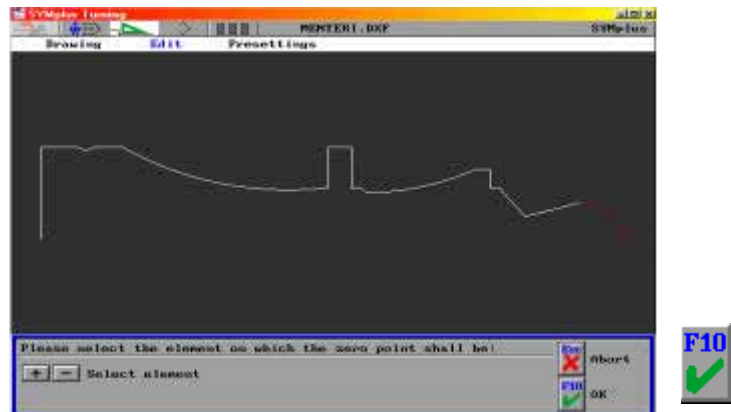


klik **F2 Edit** kemudian

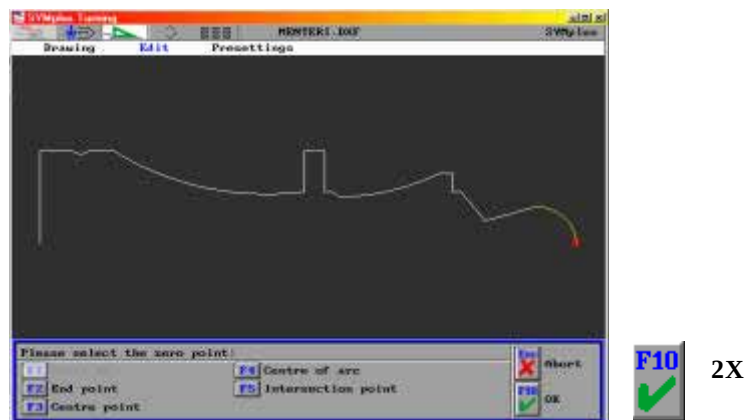
F1 Area



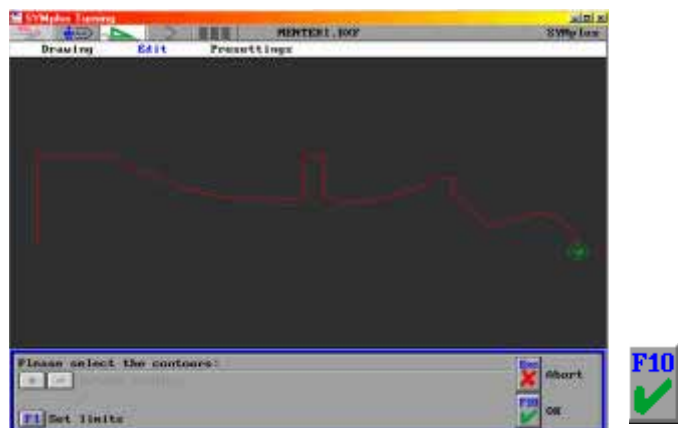
- e. Klik **F2 Edit** kemudian **F2 Zero point**

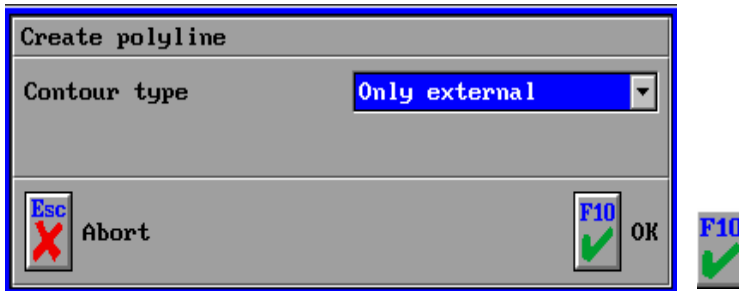


- f. Klik **+ - Select element** untuk mencari element

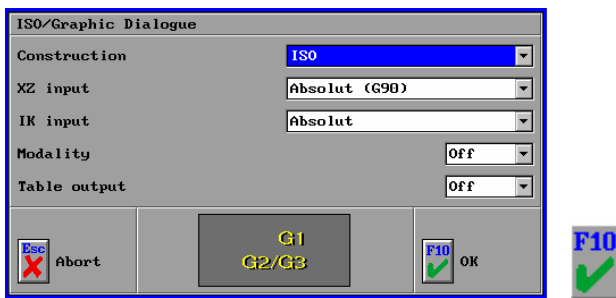


- g. Klik **F2 Edit** kemudian **F5 Automatic**

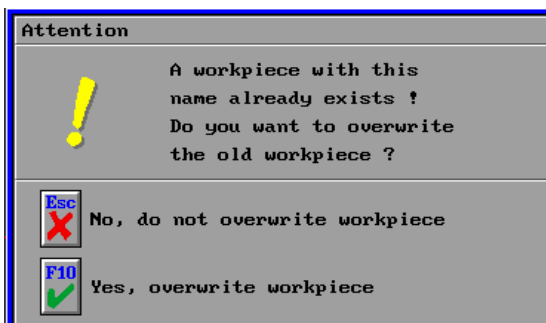
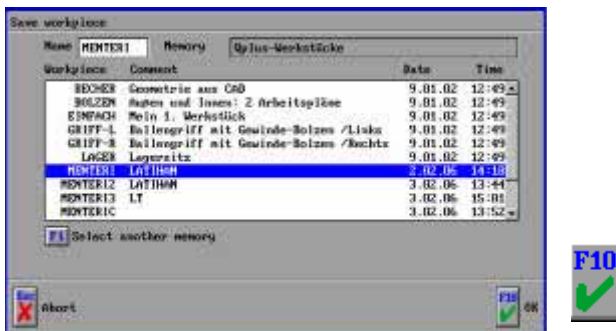




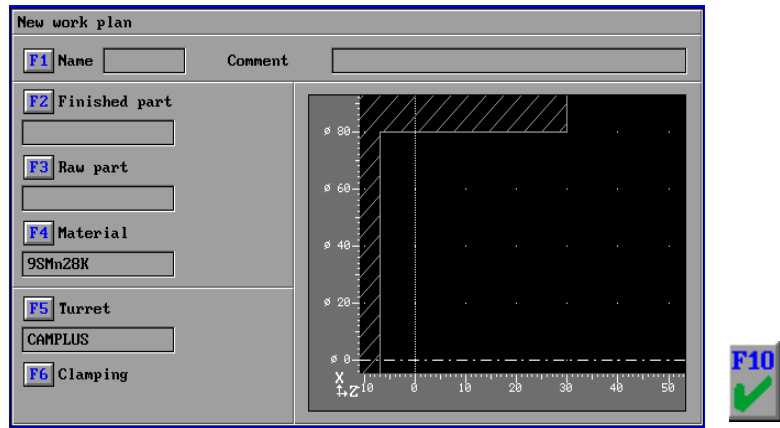
h. Klik **F3 Presettings** kemudian **F2 ISO/Graphic Dialogue**



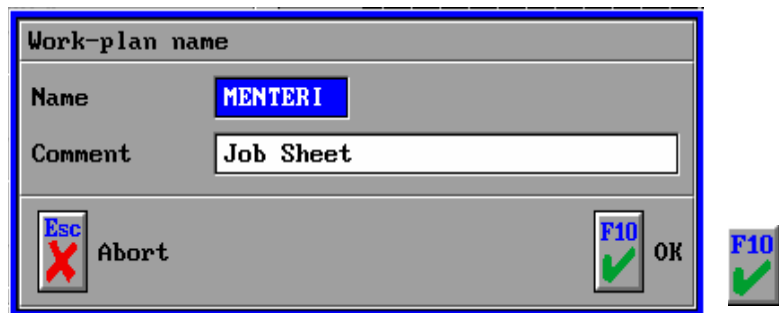
i. Klik **F1 Workpiece** kemudian **F4 Save**



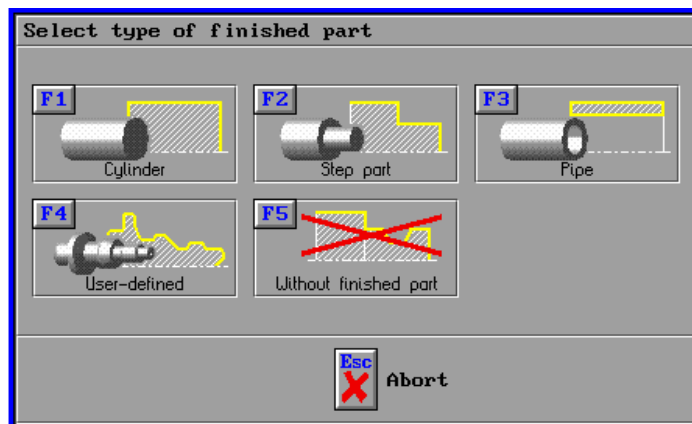
Klik  kemudian klik **F1 Work plan** **F1 Create**

