

BAB II

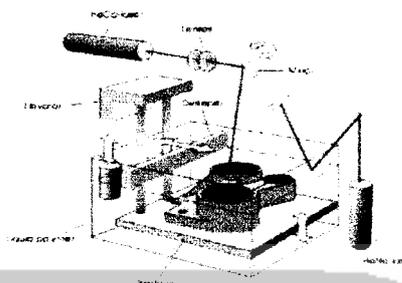
LANDASAN TEORI

2.1 *Rapid prototyping*

Teknologi *rapid prototyping* adalah teknologi yang masih relatif baru dalam pembuatan produk atau prototype. Karakteristik utama dari teknologi ini adalah pada teknologi pemesinan, proses pembentukan produk dilakukan dengan mengurangi material awal dengan cara pemotongan, atau sering disebut juga dengan proses subtraktif. Beberapa contoh proses yang termasuk dalam proses subtraktif seperti proses bubut, proses *Milling*, proses gurdi, proses gergaji, dan sebagainya.

Pada teknologi *rapid prototyping*, proses pembentukan produk atau model produk dilakukan dengan cara menambahkan material sedikit demi sedikit secara terkontrol untuk membentuk produk atau model produk. Teknologi ini sering juga disebut dengan istilah-istilah lain seperti *layer manufacturing*, *solid free-form fabrication* (SFF), *material addition manufacturing*, dan *3D-printing*. Ciri utama teknologi ini adalah *material consolidation* dengan bentuk material awal dapat berupa serbuk, cair, padat, dan lembaran. Beberapa metoda yang telah dikembangkan dalam teknologi ini adalah *Stereolithography* (SLA), *Laminated Object Manufacturing* (LOM), *Selective Laser Sintering* (SLS), *Fused Deposition Modelling* (FDM), *Solid Ground Curing* (SGC), *3-D Ink Jet Printing*. (McMains, 1995)

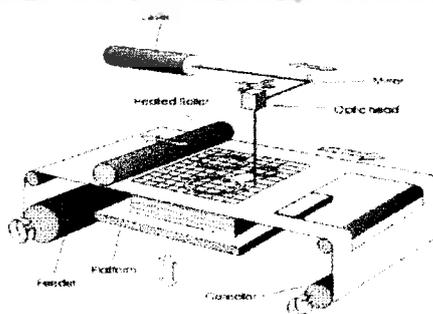
2.2 *Stereolithography (SLA)*



Gambar 2.1 Metoda *Stereolithography* (Griffith, 1998).

Teknik ini membangun model tiga dimensi dari cairan polimer fotosensitif yang memadat ketika diberi cahaya ultraviolet. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Model dibangun diatas sebuah *platform* yang ditempatkan tepat di bawah permukaan epoksi cair. Sinar laser UV bertenaga rendah difokuskan ke lapisan pertama, memadatkan polimer cair pada lapisan pertama sesuai disain produk yang akan dibentuk. Kemudian elevator menurunkan platform sejauh tebal satu lapisan. Pemangkas melapis ulang lapisan yang telah memadat dengan cairan, dan sinar laser menuju ke lapisan kedua. Proses ini diulangi hingga lapisan terakhir model produk selesai dikerjakan. Setelah itu, bagian padatan dipindahkan dan dibersihkan dari sisa cairan yang menempel (Griffith, 1998).

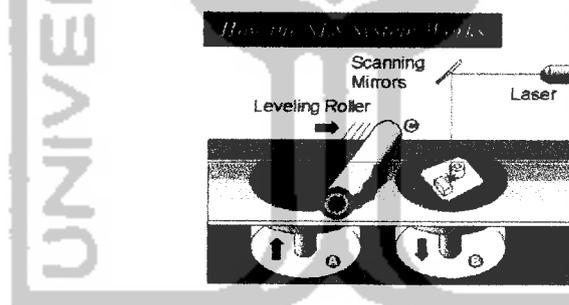
2.3 *Laminated Object Manufacturing (LOM)*



Gambar 2.2. Metoda LOM (Griffith, 1998).

Produk dari bahan lembaran plastik atau kertas yang ditempel-tempel untuk membentuk sebuah model produk. Lembaran plastik ditempelkan pada lapisan sebelumnya dengan rol pemanas, kemudian sinar laser memotong lembaran tersebut sesuai dengan batas luar dari bentuk penampang produk, seperti pada gambar 2.2. Sinar laser kemudian juga memotong lembaran di bagian luar produk dengan bentuk kotak-kotak kecil sebagai material pendukung. Tujuan dari pemotongan ini adalah untuk memudahkan pemisahan produk dengan material pendukung setelah produk terbentuk seluruhnya. Setelah lapisan pertama selesai dikerjakan, *platform* diturunkan sejauh tebal satu lapisan dan lembaran baru dilapiskan pada lembaran sebelumnya. Proses ini diulangi hingga lapisan terakhir model produk selesai dikerjakan (Griffith, 1998).

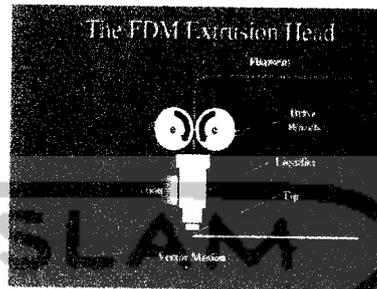
2.4 Sintering Laser Selektif (SLS)



Gambar 2.3 Metoda SLS (Griffith, 1998).

Pada metoda ini material serbuk ditaburkan dan diratakan di atas permukaan *platform*. Kemudian sinar laser memanaskan serbuk secara selektif sesuai dengan bentuk penampang produk, seperti pada gambar 2.3. Sinar laser menyebabkan serbuk-serbuk tersebut saling menyatu, selain itu sinar laser juga berguna untuk menyatukan lapisan dengan lapisan di bawahnya. Serbuk-serbuk yang tidak terkena sinar laser dibiarkan di tempat untuk digunakan sebagai material pendukung. Setelah setiap satu lapisan selesai dikerjakan, *platform* diturunkan sejauh tebal satu lapisan, dan serbuk-serbuk untuk lapisan berikutnya ditaburkan dan diratakan. Setelah bentuk produk selesai dikerjakan seluruhnya, maka produk dipisahkan dari material pendukung (Griffith, 1998).

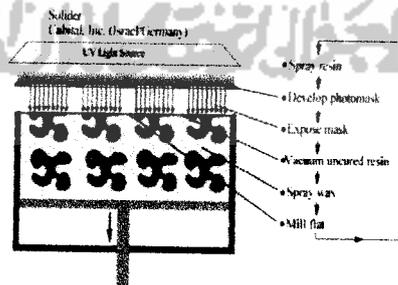
2.5 Fused Deposition Modeling (FDM)



Gambar 2.4 Metoda FDM (Griffith, 1998).

Pada gambar 2.4 metoda ini filamen termoplastik atau lilin dilewatkan nosel panas, meleleh keluar nosel dan menetes pada *platform*. Cairan lilin ini dengan cepat membeku setelah keluar nosel untuk membentuk deposit. Nosel panas ini bergerak dalam arah x-y sesuai dengan bentuk penampang produk. yang bergerak di sumbu x-y. Setelah satu lapisan selesai dikerjakan, *platform* diturunkan sejauh tebal satu lapisan. Langkah-langkah tersebut diulang-ulang hingga produk terbentuk seluruhnya (Griffith, 1998).

2.6 Solid Ground Curing (SGC)

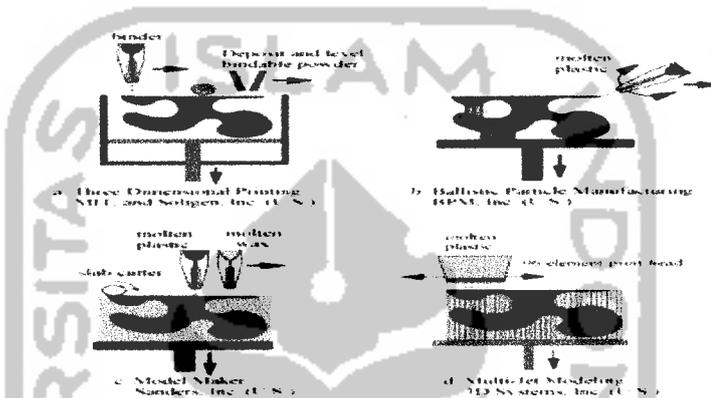


Gambar 2.5. Metoda SGC (Weiss, 1997).

Pada metoda ini, pertama resin fotosensitif disemprotkan pada *platform*. Kemudian mesin menyusun suatu pola pada pelat kaca dengan proses elektrostatis yang mirip dengan fotokopi. Sinar ultraviolet dilewatkan melalui pola mengenai resin fotosensitif menyebabkan resin tersebut menjadi padat pada bagian yang

terkena sinar. Kemudian resin yang masih berbentuk cair dihisap dan lilin dituangkan untuk digunakan sebagai material pendukung. Proses freis dilakukan untuk meratakan permukaan atas lapisan. Langkah tersebut diulang-ulang hingga lapisan terakhir selesai dikerjakan (Weiss, 1997).

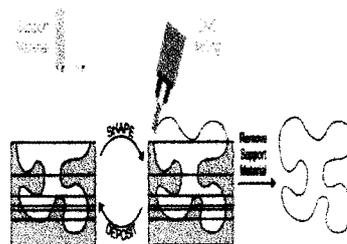
2.7 3-D Ink Jet Printing



Gambar 2.6. Metoda 3-D Ink Jet Printing (Weiss, 1997)

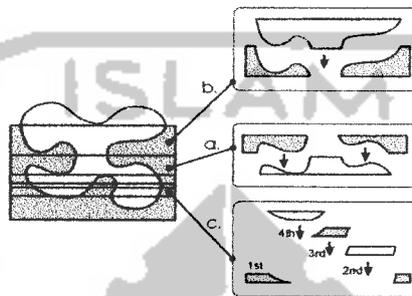
Pada metoda ini material serbuk ditaburkan di atas *platform* dan diratakan dengan roller, kemudian nosel meneteskan perekat secara selektif sesuai dengan bentuk penampang produk, seperti pada gambar 2.6. Serbuk yang terkena perekat akan saling berikatan, dan serbuk yang tidak terkena perekat berfungsi sebagai material pendukung. Setelah satu lapisan selesai dikerjakan, *platform* diturunkan sejauh tebal satu lapisan. Langkah tersebut diulang-ulang hingga lapisan terakhir selesai dikerjakan (Weiss, 1997)

2.8 Shape Deposition Manufacturing (SDM)



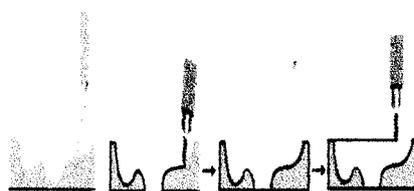
Gambar 2.7 SDM (Prinz, 1994)

Metoda *shape deposition manufacturing* (SDM) pada dasarnya sama dengan metoda lainnya dalam *rapid prototyping*. Metoda SDM merupakan gabungan dari proses *additive* (menggabungkan material lapis demi lapis) dan proses *subtractive* (pengurangan material) seperti pada gambar 2.7.