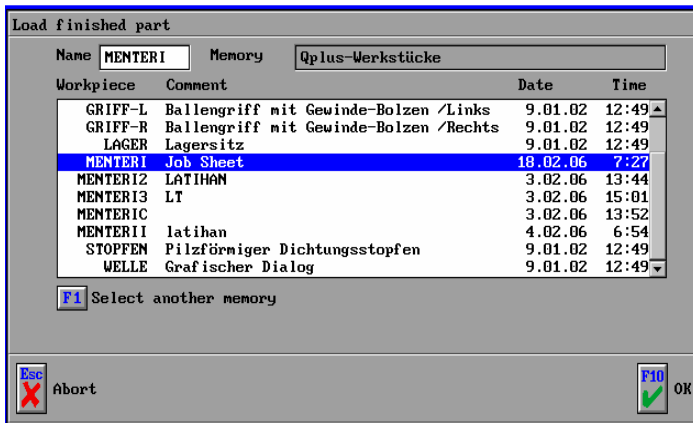
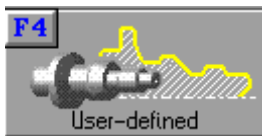


j. Klik **F1 Name**



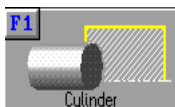
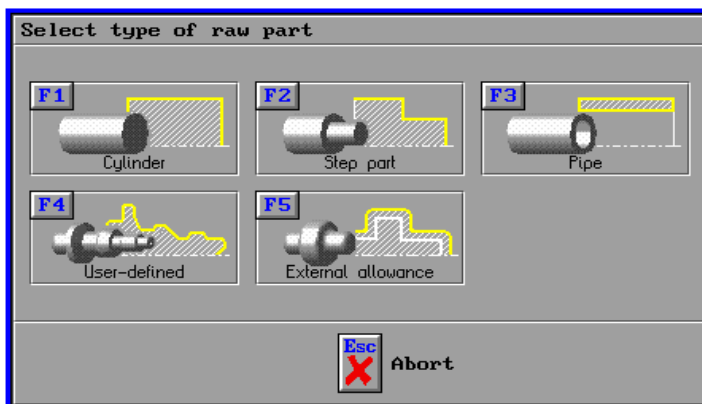
k. Klik **F2 Finished part**





I. Klik

F3 Raw part



o. Klik **F6 Clamping**

Clamping		
Workpiece posi	Safety zone	Settings
Rechucking workpiece	Reference	Change position X
no	Chuck	150 mm
Chuck clearance	Est. value Z	Change position Z
5 mm	0 mm	100 mm
Total length	Diameter X	Chuck thickness
70 mm	25 mm	120 mm
Zero point reference	Int. value Z	Maximum speed
End face	-2 mm	3000 rpm
Shift Z		
0 mm		

Select Field
 Modify Field

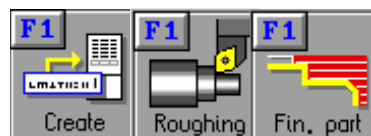
Abort
 OK

New work plan		
F1 Name	MENTER1	Job Sheet
F2 Finished part	MENTER1	
F3 Raw part	Cylinder	
F4 Material	AlCuMgPb	
F5 Turned	CAMPUS	
F6 Clamping		

Abort
 OK



p. Klik **F2 Operation** Kemudian



Roughing	
F1	Station
2	Compensation memory
2	Rough angle
90	Tool tip radius
0.8 mm	Tool offset X
55.04 mm	Tool offset Z
39.124 mm	

Select dialog
 Select field
 Modify Field

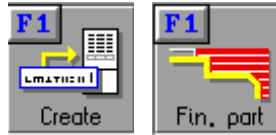
Abort
 OK



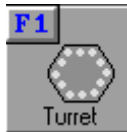
3X

F1 Accept operation without simulation

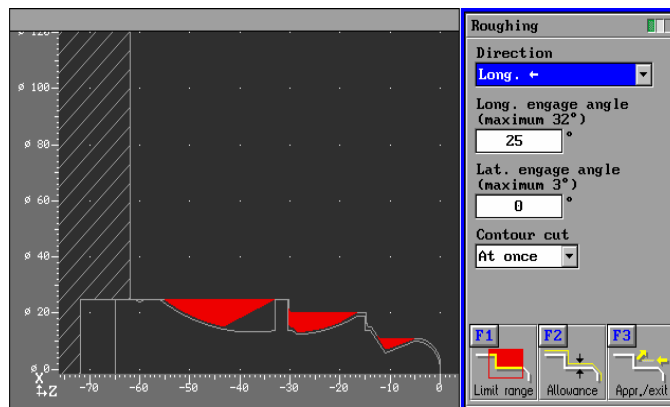
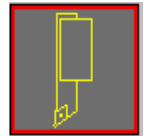
q. Klik



r. Klik



untuk memilih pahat yang digunakan

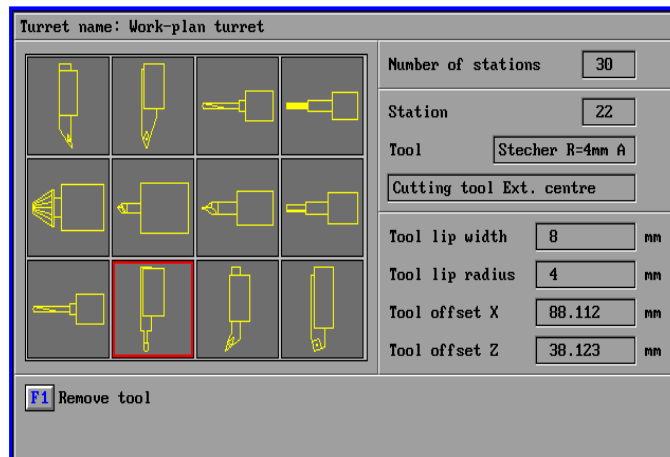
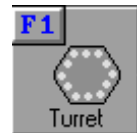
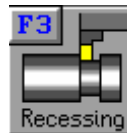


F1 Accept operation without simulation

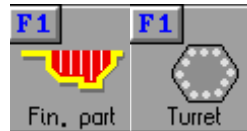
s. Klik



kemudian



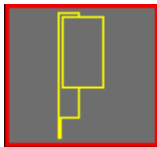
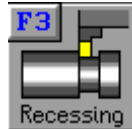
F1 Accept operation without simulation



t. Klik



kemudian



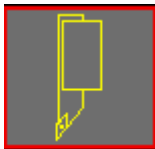
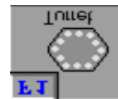
4X

F1 Accept operation without simulation

u. Klik

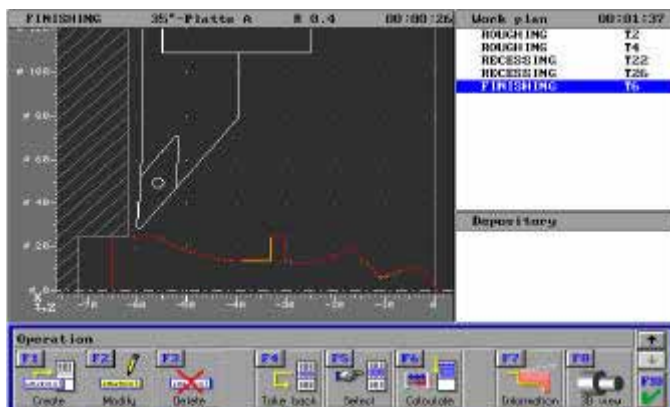


kemudian



4X

F1 Accept operation without simulation





Klik

Untuk melihat simulasi 3D

v. Klik

F1 Work plan

F4 Save

Save work plan

Name: **MENTERI** Memory: **CAMplus-Arbeitspläne**

Work plan	Comment	Date	Time
4-WELLE	Was noch möglich ist = 2:30min	9.01.02	12:47
5	Hohlwelle	9.01.02	12:47
6	Stechschruppen	9.01.02	12:47
7	Schwer-Zerspanung mit 75°-WZ	9.01.02	12:47
8	Das sollten Sie sich ansehen !	9.01.02	12:47
9	Teilefamilien-Fertigung 9A/9B	9.01.02	12:47
MENTERI	LATIHAN	4.02.06	6:44
MENTERI1	Latihan	3.02.06	14:30
MENTERI2	LATIHAN	3.02.06	14:55
MENTERI3	Latihan	2.02.06	14:07

F1 Select another memory

Esc Abort **F10** OK



Attention

! A work plan with the same name already exists !
Do you want to overwrite the old work plan ?

Esc No, do not overwrite the work plan

F10 Yes, overwrite the work plan



w. Klik

F4 NC program

F1 Create

F2 Parameter set ...

F3 Management ...

Create NC program

Control parameter **F1**

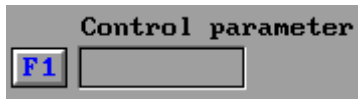
NC program **F2**

Program number

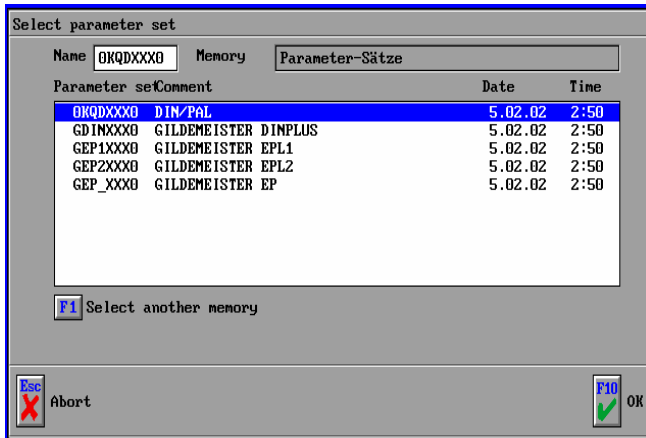
Comment

Job Sheet

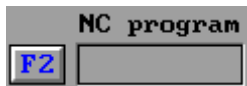
Esc Abort **F10** OK



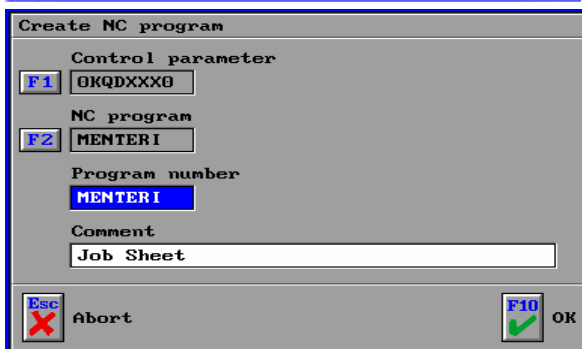
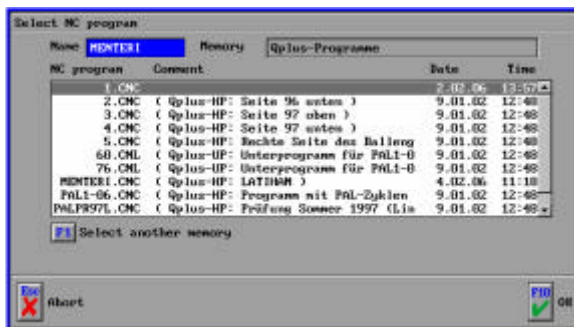
x. Klik