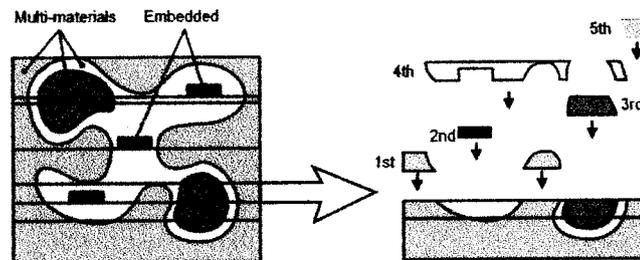


Gambar 2.7.1 SDM Proses Subtractive (Prinz, 1994)

Pada gambar 2.7.1c *support material* dibangun, setelah itu proses *cnc milling* untuk membentuk rongga cetak, setelah rongga cetak terbentuk, material produk dituang penuh, seperti pada gambar 2.7.1a pada proses ini terjadi proses *subtractive* material, yaitu menghilangkan material (warna kuning). Pada gambar 2.7.1b *support material* dituang lagi sampai penuh, kemudian di *Milling* (warna biru). Proses ini diulang sampai pada *shape* terakhir. Beberapa tahapan proses pemahatan dengan mesin *CNC Milling* 3 atau 5 sumbu pada metoda SDM ditunjukkan pada gambar 2.7.3. (Prinz, 1994)



Gambar 2.7.2 Tahapan deposition dan shaping (Prinz, 1994).



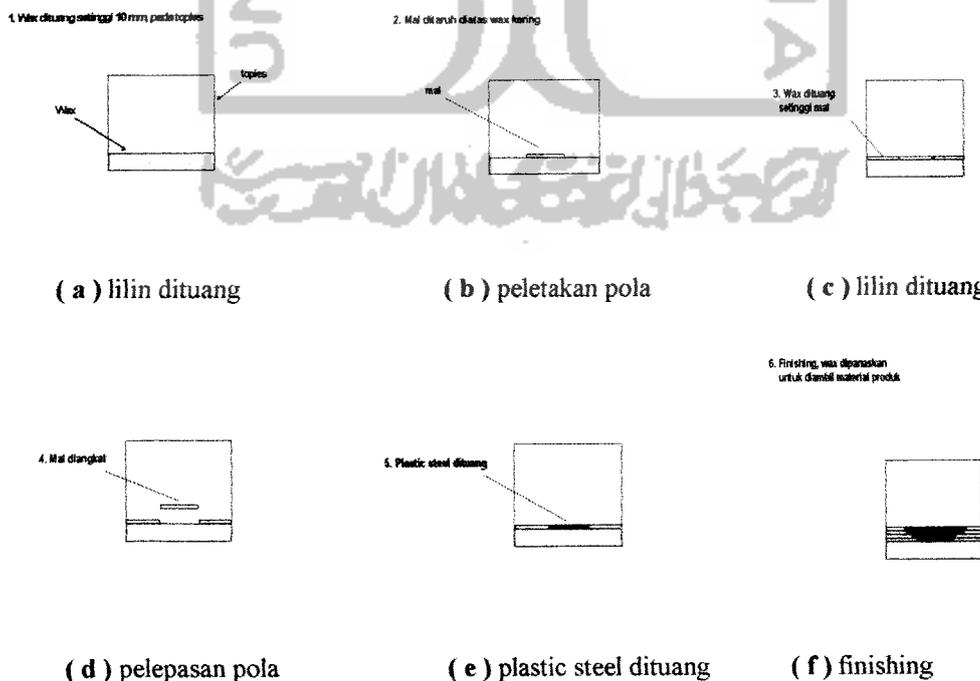
Gambar 2.7.3 Struktur multi material dengan menyisipkan komponen. (Prinz, 1994)

Membuat prototype dengan bentuk yang kompleks dan material *additive*, memungkinkan proses pembuatan multi material dan bentuk setengah jadi ditempelkan didalam material produk tersebut, seperti pada gambar 2.7.3. (Prinz, 1994)

2.9 Metoda *Layer Deposition Manufacturing* (LDM)

Metoda ini dapat dilakukan secara presisi dengan menggunakan mesin *milling* CNC atau dilakukan secara manual. Metoda manual ini diperuntukkan bagi industri kecil yang belum memiliki peralatan mesin *milling* CNC.

2.9.1 Langkah kerja metoda *Layer Deposition Manufacturing* (LDM)

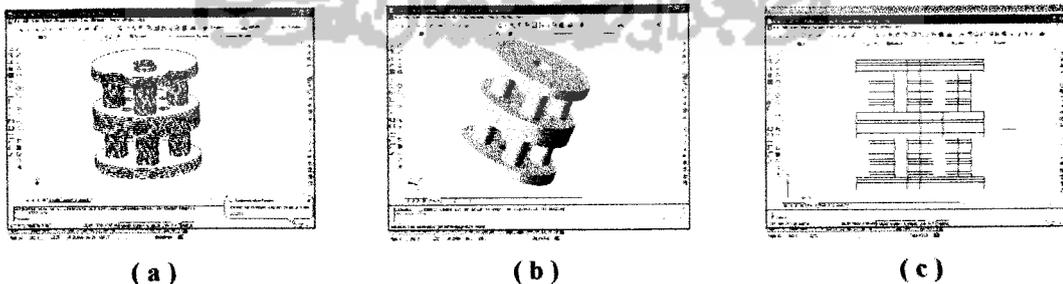


Gambar 2.8 LDM secara manual.

Gambar 2.8.a merupakan langkah kerja pertama yaitu lilin dituang pada toples setinggi 1 mm, dengan tujuan untuk melapisi dasar toples, sehingga saat material produk dituang tidak menempel pada toples tetapi menempel pada lilin atau *layer* (lapisan) pertama. Kemudian langkah kedua yang ditunjukkan pada gambar 2.8.b pola diletakkan diatas layer pertama. Pola terbuat dari kertas katon, kayu atau plat baja. Setelah pola diletakkan secara presisi kemudian lilin cair dituang di sekeliling pola hingga ketebalan satu lapisan, misalnya 1 mm. Setelah beberapa saat terbentuk lapisan tipis lilin beku, seperti pada gambar 2.8.c. Pola diangkat dan dilepaskan dari lapisan lilin tersebut sehingga terbentuk lubang cetak yang sesuai dengan bentuk dari pola, seperti gambar 2.8.d.

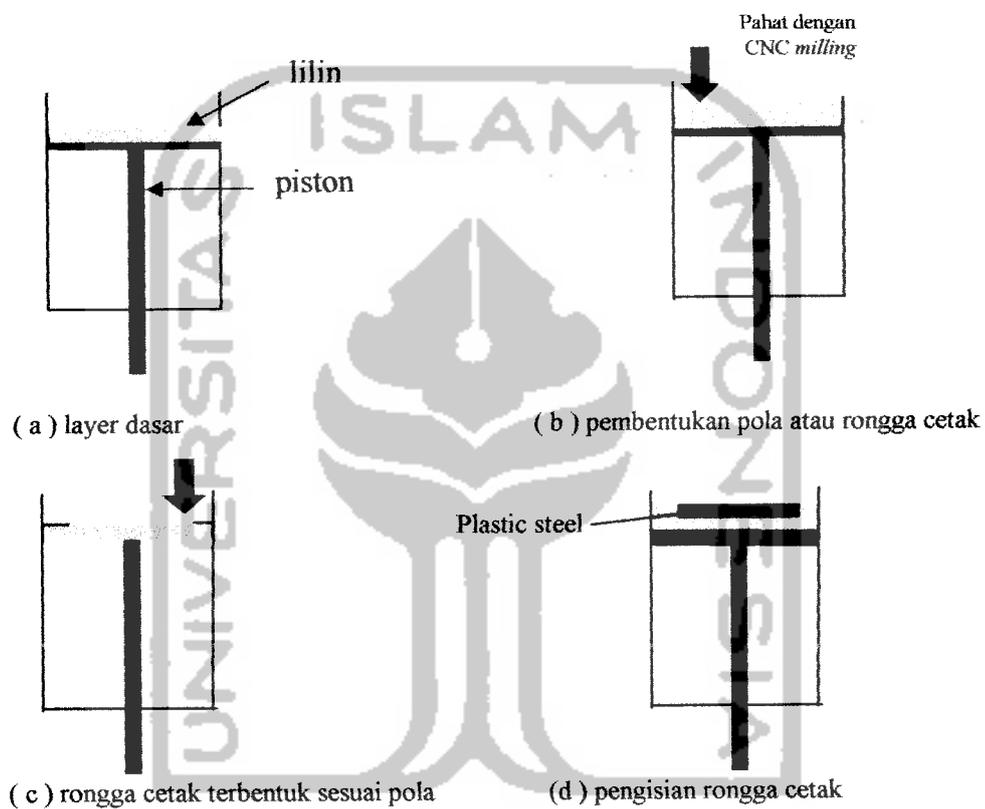
Pada gambar 2.8.e material produk yang berbentuk cair atau pasta dituang mengisi lubang cetak sesuai dengan pola yang dibentuk, dan material produk segera mengeras setelah beberapa saat. Proses ini dilakukan secara berulang-ulang sampai pada layer terakhir seperti pada gambar 2.8.f dan kemudian tahapan terakhir yaitu melepas material produk dari *support material* (lilin) dengan cara dipanaskan atau dilelehkan lilinnya dari material produknya, biasanya proses pemanasan bisa dilakukan memakai kompor atau oven dengan syarat pemanasan sampai titik cair lilin.

2.9.2. LDM dengan memanfaatkan CNC



Gambar 2.9. Model. (a) dan (b) contoh model *AutoCAD*. (c) format *slice*

Dari gambar 2.9 produk dapat dibuat dengan metoda LDM dengan memanfaatkan mesin CNC, metoda ini pada prinsipnya sama dengan metoda LDM secara manual, yang membedakan hanya pada pembuatan pola atau rongga cetak untuk *support materialnya* (material pendukung).