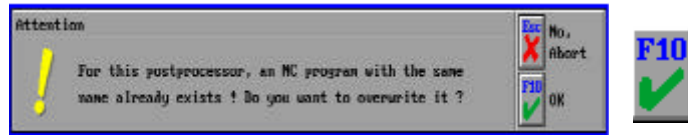
y. Klik



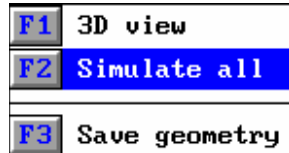
pada kolon *name* ketik MENTERI



2X



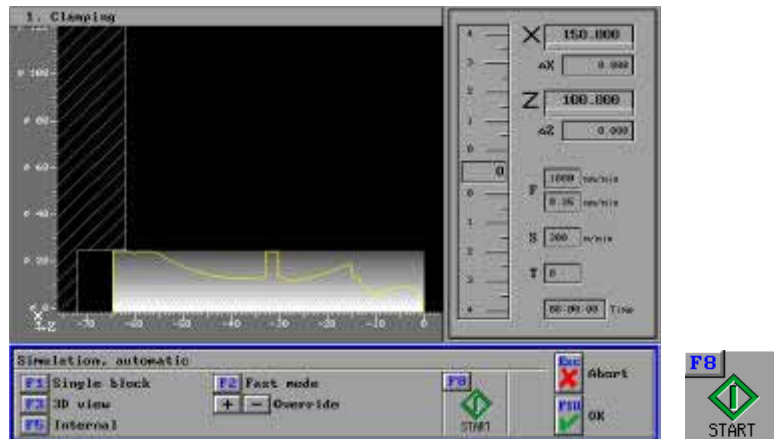
z. Klik **F3 Workpiece** kemudian pilih



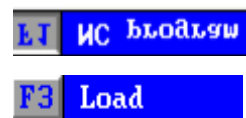
F1 3D View untuk melihat gambar 3 D

F2 Simulate all untuk melihat simulasi keseluruhan

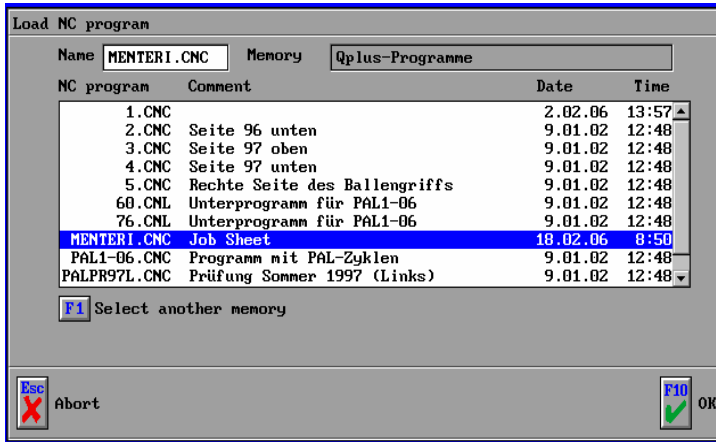
aa. Klik **F2 Simulate all**



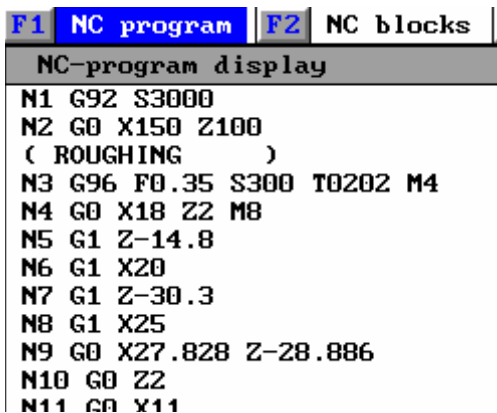
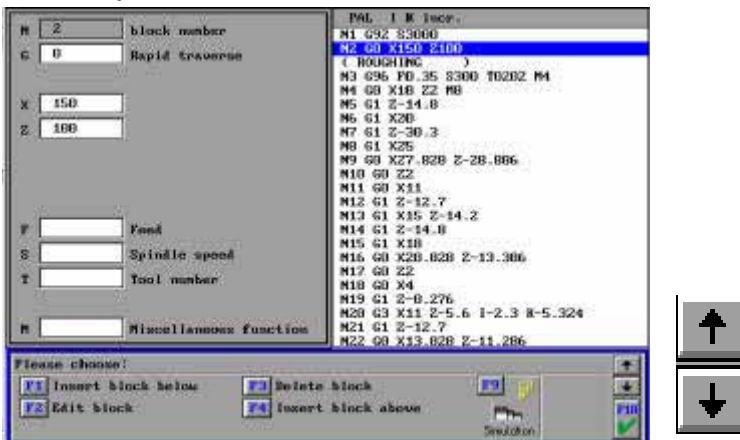
bb. Klik NC Program  kemudian



cc. Klik MENTERI. CNC Job Sheet



dd. Klik **F2 NC blocks** untuk melihat NC Program tiap Blocknya



ee. Hasil konversi pemrogramannya secara lengkapnya sebagai berikut:

```
N1 G92 S3000
N2 G0 X150 Z100
( ROUGHING )
N3 G96 F0.35 S300 T0202 M4
N4 G0 X18 Z2 M8
N5 G1 Z-14.8
N6 G1 X20
N7 G1 Z-30.3
N8 G1 X25
N9 G0 X27.828 Z-28.886
N10 G0 Z2
N11 G0 X11
N12 G1 Z-12.7
N13 G1 X15 Z-14.2
N14 G1 Z-14.8
N15 G1 X18
N16 G0 X20.828 Z-13.386
N17 G0 Z2
N18 G0 X4
N19 G1 Z-0.276
N20 G3 X11 Z-5.6 I-2.3 K-5.324
N21 G1 Z-12.7
N22 G0 X13.828 Z-11.286
N23 G0 Z2
N24 G0 X2.429
N25 G1 Z0
N26 G1 X2.648 Z-0.032
N27 G3 X4 Z-0.276 I-1.624 K-5.568
N28 G0 X6.828 Z1.139
N29 G0 X150 Z100 M9
( ROUGHING )
N30 G96 F0.3 S300 T0404 M4
N31 G0 X11 Z-4.13 M8
N32 G1 Z-6.13
N33 G1 X7.496 Z-11.386 F0.1

N34 G1 X11 Z-12.7 F0.3
N35 G0 X14.447 Z-11.685
N36 G0 X20.845
N37 G0 Z-16.771
N38 G1 X17.130 Z-20.746 F0.1
N39 G2 X15 Z-24.104 I24.374 K-9.609
N40 G1 Z-30.3 F0.3
N41 G1 X20
N42 G0 X23.447 Z-29.285
N43 G0 X19 Z-24.104
N44 G1 X15 F0.1
N45 G2 X13.552 Z-29.045 I25.443 K-6.25
N46 G1 X15 Z-29.769 F0.3
N47 G1 Z-30.3
N48 G0 X18.447 Z-29.285
N49 G0 X25.845
N50 G0 Z-33.271
```

N50 G0 Z-33.271
 N51 G1 X20 Z-39.539 F0.1
 N52 G1 Z-51.102 F0.3
 N53 G2 X24.739 Z-55.42 I28.893 K13.043
 N54 G1 X25 Z-55.62

 N55 G0 X28.447 Z-54.605
 N56 G0 X24 Z-39.539
 N57 G1 X20 F0.1
 N58 G1 X15.606 Z-44.25
 N59 G2 X20 Z-51.102 I31.09 K6.191 F0.3
 N60 G0 X23.447 Z-50.087
 N61 G0 X150 Z100 M9
 (RECESSING)
 N62 G96 F0.1 S280 T2222 M4
 N63 G0 X23.149 Z-22.499 M8
 N64 G1 X19.149
 N65 G1 X19.035 Z-22.604
 N66 G2 X16.623 Z-25.208 I20.226 K-10.9
 N67 G0 X26.097
 N68 G0 Z-41.2
 N69 G1 X14.393
 N70 G0 X25.855 Z-41.459
 N71 G1 X14.387
 N72 G0 X18.393 Z-41.2
 N73 G1 X14.393
 N74 G2 X14.387 Z-41.459 I28.496 K-0.45
 N75 G0 X19.918
 N76 G0 Z-47.825
 N77 G1 X15.918
 N78 G3 X14.387 Z-41.459 I27.733 K6.565
 N79 G0 X21.855
 N80 G0 X35 M9
 N81 G0 X150 Z100
 (RECESSING)
 N82 G96 F0.1 S280 T2626 M4
 N83 G0 X20.2 Z-14.8 M8
 N84 G1 X15
 N85 G0 X19 Z-14.2
 N86 G1 X15
 N87 G1 Z-14.8
 N88 G0 X20.2
 N89 G0 Z-28.3
 N90 G1 Z-30.3
 N91 G1 X15
 N92 G0 X19 Z-29.7
 N93 G1 X15
 N94 G1 Z-30.3
 N95 G0 X25.993
 N96 G0 Z-36.2
 N97 G1 X14.949
 N98 G0 X20.134 Z-37.58
 N99 G1 X14.642
 N100 G0 X18.683 Z-38.959

N101 G1 X14.455
 N102 G0 X18.949 Z-38.2
 N103 G1 Z-36.2
 N104 G1 X14.949
 N105 G2 X14.455 Z-38.959 I32.018 K-4.2
 N106 G0 X18.498 Z-39.369
 N107 G1 X14.498
 N108 G3 X14.455 Z-38.959 I32.244 K1.90
 N109 G0 X14.683
 N110 G0 X34.683 M9
 N111 G0 X150 Z100
 (FINISHING)
 N112 G96 F0.12 S310 T0606 M4
 N113 G0 X2.947 Z0.7 M8
 N114 G42
 N115 G1 X0 Z0
 N116 G3 X10 Z-5 I0 K-5
 N117 G1 X6 Z-11
 N118 G1 X14 Z-14
 N119 G1 Z-15
 N120 G1 X19
 N121 G1 Z-16.5
 N122 G2 X12.5 Z-28.75 I23.743 K-12.855
 N123 G1 X14 Z-29.5
 N124 G1 Z-30.5
 N125 G1 X25
 N126 G1 Z-33
 N127 G1 X13.439 Z-38.781
 N128 G2 X25 Z-56 I32.473 K1.321
 N129 G1 Z-59
 N130 G1 X24 Z-60
 N131 G1 X24.6 Z-60.6
 N132 G40
 N133 G1 X28.262 Z-60.121
 (EXIT)
 N134 G0 X150 Z100 M9
 N135 M30

2.11 Soal Formatif

2.11.1 Soal-Soal

- Sebutkan dan Jelaskan pemrograman pada mesin CNC?
- Sebutkan factor-faktor yang mempengaruhi kecepatan potong pembubutan?
- Bagaimana langkah-langkah mengoperasikan mesin CNC EMCO TU 2A?