Gambar 2.10. Metoda LDM

Langkah kerja dari proses pembuatan produk dengan metoda ini adalah seperti pada gambar 2.10.a lilin cair, sebagai material pendukung, dituang secara tipis ke suatu lubang silinder dan didiamkan hingga membeku membentuk satu lapisan lilin. Pada lapisan lilin tersebut kemudian dibuat lubang cetak dengan proses freis menggunakan mesin CNC *Milling* agar lebih presisi seperti pada gambar 2.10.b. Pada gambar 2.10.c lubang cetak terbentuk, kemudian material produk yang berbentuk cair atau pasta (dalam penelitian ini digunakan *plastic steel* / resin-epoxy) dimasukkan ke dalam lubang cetak tersebut seperti pada

gambar 2.10.d dan segera mengeras setelah beberapa saat dengan bentuk menyesuaikan lubang cetak. Proses yang dilakukan untuk lapisan berikutnya, yaitu dengan menurunkan piston pada dasar lubang silinder, kemudian lilin cair dituang ke lubang silinder dan dibentuk lubang cetak dengan proses pemesinan untuk lapisan berikutnya. Material produk dituang, begitu seterusnya proses tersebut diulang-ulang hingga pada lapisan yang terakhir. Produk dilepaskan dari lilin dengan cara memanaskannya hingga sedikit di atas titik cair lilin, lilin meleleh dan produk dapat diambil.

2.10 Bagian-Bagian Penting Dari Mesin.

210.1 Motor listrik.

Dalam perancangan ini motor listrik memegang peranan penting. Motor listrik berfungsi sebagai penggerak mesin pembuat pola lilin, motor yang digunakan adalah motor dengan daya 1/16 Hp dan dengan putaran 6000 rpm.



Gambar 2.11 Motor Listrik

2.10.2 Poros.

Poros merupakan salah satu bagian yang terpenting dari setiap mesin. Hampir semua mesin meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran. Peranan utama dalam transmisi seperti itu dipegang oleh poros. Poros untuk meneruskan daya diklasifikasikan menurut pembebanannya sebagai berikut:

(1). Poros Transmisi

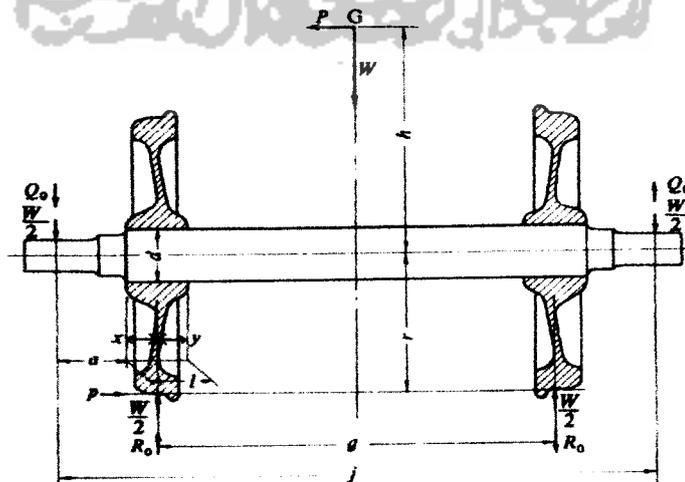
Poros macam ini mendapat beban puntir murni atau puntir dan lentur. Daya ditransmisikan kepada poros ini melalui kopling, roda gigi, puli sabuk atau sprocket rantai.

(2). Spindel

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

(3). Gandar

Poros seperti yang dipasang di antara roda-roda kereta barang, dimana tidak mendapat beban puntir, bahkan kadang-kadang tidak boleh berputar. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12. Gandar ini hanya mendapat beban lentur, kecuali jika digerakkan oleh penggerak mula dimana akan mengalami beban puntir juga.



Gambar 2.12 Gandar. (Sularso, 1997)

Untuk merencanakan sebuah poros, hal-hal yang perlu diperhatikan sebagai berikut:

(1). Kekuatan poros.

Suatu poros transmisi dapat mengalami beban puntir atau lentur atau gabungan antara puntir dan lentur seperti telah diutaran di atas. Juga ada poros yang mendapat beban tarik atau tekan seperti poros baling-baling kapal selam atau turbin. Kelelahan, tumbukan atau pengaruh konsentrasi tegangan bila diameter poros diperkecil (poros bertangga) atau bila poros mempunyai alur pasak, harus diperhatikan. Sebuah poros harus direncanakan hingga cukup kuat untuk menahan beban-beban di atas.

(2). Kekakuan poros

Meskipun sebuah poros mempunyai kekuatan yang cukup tetapi jika lenturannya atau defleksi puntirnya terlalu besar akan mengakibatkan ketidaktepatan (pada mesin perkakas) atau getaran dan suara.

(3). Putaran kritis

Bila putaran suatu mesin dinaikkan maka pada suatu harga putaran tertentu dapat terjadi getaran yang luar biasa besarnya. Putaran ini disebut putaran kritis. Jika mungkin, poros harus direncanakan sedemikian rupa sehingga putaran kerjanya lebih rendah dari putaran kritisnya.