2.11.2 Kunci Jawaban

- Pemrograman mesin CNC sebagai berikut :
 1) Pemrograman Absolut (Mutlak)
 Pemrograman absolut adalah pemrograman yang dalam menentukan titik koordinatnya selalu mengacu pada titik nol

benda kerja. Kedudukan titik dalam benda kerja selalu berawal dari titik nol sebagai acuan pengukurannya. Sebagai titik referensi benda kerja letak titik nol sendiri ditentukan berdasarkan bentuk benda kerja dan keefektifan program yang akan dibuat. Kelebihan dari sistem ini bila terjadi kesalahan pemrograman hanya berdampak pada titik yang bersangkutan, sehingga lebih mudah dalam melakukan koreksi.

2) Pemrograman Relatif (*inkremental*)

Pemrograman yang pengukuran lintasannya selalu mengacu pada titik akhir dari suatu pengukuran. Titik akhir suatu lintasan merupakan titik awal untuk pengukuran lintasan berikutnya. Sistem pemrograman inkremental dikenal juga dengan sistem pemrograman berantai atau relative koordinat. Penentuan pergerakan alat potong dari titik satu ke titik berikutnya mengacu pada titik pemberhentian terakhir alat potong. Penentuan titik setahap demi setahap. Kelemahan dari sistem pemrograman ini, bila terjadi kesalahan dalam penentuan titik koordinat, penyimpangannya akan semakin besar.

3) Pemrograman Polar

Pemrograman polar terdiri dari polar absolut mengacu pada panjang lintasan dan besarnya sudut dan polar inkremental mengacu pada panjang lintasan dan besarnya perubahan sudut.

b. Factor yang mempengaruhi kecepatan potong pembubutan adalah bahan, jenis alat potong, kecepatan penyayatan/asutan dan kedalaman penyayatan.

c. Langkah-langkah mengoperasikan mesin CNC EMCO TU 2A, antara lain :

1) Mempersiapkan program.

2) Pemasukan program

- Pindahkan pengendali manual ke palayanan CNC dengan menekan tombol (H/C).
- Mulailah memasukan program dengan tombol angka. Setiap memasukkan satu angka tekan (INP) agar tersimpan. Jika salah hapus dengan (DEL).

3) Pengujian atau pemeriksaan program

Periksa dengan tombol (-). Langkah plotter akan berhenti jika program salah. Jika alarm informasi kesalahan berbunyi tekan (REV) + (INP), lakukan koreksi kesalahan.

4) Eksekusi Program

Program yang sudah selesai dan benar dapat dieksekusi atau diterapkan pada Benda Kerja. Apabila belum berani ke benda kerja dapat diganti dengan lilin, kemudian baru menggunakan benda kerja aluminium.

3. EDM (*Electrical Discharge Machining*)

EDM (*Electrical Discharge Machining*) atau Permesinan Energi Listrik adalah suatu metode permesinan yang pada dasarnya digunakan untuk logam keras atau logam-logam yang tidak mungkin dapat diolah dengan menggunakan mesin tradisional. Suatu batasan yang penting adalah bahwa EDM hanya bekerja untuk benda-benda yang dapat dialiri listrik atau benda-benda konduktif. EDM dapat memotong sudut kecil atau sudut dengan bentuk tak beraturan, garis tak beraturan atau lubang/rongga pada logam berat dan logam mulia seperti *titanium*, *hastelloy*, *kovar*, *inconel*, dan *carbide*. Adapun salah satu jenis mesin EDM dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 65. Mesin EDM (*Electrical Discharge Machining*)

Bekerjanya mesin ini merujuk pada *spark* (percikan) *machining* atau *spark eroding* (mengikis permukaan logam sedikit demi sedikit/erosi), EDM juga kadang-kadang diasumsikan sebagai sebuah metode non tradisional atas perpindahan materi melalui suatu rangkaian pelepasan busur elektrik yang berulang antara elektroda (tool pemotong) dan proses kerja pada lingkungan berenergi listrik. Alat pemotong EDM diarahkan sepanjang jalur yang diinginkan, sangat dekat dengan tempat pemotongan namun tidak sampai menyentuh lembaran yang akan dipotong. Percikan listrik yang berurutan memproduksi serangkaian ledakan yang sangat kecil (*micro-craters*) pada lembaran logam yang diproses dan memindahkan materi sepanjang jalur pemotongan dengan cara pelelehan dan penguapan. Partikel-partikel akan tersapu dan terbuang oleh cairan yang mengandung aliran listrik.

Pada umumnya terdapat dua jenis mesin EDM antara lain: a) EDM konvensional (disebut juga *Sinker EDM* dan *Ram EDM*) dan b) *Wire EDM*.



Gambar 66. Kontrol Panel Mesin EDM

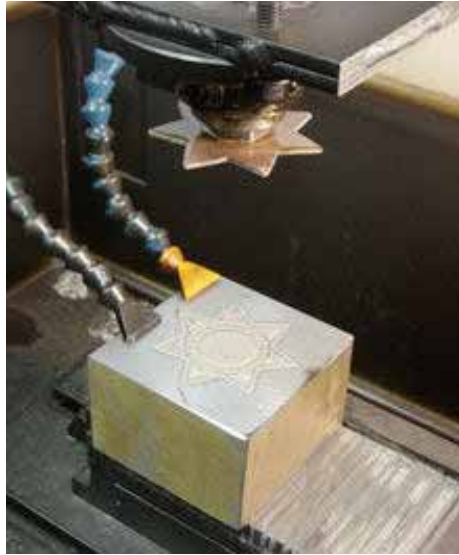
3.1 EDM Konvensional

Proses EDM pada dasarnya digunakan oleh alat pencetak dan industri, namun proses ini telah menjadi metode yang biasa dipakai untuk membuat prototip dan produksi bagian-bagian mesin, terutama di ruang angkasa, industri mobil, dan industri elektronik dengan kuantitas produksi yang cukup rendah. Pada Ram EDM, sebuah elektroda benda kerja grafit atau berillium diolah sesuai dengan keinginan (negatif) dan dimasukkan ke dalam proses kerja mesin di akhir proses kerja ram vertikal.

3.2 Pembuatan alat cetak logam (*coinage die making*)

Dalam pembuatan alat cetak logam melalui proses *stamping/pressing* untuk memproduksi perhiasan dan lensana, master positif/contoh awalnya dapat dibuat dari perak sterling, sebab master yang ada tidak luntur secara signifikan dan master ini hanya digunakan satu kali. Sedangkan sisanya sebagai master negatifnya dapat diperkeras dan digunakan dalam drop hammer (pencetak) untuk memproduksi logam biasa dari bahan potongan perunggu, perak, atau emas. Untuk lensana, lempengan logam ini kemudian dibentuk lagi dengan menggunakan alat cetak lain yang dapat memberi bentuk ukiran. Mesin EDM jenis ini biasanya sistem kerjanya dengan menggunakan *oil-based dielectric*. Logam yang telah terselesaikan dapat diperindah dengan menggunakan proses enameling kristal

untuk yang keras atau enameling dengan cat untuk yang lembut yang dilapisi dengan emas murni atau nikel. Untuk barang-barang yang lebih lembut lagi seperti perak dapat didesain dengan tangan untuk memperhalus /memperbaiki tampilan.



Gambar 67. Produk Mesin benda kerja mesin EDM

3.3 Drilling EDM

Digunakan untuk membuat lubang pada proses kerja untuk digunakan sebagai kabel dalam *wire-cut* untuk permulaan permesinan.

3.4 Kabel EDM (Wire Cut EDM)

Pada mesin dengan menggunakan tenaga kabel listrik (*Wire Electrical Discharge Machining/ WEDM*), atau *wire-cut EDM*, sebuah kabel logam, biasanya terbuat dari kuningan, dihubungkan ke logam yang diolah. Kabel yang berasal dari cekam diletakkan diantara guide atas dan bawah. Guidenya berpindah pada garis xy, biasanya ini akan menjadi CNC dan hampir semua mesin modern, upper guidenya dapat juga berpindah dan menaikan kemampuan mesin dalam melakukan pemotongan arus dan transisi (lingkaran pada bagian bawah dan persegi pada bagian atas). Hal ini memungkinkan arus EDM untuk diprogram untuk memotong arus yang tak beraturan dan juga yang beraturan. *Wire-cut* menggunakan air sebagai pengantar arusnya dengan penghambat air dan partikel-partikel elektrik lain yang dikontrol oleh penyaring (*filters*) dan *unit de-ionizer*.

4. Rangkuman BAB VII

1. *Computer Aided Design (CAD)*

CAD dikenal pula sebagai metode menggambar komponen atau lainnya dengan bantuan software komputer, misal *AutoCAD Release 2000*, *RoboCAD* maupun *Master Engineering*. Teknologi CAD menjadi dasar untuk beragam kegiatan keteknikan seperti gambar, desain, analisa, dan proses manufaktur. Sistem CAD menggunakan koordinat tiga jenis yaitu sistem koordinat absolut, relatif atau sistem koordinat polar.

Langkah awal yang dilakukan sebelum menggambar dengan AutoCAD adalah membuat bidang gambar dengan menentukan ukuran kertas yang digunakan. CAD dalam aplikasinya menggunakan perintah-perintah untuk menggambar suatu objek. Perintah-perintah menggambar yang sering digunakan dalam AutoCAD yaitu line, polyline, arc, circle, osnap, rectangle, polygon, ellipse, hatch, modify, copy, mirror, offset, array, move, rotasi, trim, chamfer, fillet dan explode.

2. *Computer Numerically Controlled (CNC)*

Computer Numerically Controlled, merupakan mesin perkakas yang dilengkapi dengan sistem kontrol berbasis komputer yang mampu membaca instruksi kode N dan G (G-kode) yang mengatur kerja sistem. Pemrograman mesin CNC hampir sama dengan pemrograman AutoCAD. Pemrograman mesin CNC meliputi pemrograman absolut, relatif dan polar. Langkah-langkah mengoperasikan mesin CNC dimulai dengan mempersiapkan program, pemasukan program, pengujian atau pemeriksaan program dan eksekusi program.

3. *EDM (Electrical Discharge Machining)*

EDM (*Electrical Discharge Machining*) atau Permesinan Energi Listrik adalah suatu metode permesinan yang pada dasarnya digunakan untuk logam keras atau logam-logam yang tidak mungkin dapat diolah dengan menggunakan mesin tradisional. EDM hanya dapat digunakan untuk benda-benda yang dapat dialiri arus listrik. Bekerjanya mesin ini merujuk pada *spark* (percikan) *machining* atau *spark eroding* (mengikis permukaan logam sedikit demi sedikit/erosi), EDM juga kadang-kadang diasumsikan sebagai sebuah metode non tradisional atas perpindahan materi melalui suatu rangkaian pelepasan busur elektrik yang berulang antara elektroda (tool pemotong).

DAFTAR PUSTAKA

- Aris Munandar, 1997, *Penggerak Mula Turbin*, ITB, Bandung
- Cliffs.Karl. 1994. *Instandhaltungsmanagement*, Mannheim, Deutschdtiflmg fur Internationale Entwiccklung.
- Croser P. 1990. *Pneumatik*. Festo Didaktik. Esslingen
- Croser P. 1990. *Hydraulik*. Festo Didaktik. Esslingen
- Daryanto, dkk, 1977, *Menggambar Teknik Mesin*, Depdikbud, Jakarta
- Dieter, 1991, *Jugendlexikon der Tecknik*, Verlag, Koln
- Delman kilian, *Modern Control Technology Component And Stystem Handbook*, Omega Engineering, Inc, Stamford 1999
- Depdikbud, 1995, *Mesin Bubut CNC Dasar*, Jakarta.
- Gottfried Nist(1994), *Steuern und Regeln im Maschinenbau*, Haan-Gruiten, Europah Lehrmittel
- Groover M.P. dkk, *Industrial Robotics Technology*, Programming, and Aplication, Mcgraww-Hill Book Co, Singapore, 1986
- Harapan Utama. 2000. *Materi Pengajaran AutoCAD 2000*. Semarang: Lembaga Keterampilan Komputer Harapan Utama.
- J.J.M. Hollebrandse, Soedjono. 1988. *Teknik Pemrograman Dan Aplikasi CNC*. Jakarta: PT Rosda Jayaputra.
- Katsuhiko Ogata : *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan Jilid 1)* ; Penerbit Erlangga ; Jakarta
- Keith Frank, *Mechanical Engineering Handbook*, CRC Press LLC, New york, 1999
- Keller, 1992, *Schulungsunterlagen CNC Maho 432*, Solingen, CNC Didaktik.
- Lilih Dwi P., 2001, *Buku CNC Milling – TU 2A (Mesin Bubut Dasar)* , Laboratorium CNC – BLPT Surabaya.
- Lilih Dwi P., 2001, *Buku CNC Milling – TU 3A (Mesin Freis Dasar)* , Laboratorium CNC – BLPT Surabaya.
- Majumdar, 2001, *Pneumatic Systems Principles and Maintenance*,Tata McGraw-Hill, New Delhi.
- Maier dan Co, 1988, *Pelayanan EMCO 2A*, Hallem, EMCO
- Maier dan Co, 1988, *Pelayanan EMCO 3A*, Hallem, EMCO
- Meier (1992), *Petunjuk Penggunaan Mesin CNC EMCO TU-3A*, Austria, EMCO
- Mikell P. Groover: *Automation Production systems, and Computer-Integrated Manufacturing* ; Pearson Education ; Singapore, 2001
- Pakpahan : *Kontrol Otomatik* ; Penerbit Erlangga ; Jakarta, 1984
- Peter Patient, dkk, *Pengantar Ilmu Teknik Pneumatika*, PT. Gramedia, Jakarta, 1985
- Pudjananta dan Narsuhud, 2006, *Mesin Konversi Energi*, Andi Offset, Yogyakarta
- Richard C. Dorf : *Sistem Pengaturan* ; Penerbit Erlangga ; Jakarta, 1983
- Sachur Rheinhard, 1988, *CNC Technik*, Homburg, Gehlen
- Setiawan, Iwan. 2006. *Programmable Logic Controller (PLC) dan Perancangan Sistem Kontrol*. Yogyakarta : Penerbit Andi
- Siegfried Keller, 1998, *Q Plus Frasen CNC Qualifizierung*, Keller Didaktik and Technik, Wuppertal.
- Siegfried Keller, 1998, *Q Plus Drehen CNC Qualifizierung*, Keller Didaktik and Technik, Wuppertal.
- Soewito, Hadi. 1992. *Pengetahuan Dasar Mesin CNC*. Bandung: Pusat Pengembangan Penataran Guru Teknologi Bandung.
- Sudibyo dan Djumarso. 1991. *Toleransi*. Solo: ATMI ST Mikael
- Sugiharto, 1987, *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*, Pradya Paramitha, Jakarta
- Sugihartono, *Dasar Dasar Kontrol Pneumatik*, Penerbit tarsito, Bandung, 1985

LAMPIRAN A.2

Sumbodo, Wirawan, 2004, **Dasar-dasar Sistem Pneumatik/Hidrolik**, Semarang, Unnes

Sumbodo, Wirawan, 1998, **Dasar-dasar Sistem Pemrogramman mesin CNC**, Semarang, Unnes

Supriyono dan Almeriany. 1983. **Gambar Teknik**. Solo: ATMI ST Mikael

Umaryadi, 2006, PDTM **Teknologi dan Industri**, Yudhistira, Jakarta

Wahana Komputer. 2002. **Menguasai AutoCAD 2002**. Jakarta: Salemba Infotek.

www.Wikipedia.com/id/search/automation_system

www.en.wikipedia.com

www.cnc-keller.de

www.hondacompany.com

[www.Q Plus Frasen.com](http://www.QPlusFrasen.com)

www.omron.com/index3.html

www.zen.omron.co.jp/eng/index.html - 22k

www.plcs.net/ - 20k

www.automation.com

world.honda.com/ASIMO/

www.compserv.sabah.gov.my

www.roboticonline.com

www.fanucrobotics.com

embedded-system.net

www.playrobot.com/comp%20robot_ind.htm

embedded-system.net/kuka-kr-1000-titan-6-axis.

www.webstergriffin.com/images/robot_arm01.jpg

DAFTAR TABEL

BAB I MEMAHAMI DASAR-DASAR KEJURUAN

Tidak ada tabel

BAB II MEMAHAMI PROSES-PROSES DASAR KEJURUAN

Tidak ada tabel

BAB III MEREALISASIKAN KERJA AMAN BAGI MANUSIA, ALAT DAN LINGKUNGAN

Tidak ada tabel

BAB IV GAMBAR TEKNIK

Tabel 1.	Kertas gambar berdasarkan ukuranya	62
Tabel 2.	Pensil berdasarkan kekerasan	64
Tabel 3.	Macam-macam ketebalan garis	99
Tabel 4.	Perbandingan ketebalan garis bantu dengan garis gambar	103

BAB V PROSES PRODUKSI DENGAN PERKAKAS TANGAN

Tabel 1.	Pengelom poken kikir berdasarkan kekerasan gigi dan kegunaanya.....	138
Tabel 2.	Pengelompokan kikir berdasarkan penampang dan penggunaanya	139
Tabel 3.	Pemegangan kikir untuk berbagai kebutuhan pengerjaan	141
Tabel 4.	<i>Cutting speed</i> untuk mata bor	173
Tabel 5.	Kecepatan pemakanan (<i>feeding</i>).....	174
Tabel 6.	Langkah pengeboran berbagai jenis pekerjaan	175
Tabel 7.	Jenis bukaan gigi gergaji dan fungsinya	178
Tabel 8.	Jumlah gigi tiap panjang 1 inchi berikut fungsinya	178
Tabel 9.	Jenis daun gergaji berikut fungsinya	179
Tabel 10.	Tingkat kekerasan batu gerinda dan penggunaanya	200
Tabel 11.	Tingkat kehalusan dan penggunaanya	200
Tabel 12.	Kecepatan keliling yang disarankan	204

BAB VI PROSES PRODUKSI MESIN KONVENSIIONAL

Tabel 1.	Perbedaan mesin bubut konvensional dengan CNC	246
Tabel 2.	Penggunaan sudut tatal dan sudut bebas pahat bubut.....	254
Tabel 3.	Kecepatan potong pahat HSS (High Speed Steel)	261
Tabel 4.	Daftar kecepatan potong pembubutan.....	262
Tabel 5.	Kecepatan pemakanan untuk pahat HSS	263
Tabel 6.	Kecepatan potong untuk beberapa jenis bahan.....	302
Tabel 7.	Daftar kecepatan potong mesin frais	303
Tabel 8.	Kecepatan pemakanan pergigi untuk HSS.....	304
Tabel 8.	Ukuran utama roda gigi sistem module.....	319
Tabel 9.	Ukuran utama roda gigi diametral pitch.....	320
Tabel 10.	Pemilihan nomor pisau sistem module.....	321
Tabel 11.	Satu set cutter dengan 15 nomir.....	322
Tabel 12.	Satu set cutter midul sistem diameter pitch.....	322
Tabel 13.	Hubungan cutting speed dengan bahan	323
Tabel 14.	Kecepatan potong untuk HSS dalam m/menit.....	323
Tabel 15.	Tingkatan suaian basis lubang	338
Tabel 16.	Tingkatan suaian basis poros	338