(4). Korosi

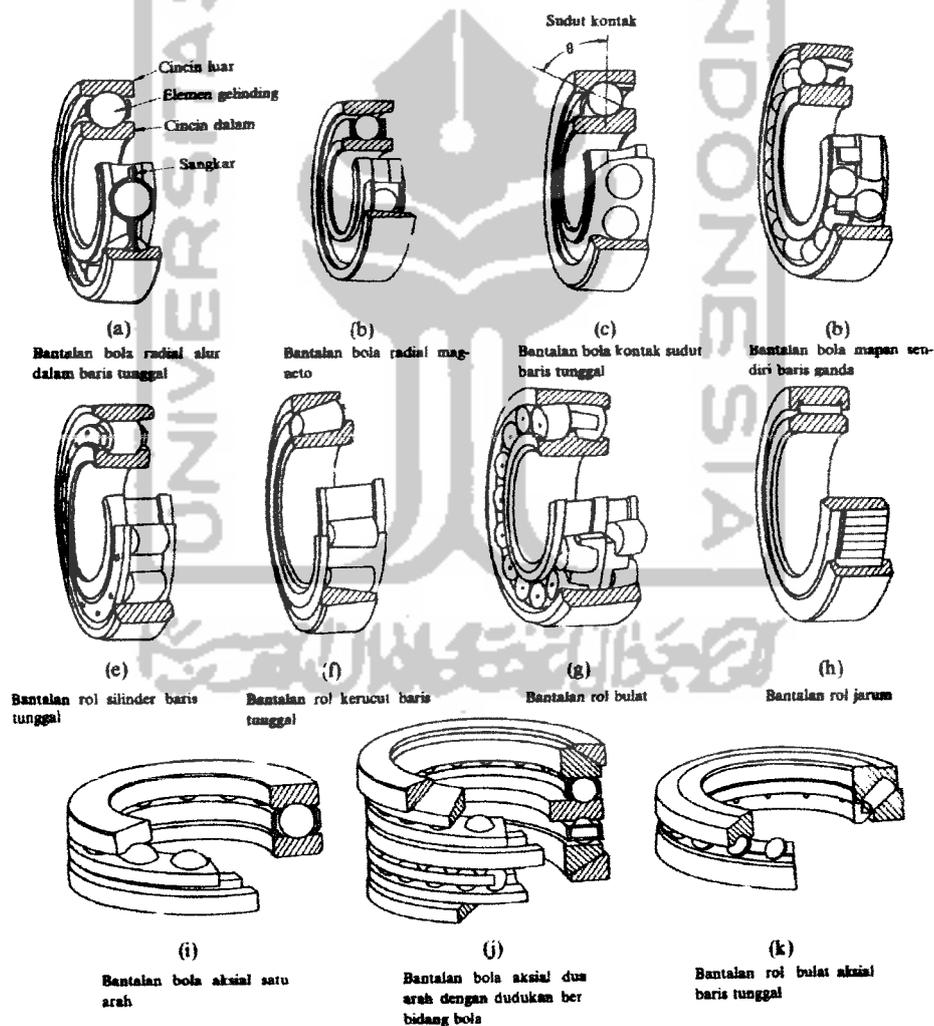
Bahan-bahan tahan korosi harus dipilih untuk poros yang terjadi kontak dengan fluida yang korosif. Demikian pula untuk poros-poros yang terancam kavitasi, dan poros-poros mesin yang sering berhenti lama. Sampai batas-batas tertentu dapat pula dilakukan perlindungan terhadap korosi.

(5). Bahan poros

Poros yang dipakai untuk meneruskan putaran tinggi dan beban berat umumnya dibuat dari baja paduan dengan pengerasan kulit yang sangat tahan terhadap keausan. Sekalipun demikian pemakaian baja paduan khusus tidak selalu dianjurkan jika alasannya hanya karena putaran tinggi dan beban berat.

2.10.3 Bantalan

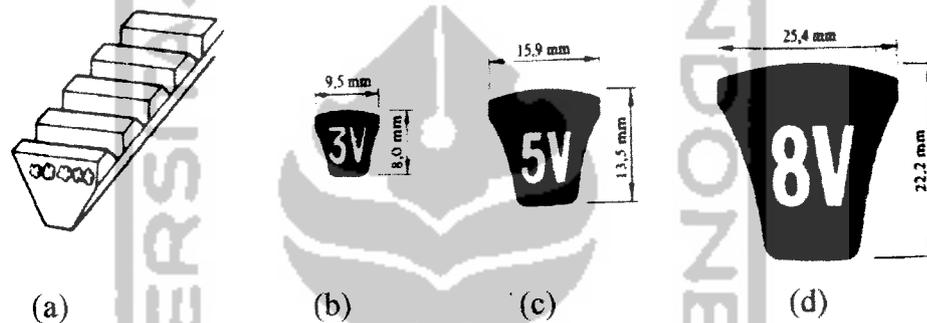
Bantalan merupakan elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan panjang umur. Bantalan harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Bantalan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Bantalan gelinding*. Pada bantalan ini terjadi gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan yang diam melalui elemen gelinding seperti bola (peluru), rol atau rol jarum, dan rol bulat.



Gambar 2.13 Macam-macam bantalan gelinding. (Sularso, 1997)

2.10.4 Sabuk dan Puli

Jarak yang jauh antara dua buah poros sering tidak memungkinkan transmisi langsung dengan roda gigi. Dalam hal demikian, cara transmisi putaran atau daya yang lain dapat diterapkan, di mana sebuah sabuk atau rantai dibelitkan sekeliling puli atau sproket pada poros. Transmisi sabuk yang bekerja atas dasar gesekan belitan mempunyai beberapa keuntungan karena murah harganya, sederhana konstruksinya dan mudah untuk mendapatkan perbandingan putaran yang di inginkan. Dalam perancangan ini sabuk yang digunakan adalah sabuk- V sempit.



Gambar 2.14 Konstruksi sabuk-v sempit. (Sularso, 1997)

- a.) Sabuk-V sudut lebar.
- b.) Tipe 3V
- c.) Tipe 5V
- d.) Tipe 8V

Puli sabuk dibuat dari besi cor atau baja. Puli kayu tidak banyak lagi dijumpai. Untuk konstruksi ringan diterapkan puli dari paduan aluminium. Puli sabuk baja terutama cocok untuk kecepatan sabuk yang tinggi (di atas 35 m/det). Pada puli yang normal, lebar B diambil $\approx 1.1 \times$ lebar sabuk + 10 mm, pada tranmisi bersilang atau yang setengah bersilang, $B = 1.4 \times$ lebar sabuk + 10 mm



Gambar 2.15 Puli.

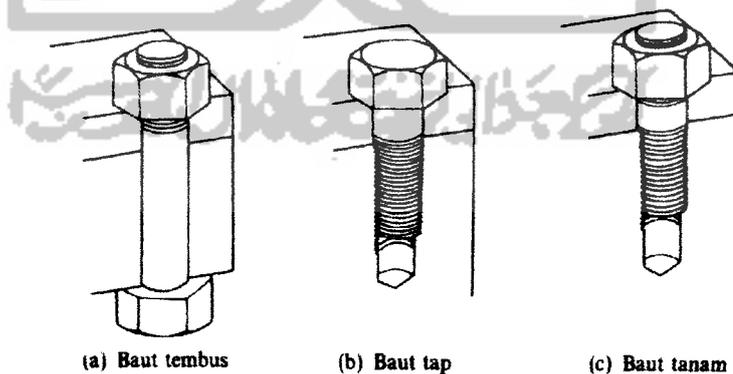
2.10.5 Baut.

Untuk memasang mesin, berbagai bagian harus disambung atau diikat untuk menghindari gerakan terhadap sesamanya. Baut, pasak, dan paku keling banyak dipakai.

Baut digolongkan menurut bentuk kepalanya, yaitu segi enam, soket segi enam, dan kepala persegi. Baut dan mur dapat dibagi sebagai berikut : baut penjepit, baut untuk pemakaian khusus, sekrup mesin, dan mur, dalam perancangan ini yang digunakan adalah baut penjepit dan mur.

(1) Baut penjepit (Gambar 2.16), dapat berbentuk :

- a. *Baut tembus*, untuk menjepit dua bagian melalui lubang tembus, di mana jepitan diketatkan dengan sebuah mur..
- b. *Baut tap*, untuk menjepit dua bagian, di mana jepitan diketatkan dengan ulir yang ditapkan pada salah satu bagian.
- c. *Baut tanam*, merupakan baut tanpa kepala dan diberi ulir pada kedua ujungnya. Untuk dapat menjepit dua bagian, baut ditanam pada salah satu bagian yang mempunyai lubang berulir dan jepitan diketatkan dengan sebuah mur.



(a) Baut tembus

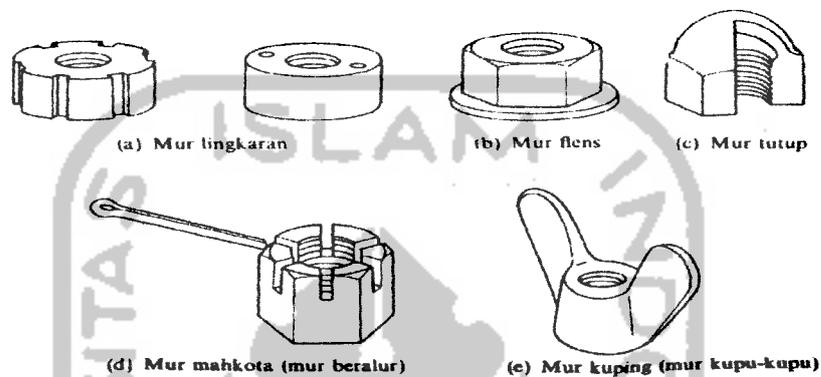
(b) Baut tap

(c) Baut tanam

Gambar 2.16 Baut penjepit. (Sularso, 1997)

(2) Mur (Gambar 2.17)

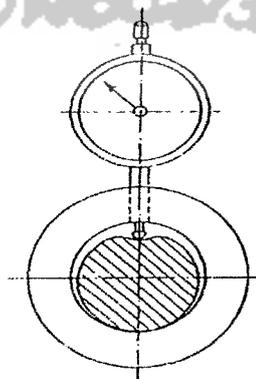
Pada umumnya mur mempunyai bentuk segi enam. Tetapi untuk pemakaian khusus dapat dipakai mur dengan bentuk yang bermacam-macam, seperti mur bulat, mur flens, mur tutup, mur mahkota, dan mur kuping.



Gambar 2.17 Macam-macam mur. (Sularso, 1997)

2.11 Pengukuran Kebulatan.

Kebulatan dan diameter adalah merupakan dua karakter geometris yang berbeda, meskipun demikian mereka saling berkaitan. Ketidakbulatan akan mempengaruhi hasil pengukuran diameter, sebaliknya pengukuran diameter tidak selalu akan menunjukkan ketidakbulatan.