LAMPIRAN B.2

Tabel 17.	Harga tingkatan suaian menurut ISO	339
Tabel 18a	Nilai penyimpangan lubang untuk tujuan umum	340
Tabel 18b	Nilai penyimpangan lubang untuk tujuan umum	341
Tabel 19a	Nilai penyimpangan poros untuk tujuan umum	342
Tabel 19b	Nilai penyimpangan poros untuk tujuan umum	343

BAB VII PROSES PRODUKSI BERBASIS KOMPUTER

Tabel 1.	Arti kode M pada mesin CNC	410
Tabel 2.	Arti kode lainnya	420
Tabel 3.	Siklus pemrograman dengan EMCO TU 2A	422
Tabel 4.	Siklus pembuatan ulir G 33	428
Tabel 5.	Koordinat hasil perhitungan titik	430
Tabel 6.	Siklus program pembuatan pion catur dengan CNC EMCO TU 2A	437
Tabel 7.	Siklus pemrograman pembuatan asbak rokok dengan..... CNC EMCO TU 2A	441

BAB VIII SISTEM PNEUMATIK DAN HYDROLIK

Tabel 1.	Jenis dan simbol katup sinyal pneumatik	497
Tabel 2.	Jenis penggerak katup	498
Tabel 3.	Jenis dan simbol katup pemroses sinyal.....	500
Tabel 4.	Jenis dan simbol katup pembatas tekanan.....	502
Tabel 5.	Simbol logika katup AND	503
Tabel 6.	Simbol logika katup OR	503
Tabel 7.	Simbol dan logika katup NOT	504
Tabel 8.	Logika katup NOR	504
Tabel 9.	Logika katup NAND.....	505
Tabel 10.	Jenis dan Simbol Komponen Sistim Pneumatik Lainnya (<i>FESTO FluidSIM</i>)	508
Tabel 11.	Logika pengendalian sistem sederhana langsung.....	518
Tabel 12.	Logika sistem diagram gerak silinder melalui dua katup	520
Tabel 13.	Simbol dan keterangan rangkaian kontrol pint bus otomatis	522
Tabel 14.	Jenis-jenis cairan hidrolik tahan api	523
Tabel 15.	Perbandingan macam-macam cairan hidrolik	544
Tabel 16.	Klasifikasi viskositas cairan hidrolik.....	545
Tabel 17.	Aplikasi penggunaan hidrolik dengan tingkatanya.....	546
Tabel 18.	Batas viskositas ideal	546
Tabel 19.	Kesetaraan dari berbagai satuan viscositas oli hidrolik.....	547
Tabel 20.	Karakteristik cairan hidrolik yang dikehendaki	550

BAB IX PROSES PRODUKSI INDUSTRI MODERN

Tabel 1.	Logika AND dan NOT AND	581
Tabel 2.	Logika OR dan NOT OR	582
Tabel 3.	Aturan aljabar saklar AND	582
Tabel 4.	Aturan aljabar saklar OR	583
Tabel 5.	Pengalamatan input dan output	608
Tabel 6.	Daftar alamat pada input dan output	612
Tabel 7.	Alamat input dan output PLC	614

BAB X TEKNOLOGI ROBOT

Tabel 1.	Propertis teknologi robot	629
Tabel 2.	Material variasi temperature dan tahanan bahan	653
Tabel 3.	Jangkauan temperature dan jangkauan tegangan	654

DAFTAR GAMBAR

JILID 1

BAB I MEMAHAMI DASAR-DASAR KEJURUAN

Gambar 1.	Perpindahan benda dari A ke B akibat gaya F	1
Gambar 2	Gaya gesek pada roda mobil.....	2
Gambar 3	Titik tangkap gaya (A) pada garis kerja gaya	2
Gambar 4.	Menyusun dua buah gaya menjadi gaya Resultan (F)	3
Gambar 5.	Menyusun Gaya lebih dari dua buah secara grafis	3
Gambar 6.	Menyusun lebih dari dua buah gaya secara poligon.....	4
Gambar 7.	Menyusun gaya lebih dari dua buah secara Analitis	4
Gambar 8.	Menguraikan gaya (proyeksi) sumbu X dan Y	5
Gambar 9.	Jarak (L) garis gaya (F) terhadap titik perputaran (o)	5
Gambar 10.	Menyusun lebih dari dua buah gaya secara poligon.....	6
Gambar 11.	Dua buah gaya sama sejajar berlawanan arah dan berjarak L.....	6
Gambar 12.	Gaya F_1 dan F_2 yang membentuk sudut α	8
Gambar 13.	Dua gaya pada batang membentuk kesetimbangan.....	8
Gambar 14.	Kesetimbangan benda pada bidang miring	9
Gambar 15.	Tegangan yang timbul pada penampang A-A.....	10
Gambar 16.	Tegangan Normal.....	10
Gambar 17.	Tegangan tarik pada batang penampang luas A.....	11
Gambar 18.	Tegangan tekan	12
Gambar 19.	Tegangan Geser	12
Gambar 20.	Tegangan lengkung pada batang rocker arm	13
Gambar 21.	Tegangan puntir.....	14
Gambar 22.	Kontruksi poros kereta api	15
Gambar 23.	Kontruksi poros kereta api	16
Gambar 24.	Kontruksi poros transmisi.....	16
Gambar 25.	Poros transmisi dengan beban puntir.....	16
Gambar 26.	Beban lentur murni pada lengan robot.....	17
Gambar 27.	Beban puntir dan lentur pada arbor saat pemakanan.....	18
Gambar 28.	Bantalan luncur dilengkapi alur pelumas	19
Gambar 29.	Bantalan radial.....	19
Gambar 30.	Bantalan aksia.....	19
Gambar 31.	Bantalan gelinding khusus.....	20
Gambar 32.	Dapur pengolahan bijih besi menjadi besi.....	23

BAB II MEMAHAMI PROSES-PROSES DASAR KEJURUAN

Gambar 1.	Logam cair sedang dituangkan ke dalam cetakan.....	29
Gambar 2.	Proses Pengecoran logam	30
Gambar 3,	Dimensi benda kerja yang akan dibuat (a), menutupi permukaan pola dalam rangka cetak dengan pasir, (c) cetakan siap, preses penuangan (d), dan produk pengecoran	31
Gambar 4.	Pengecoran logam pada cetakan pasir.....	34
Gambar 5.	Turbin air produk hasil pengecoran logam.....	35
Gambar 6.	Turbin air produk hasil pengecoran logam	36
Gambar 7.	Die Casting.....	36
Gambar 8.	Salah satu produk <i>Die Casting</i>	38
Gambar 9.	Pengolahan Logam Manual.....	40
Gambar 10.	Pengerjaan Logam dengan mesin bubut.....	41
Gambar 11.	Produk pengolahan logam dengan mesin CNC	42
Gambar 12.	Mesin pengerollan (rolling).....	43

LAMPIRAN C.2

Gambar 13.	PLTA, konversi energi dari energi potensial, energi mekanik, dan energi listrik	44
Gambar 14.	Accu sebagai bentuk energi kimia.....	45
Gambar 15.	Salah satu reaktor nuklir	46
Gambar 16,	Mesin konversi dari panas ke uap.....	46
Gambar 17,	Pemanfaatan energi angin	47
Gambar 18,	siklus motor bensin 4 langkah.....	48
Gambar 19,	Turbin Air	50
Gambar 20	Sebuah sistem turbin gas.....	50

BAB III MEREALISASIKAN KERJA AMAN BAGI MANUSIA, ALAT, DAN LINGKUNGAN

Gambar 21.	Tanda harus mengenakan kacamata	58
Gambar 22.	Tanda harus mengenakan penutup telinga.....	58
Gambar 23.	Tanda harus mengenakan sarung tangan	58
Gambar 24,	Pekerja menggunakan kacamata dan masker.....	59
Gambar 25,	Mengisap serbuk fiber menggunakan vacuum	59
Gambar 24,	Menekuk plat/selang fiber menggunakan sarung tangan.....	59

BAB IV GAMBAR TEKNIK

Gambar 1.	Cara penempelan kertas di atas meja gambar non magnetik.....	65
Gambar 2.	Pensil batang	66
Gambar 3.	Pensil mekanik.....	66
Gambar 4.	Cara menarik garis	67
Gambar 5.	Rapido.....	67
Gambar 6.	Penggaris T dan sepasang penggaris segitiga.....	68
Gambar 7.	Cara menggunakan penggaris -T.....	68
Gambar 8.	Cara menggunakan penggaris segitiga.....	69
Gambar 9.	Jenis jangka	69
Gambar 11.	Kedudukan pena tarik saat menarik garis	70
Gambar 12.	Membuat lingkaran besar dengan alat penyambung.....	70
Gambar 13.	Plat pelindung penghapus	71
Gambar 14.	Busur derajat.....	71
Gambar 15.	Mal lengkung	72
Gambar 16.	Contoh penggunaan mal lengkung	72
Gambar 17.	Mal bentuk geometri.....	72
Gambar 18.	Meja gambar	73
Gambar 19.	Mesin gambar lengan	73
Gambar 20.	Mesin gambar rol.....	73
Gambar 21.	Proyeksi piktorial	75
Gambar 22.	Proyeksi isometris	76
Gambar 23.	Penyajian proyeksi isometris	77
Gambar 24.	Proyeksi isometris dengan kedudukan terbalik.....	77
Gambar 25.	Proyeksi isometris kedudukan horisontal.....	78
Gambar 26.	Proyeksi dimetris	78
Gambar 27.	Kubus dengan proyeksi dimetris	79
Gambar 28.	Proyeksi miring	79
Gambar 29.	Perspektif dengan satu titik hilang.....	80
Gambar 30.	Perspektif dengan dua titik hilang.....	80
Gambar 31.	Perspektif dengan tiga titik hilang	80
Gambar 32.	Macam-macam pandangan.....	81
Gambar 33.	Bidang proyeksi	81

Gambar 34.	Proyeksi di kuadran I	82
Gambar 35.	Pembukaan objek gambar di kuadran I	83
Gambar 36.	Pemutaran dengan jangka	83
Gambar 37.	Potongan garis yang bersudut 45°	84
Gambar 38.	Garis sumbu terpisah dengan gambar	84
Gambar 39.	Garis sumbu berimpit dengan gambar	84
Gambar 40.	Pandangan proyeksi Eropa	85
Gambar 41.	Pandangan proyeksi Amerika	85
Gambar 42.	Contoh pandangan proyeksi Amerika	86
Gambar 43.	Proyeksi Amerika	86
Gambar 44.	Proyeksi Eropa	86
Gambar 45.	Anak panah	87
Gambar 46.	Contoh penggambaran anak panah	87
Gambar 47.	Penerapan Proyeksi Eropa	87
Gambar 48.	Penerapan Proyeksi Amerika	88
Gambar 49.	Gambar satu pandangan	88
Gambar 50.	Gambar pandangan	89
Gambar 51.	Pembedaan bentuk benda dengan satu pandangan	89
Gambar 52.	Pemilihan pandangan utama	90
Gambar 53.	Pandangan utama	90
Gambar 54.	Penentuan pandangan depan	90
Gambar 55.	Penggunaan dua pandangan	91
Gambar 56.	Penggunaan tiga pandangan	91
Gambar 57.	Bentuk benda dari hasil pandangan	92
Gambar 58a		93
Gambar 58b		93
Gambar 58c.		93
Gambar 59.	Tanda pemotongan	94
Gambar 60.	Tanda pemotongan dengan gelombang dan zigzag	95
Gambar 61.	Penempatan gambar potongan	96
Gambar 62a.	Penempatan potongan dengan diputar	97
Gambar 62b.	Penempatan potongan dengan diputar dan dipindah	97
Gambar 63a.	Potongan jari-jari pejal	98
Gambar 63b.	Potongan dudukan poros	98
Gambar 64.	Potongan penuh	99
Gambar 65.	Potongan separuh	100
Gambar 66.	Potongan sebagian	101
Gambar 67.	Potongan putar	101
Gambar 68.	Potongan bercabang atau meloncat	101
Gambar 69.	Contoh penggunaan arsiran	102
Gambar 70.	Sudut ketebalan garis arsiran	103
Gambar 71.	Arsiran pada bidang luas dan bidang berdampingan	103
Gambar 72.	Arsiran benda tipis	104
Gambar 73.	Angka ukuran dan arsiran	104
Gambar 74.	Macam-macam arsiran	105
Gambar 75.	Cara penarikan garis dan ketebalannya	106
Gambar 76.	Jarak antara garis ukur	107
Gambar 77.	Penulisan angka ukuran	108
Gambar 78.	Ukuran tambahan	110
Gambar 79.	Pengukuran ketirusan	110
Gambar 80.	Penunjukan ukuran pengerjaan khusus	111
Gambar 81.	Penunjukan ukuran pada bagian yang simetris	111
Gambar 82.	Pencantuman simbol-simbol ukuran	112
Gambar 83.	Pengukuran jari-jari	113
Gambar 84.	Penempatan anak panah dan ukuran di dalam lingkaran	113

LAMPIRAN C.4

Gambar 85.	Penempatan anak panah dan ukuran di luar lingkaran	113
Gambar 86.	Penunjukan ukuran	114
Gambar 87.	Ukuran berantai	114
Gambar 88.	Ukuran sejajar	115
Gambar 89.	Ukuran kombinasi	115
Gambar 90.	Ukuran berimpit	116
Gambar 91.	Pengukuran berimpit	117
Gambar 92.	Pengukuran koordinat	118
Gambar 93.	Pengukuran berjarak sama	118
Gambar 94.	Pengukuran berjarak sama	119
Gambar 95.	Pengukuran alur pasak	119
Gambar 96.	Pengukuran pada lubang	120
Gambar 97.	Pengukuran profil	120
Gambar 98.	Pembuatan gambar mur	121
Gambar 99.	Pengukuran mur	121
Gambar 100.	Pembuatan gambar baut	122
Gambar 101.	Pembuatan gambar mur dan baut	122
Gambar 102.	Batas atas dan batas bawah toleransi	123
Gambar 103.	berbagai macam ukuran dan penyimpangan	123
Gambar 108.	Penulisan toleransi simetris	124
Gambar 107.	Penulisan toleransi dan nilai penyimpangan nol	124
Gambar 106.	Penulisan toleransi dan nilai penyimpangan	124
Gambar 105.	Penulisan toleransi suaian dan nilai penyampangan	124
Gambar 104.	Penulisan suaian standar ISO	124
Gambar 111.	jenis-jenis penulisan toleransi pada gambar susunan	125
Gambar 110.	Penulisan batas-batas ukuran dalam satu arah	125
Gambar 109.	Penulisan batas-batas ukuran	125
Gambar 112.	Jenis-jenis penulisan yoleransio pada ukuran sudut	126
Gambar 113.	Penulisan ukuran dan tolerans i pada gambar kerja	126
Gambar 115.	kelonggaran dan kesesakan antara poros dan lubang	128
Gambar 114.	Penandaan Kualitas Permukaan	128
Gambar 116.	Suaian Longgar	129
Gambar 117.	Suaian paksa	129
Gambar 118.	Suaian tramsisi	129
Gambar 119.	Proyeksi piktorial	131
Gambar 120.	Proyeksi isometris	131
Gambar 121.	Proyeksi dimetris	132
Gambar 122.	Proyeksi miring	132
Gambar 123.	Potongan A-A	133
Gambar 124.	Potongan B-B	133
Gambar 125.	Macam-macam arsiran	134
Gambar 126.	Gambar Benda Kerja	135

BAB V

PROSES PRODUKSI DENGAN PERKAKAS TANGAN

Gambar 1.	Ketinggian ragam untuk pengerjaan umum kerja bangku	135
Gambar 2.	Ragam	135
Gambar 3.	Pencekaman benda kerja	136
Gambar 4.	Bagian bagian utama kikir	137
Gambar 5.	Spesifikasi kikir	137
Gambar 6.	Spesifikasi kikir berdasarkan penampangnya	137
Gambar 7.	Kikir <i>single cut</i> dan kikir <i>double cut</i>	138
Gambar 8.	Gerakan badan dan mulut	142
Gambar 9.	Posisi kaki terhadap sumbu	142
Gambar 10.	Kikir gigi tunggal arah pemakanan lurus dengan	

	sumbu kikir	143
Gambar 11.	Kikir gigi tunggal arah pemakanan tidak satu sumbu dengan sumbu kikir	143
Gambar 12.	Kikir gigi ganda dengan arah pemakanan lurus dengan sumbu kikir	144
Gambar 13.	Menghilangkan kulit yang keras dengan ujung	144
Gambar 14.	Pemeriksaan kerataan hasil pengikiran dengan pisau perata	145
Gambar 15.	Bidang dasar 1, 2 dan 3	145
Gambar 16.	Pemeriksaan hasil pegikiran miring	146
Gambar 17.	Pengikiran radius dalam	146
Gambar 18.	Pengikiran radius luar	139
Gambar 19.	Pemeriksaan hasil pengikiran radius	139
Gambar 20.	Bidang dasar sebagai dasar ukuran, kesikuan dan kesejajaran dalam penggambaran	148
Gambar 21.	Mistar baja	148
Gambar 22.	Penggunaan mistar baja	149
Gambar 23.	Busur derajat	149
Gambar 24.	Penggunaan busur derajat	149
Gambar 25a	Set mal radius dalam satu tangkai	150
Gambar 25b	Set mal radius dalam ikatan cincin.....	150
Gambar 26.	Memeriksa dengan mal radius	150
Gambar 27.	Satu set mal ulir	151
Gambar 28.	Memeriksa ulir baut dan mal ulir	152
Gambar 29.	Pita ukur	152
Gambar 30.	Jangka sorong	152
Gambar 31.	Penggunaan mistar sorong	153
Gambar 32.	Penggores	153
Gambar 33.	Pemakaian penggores	154
Gambar 34.	Siku-siku	155
Gambar 35.	Siku-siku geser	155
Gambar 36.	Penggunaan siku-siku	155
Gambar 37.	Siku-siku kombinasi	156
Gambar 38.	Pengukuran 45°	156
Gambar 39.	Pengukuran kesikuan 90°	157
Gambar 40.	Jangka tusuk (<i>spring divider</i>)	157
Gambar 41.	Pengukuran dengan jangka tusuk	157
Gambar 42.	Jangka tongkat	158
Gambar 43.	Penggunaan jangka tongkat	158
Gambar 44.	Jangka garis	158
Gambar 45.	Penggunaan jangka garis	158
Gambar 46.	Jangka bengkok	159
Gambar 47.	Mengukur tebal dan kesejajaran	159
Gambar 48.	Jangka kaki	160
Gambar 49.	Memeriksa diameter dalam	160
Gambar 50.	Balok gores	161
Gambar 51.	Penggunaan balok gores	161
Gambar 52.	Pengukur tinggi	162
Gambar 53.	Menggaris sebuah bidang	162
Gambar 54.	Mengukur tinggi / tebal	162
Gambar 55.	Penitik pusat	163
Gambar 56.	Penggunaan penitik pusat	163
Gambar 57.	Penitik garis	163
Gambar 58.	Penggunaan penitik garis	163
Gambar 59.	Palu	164
Gambar 60.	Tangkai palu	164