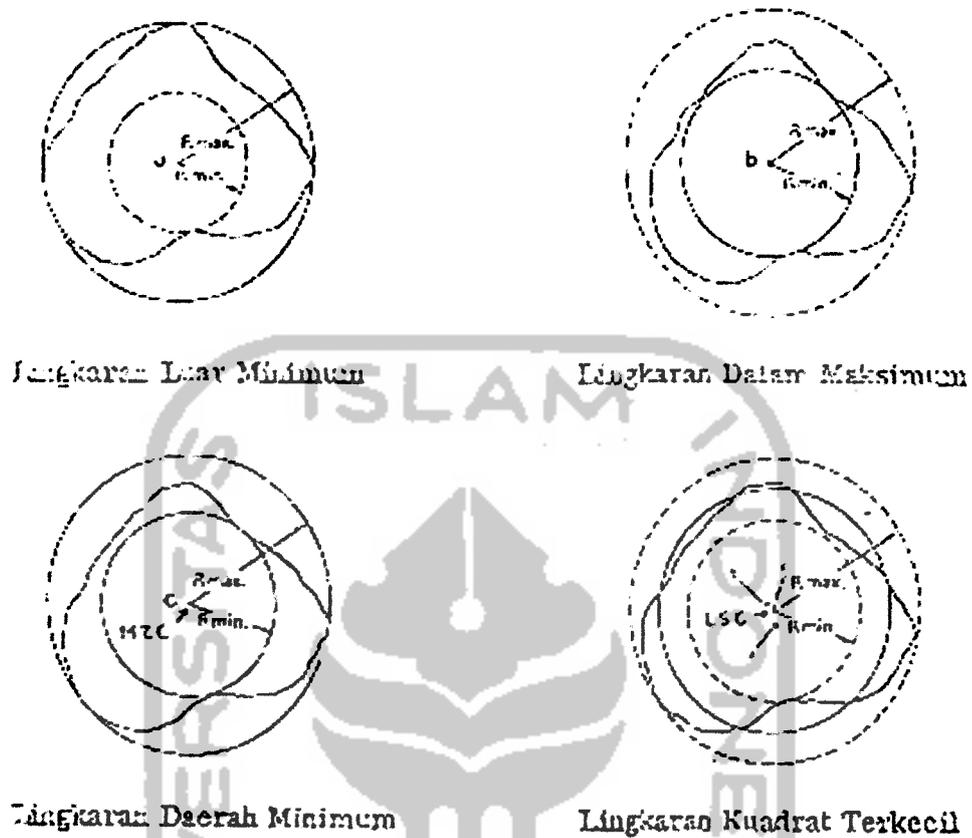


Gambar 2.18 Pengukuran kebulatan dengan kaliber ring dan jam ukur. (Rochim.T, Wijarmanto. S. H.,1985)

Pengukuran kebulatan dengan kaliber ring dan jam ukur dapat digunakan untuk memeriksa kebulatan (Gambar 2.18). dengan memutar poros (benda ukur), maka goyangan pada jarum jam ukur menunjukkan harga ketidakbulatan. Akan tetapi pengukuran ini mempunyai segi yang tidak menguntungkan. Pertama, perlu pembuatan kaliber teliti yang khusus untuk diameter tertentu. Kedua, hasil pengukuran masih dipengaruhi oleh bentuk ketidakbulatan dan kelonggaran antara benda ukur dengan kaliber ring tersebut.

Untuk menyatakan harga ketidakbulatan perlu didefinisikan parameter kebulatan, yaitu suatu harga yang dapat dihitung berdasarkan profil kebulatan relatif terhadap lingkaran referensinya. Menurut standard Inggris, Amerika dan Jepang ada empat macam lingkaran referensi, yaitu ;

1. Lingkaran Luar Minimum (*Minimum Circumscribed Circle*)
Ketidakbulatan sama dengan jarak radial dari lingkaran tersebut ke lekukan yang paling dalam.
2. Lingkaran Daerah Minimum (*Minimum Zone Circle*)
Titik tengah dari lingkaran daerah minimum disebut dengan MZC atau *Minimum Zone Centre*. Lingkaran Dalam Maksimum (*Maximum Inscribed Circle*). Ketidakbulatan merupakan selisih dari jari-jari kedua lingkaran tersebut dan dinamakan MRZ atau *Minimum Radial Zone*.
3. Lingkaran Dalam Maksimum (*Maximum Inscribed Circle*)
Ketidakbulatan sama dengan jarak radial dari lingkaran tersebut ke tonjolan paling tinggi.
4. Lingkaran Kuadrat Terkecil (*Least Squares Circle*)
Titik tengah lingkaran kuadrat terkecil dinamakan LSC atau *Least Squares Circle*. Jarak radial harga mutlak rata-rata antara profil kebulatan dengan lingkaran kuadrat terkecil disebut MLA atau *Mean Line Average*.



Gambar 2.19 Macam-macam lingkaran referensi. (Rochim.T, Wijarmanto., 1985)

ISO menganjurkan lingkaran daerah minimum (MZC) sebagai referensi untuk menghitung harga ketidakbulatan, karena MRZ yang diperoleh adalah setaraf dengan definisi toleransi kebulatan.