LAMPIRAN C.6

Gambar 61.	Palu lunak	165
Gambar 62.	Penggunaan palu	165
Gambar 63.	Meja perata	165
Gambar 64.	Penggunaan meja	165
Gambar 65.	Balok vee	166
Gambar 66.	Penggunaan balok vee	166
Gambar 67.	Bagian-bagian mata bor	167
Gambar 68.	Mata bor pilin kisar sedang	167
Gambar 69.	Bor pilin spiral kecil	168
Gambar 70.	Bor pilin kisar besar	168
Gambar 71.	Bor pilin kisar besar sudut sayat kecil	168
Gambar 72.	Bor pilin kisar besar sudut sayat lancip	168
Gambar 73.	Bor pembenam	169
Gambar 74.	Mata bor pembenam kapala baut	169
Gambar 75.	Bentuk kepala mata bor	169
Gambar 76.	Kaliber mata bor	170
Gambar 77.	Sudut mata bor	170
Gambar 78.	Penjepit bor	171
Gambar 79.	Sarung pengurang	171
Gambar 80.	Mesin bor bangku.....	171
Gambar 81.	Mesin bor tiang	172
Gambar 82.	Bor pistol.....	172
Gambar 83.	Bor dada mekanik terbuka.....	172
Gambar 84.	Bor dada mekanik tertutup	172
Gambar 85.	Reamer (Peluas).....	176
Gambar 86.	Peluas tirus	176
Gambar 87.	Peluas yang dapat distel.....	177
Gambar 88.	Penggunaan reamer	177
Gambar 89.	Gergaji tangan	178
Gambar 90.	Pemasangan daun gergaji pada sengkang	179
Gambar 91.	Pemegangan sengkang gergaji	180
Gambar 92.	Membuat alur (permulaan menggergaji)	180
Gambar 93.	Sudut awal penggergajian	181
Gambar 94.	Pemotongan benda kerja	181
Gambar 95.	Posisi daun gergaji tagal lurus terhadap sengkang	
	Gergaji	181
Gambar 96.	Pahat	182
Gambar 97.	Pahat	183
Gambar 98.	Pahat alur	183
Gambar 99.	Pahat dam	183
Gambar 100.	Pahat alur minyak	184
Gambar 101.	Pahat kuku	184
Gambar 102.	Pahat diamon.....	184
Gambar 103.	Cara menggenggam pahat	185
Gambar 104.	Memperhatikan mata pahat	185
Gambar 105.	Memahat baja pelat	186
Gambar 106.	Memahat benda yang lebar	186
Gambar 107.	Memahat benda kerja yang tidak dijepit dengan	
	Catok ragam	187
Gambar 108.	Posisi pahat pada waktu memahat	187
Gambar 109.	Posisi pahat pada saat akhir pemahatan	187
Gambar 110.	Garis bantu stempel	188
Gambar 111.	Susunan stempel	189
Gambar 112.	Posisi stempel	189
Gambar 113.	Tap	190
Gambar 114.	Sney	191

Gambar 115.	Tangkai pemutar	191
Gambar 116.	Dimensi ulir	191
Gambar 117.	Proses mengetap	193
Gambar 118.	Mengecek ketegakan lurus mengetap	193
Gambar 119.	Posisi tangan pada awal menyenei	193
Gambar 120.	Pemegangan penuh pada posisi jauh dari rumah Snei	194
Gambar 121.	Penggunaan snei	194
Gambar 122.	Sekerap tangan	195
Gambar 123.	Sekerap mata bulat	195
Gambar 124.	Sekerap keruk	195
Gambar 125.	Sekerap setengah bundar	196
Gambar 126.	Sekerap segi tiga	196
Gambar 127.	Sekerap bulat hidung sapi	196
Gambar 128.	Menyekerap	197
Gambar 129.	Mesin gerinda tiang	197
Gambar 130.	Proses pelepasan butiran pemotong	198
Gambar 131.	Roda gerinda lunak	199
Gambar 132.	Roda gerinda keras	199
Gambar 133.	Roda gerinda struktur terbuka	201
Gambar 134.	Roda gerinda struktur padat	201
Gambar 135.	Roda gerinda struktur pori-pori	201
Gambar 136.	Roda gerinda lurus	202
Gambar 137.	Penandaan roda gerinda	202
Gambar 138.	pemeriksaan roda gerinda	204
Gambar 139.	Pengikatan roda gerinda pada mesin spindel mesin	205
Gambar 140.	Mengasah / mendreser roda gerinda	205
Gambar 141.	Keselamatan kerja menggerinda	206
Gambar 142.	Melipat tepi	206
Gambar 143.	Mesin lipat	207
Gambar 144.	Mesin roll	207
Gambar 145.	Landasan rata	207
Gambar 146.	Landasan pipa	207
Gambar 147.	Landasan tepi lurus	208
Gambar 148.	Landasan tepi bundar	208
Gambar 149.	Landasan ½ bola	208
Gambar 150.	Landasan alur	208
Gambar 151.	Sambungan sekerup	209
Gambar 152.	Sambungan lipatan	210
Gambar 153.	Sambungan keling	210
Gambar 154.	Memasang baut pemanas	210
Gambar 155.	Proses mematri	211
Gambar 156.	Jenis penguatan	211
Gambar 157.	Pengutan tepi	212
Gambar 158.	Penguatan tepi dengan kawat	212
Gambar 159.	Mesin putar kombinasi	213
Gambar 160.	Alas penindih kertas	213
Gambar 161.	Mal mata bor	214
Gambar 162.	Dimensi mal mata bor	215
Gambar 163.	Pengepasan persegi	215
Gambar 164.	Dimensi pengepasan persegi	216
Gambar 165.	Sambungan ekor burung	216
Gambar 166.	Dimensi sambungan ekor burung	217
Gambar 167.	Bukaan kotak	217
Gambar 168.	Penitik, pahat tangan, penggores dan mata bor	219

GLOSARY

PLC	: <i>Programmable Logic Controlled</i>
CNC	: <i>Computer Numerically Controolled</i>
Pneumatik	: Ilmu tentang pemanfaatan udara bertekanan
Hydraulik	: Fluida untuk meneruskan tenaga
Sensor	: Masukan ke dalam sistem atau sinyal
N Code	: Kode kalim at dalam pemrograman mesin CNC
G Code	: Kode instruksi dalam pemrograman mesin CNC
Griffer	: Lengan robot untuk mengambil material
Inkremental	: Pengukuran berdasarkan pada perubahan panjang lintasan
Absolute	: Pengukuran berdasarkan pada perubahan panjang lintasan
Polar	: Pengukuran berdasarkan pada perubahan besar sudut lintasan
Feeding	: Kecepatan asutan dalam pemakanan benda kerja
Actuator	: Penggerak benda kerja atau output dari suatu sistem.
Katup	: Alat pengatur arah, tekanan maupun kecepatan fluida dari sistem.
Compressor	: Alat pembangkit tekanan fluida.
Arbor	: Tempat dudukan alat potong mesin frais.
Cekam	: Tempat untuk menjepit benda kerja pada mesin bubut.
Cutter	: Pisau penyayat benda kerja.
Air Service Unit	: Komponen pembersih (filter), pemberi pelumas pengatur tekanan fluida sistem.
Balamced Vane	: Pompa kipas balanced.
Bent Axis Piston	: Pompa torak dengan poros tekuk.
Processor	: Pusat pengolah semua masukan dari sesnsor untuk disalurkan pada output.
Power Supply	: Catu daya
Ladder Logic	: Diagram tangga yang digunakan dalam PLC.
Solenoida	: Kumparan kawat yang dapat dialiri listrik.
Memory	: Penyimpan data dalam computer.

INDEX

- A**
Air Service Unit 472
 Aktuator 485
 Aktuator 651
 Anak Panah 84
 Aplikasi 461
Arm Geometry 620
 Asutan 425
 AutoCAD 348
- B**
Balanced Vane 554
Bent Axis Piston 555
 Bit 594
 Bubut 220
 Bus 513
- C**
Centrifugal Casting 34
 Cetakan 29
 CNC 239
coinage de making 458
Computer Aided Design (CAD) 345
Computer Numerically Controlled (CNC) 394
 Crescent 553
 Cutter 279
Cutting Speed 253
- D**
 Device 577
 Die Casting 35
Dividing Head 293
 Drilling 459
- E**
EDM (Electrical Discharge Machining) 457
 Efektifitas 462
 Efektor 634
 Ekor 212
Ekspandable Mold Casting 31
 Elemen 14
 EMCO 426
- F**
 Frais 271
- G**
 Gambar Perspektif 77
 Gambar Potongan 90
 Garis Arsiran 100
Gear Cutters 313
 Geretor 553
 Gips 32
Gripper 634
- H**
 Hidrolik 533
- J**
 Jangka 66
- K**
 K3 53
 Katup 652
 Katup 479
 Kempa 461
 Kerja Bangku 130
 Kertas 62
 Kimia 650
 Klasifikasi 465
 Komite 55
 Kompresor 466
 Konduktor 477
 Koordinat 420
 Kotak 213
- L**
 Ladder 597
Linear 649
 Logam 20
- M**
 Mal 210
 Manipulator 620
 Meja Gambar 70
 Melukis 143
 Memahat 178
 Membengkok 202
 Mengebor 163
 Mengetap 186
 Menggam bar 62
 Menggergaji 173
 Menggerinda 193
 Mengikir 130
 Menyambung 205
 Menyekerap 191
 Menyenei 186
 Menyetempel 184
 Mereamer 171
 Mesin Gambar 70
Metal Working 38
 Mineral 20
 Modul 578
 Momen 642
Mounting 501
- O**
 OMRON 588
 Otomasi 565
- P**
 Pascal 548
 Pasir 31
 Pelat 202
 Pendinginan 37
 Pengecatan 631
 Pengecoran 28
 Pengelasan 633
 Penggaris 65
 Penghapus 68
 Penindih 209
 Pensil 63

LAMPIRAN E.2

Perakitan 631

Plaster Casting 33

Plat 527

PLC 569

Pneumatik 461

Polar 346

Poros 14

Processor 583

Profil 527

Prosedur 58

Proyeksi 79

Proyeksi Dimentris 76

Proyeksi Isometris 73

Proyeksi Miring (Sejajar) 77

Proyeksi Piktorial 72

R

Radial Piston Pump 555

Ragum 527

Rapido 65

Rehabilitasi 59

Resin 34

ROBOT 610

Rotary Table 294

S

Sand Casting 32

Solenoids 651

Sensor 639

Silinders 652

Simbol 55

Software 434

Solid 378

Statika 1

SYSWIN 588

T

Tegangan 1

Temperatur 643

Tranduser 638

V

Vernier Caliper 325

W

Wire Cut 459

Wrist 625

ISBN 978-979-060-139-0
ISBN 978-979-060-141-3

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 25.058,00