

## Bab 2

### Tinjauan Pustaka

#### 2.1 Tes Mandrel

Tes mandrel digunakan untuk memeriksa posisi *spindle* yang sebenarnya. Tes mandrel memberikan pemeriksaan kualitas seperti kelurusan dan kebulatan pada tes penerimaan. Terdapat dua jenis tes mandrel, yaitu, a) tes mandrel dengan permukaan ukur silinder dan *taper shank* yang dapat dimasukkan ke dalam lubang konus *spindle* utama, dan b) tes mandrel silinder yang dapat dipegang di antara pusat. Tes mandrel dikeraskan, dihilangkan tegangan sisanya dan digerinda untuk memastikan akurasi dalam pengujian. Lendutan yang disebabkan oleh berat tes mandrel dikenal sebagai 'sag alami', yang juga tidak dapat diabaikan. *Slag* terjadi ketika mandrel dicekam secara tetap antara pusat dan lebih ditandai ketika didukung hanya pada satu ujung oleh *taper shank*, sedangkan ujung luar bebas menggantung. Untuk menjaga *slag* dalam batas yang diizinkan, mandrel dengan *taper shank* bervariasi antara 100 hingga 500 mm [1].

Tes mandrel merupakan mandrel yang digunakan sebagai alat bantu dalam pengukuran toleransi geometri suatu mesin perkakas, seperti mesin bubut, mesin freis dan lain-lain. Tes mandrel biasa digunakan untuk mengecek kesejajaran suatu sumbu poros mesin perkakas. Sebuah tes mandrel dengan pegangannya meruncing berfungsi untuk mewakili secara material suatu sumbu rotasi, sehingga kesejajaran sumbu dapat diperiksa. Mandrel yang dipasang di antara dua pusat menyediakan referensi garis lurus yang menghubungkan dua titik pusat, sehingga dapat memeriksa kesejajaran pusat tersebut. Tes mandrel terbuat dari baja yang dikeraskan dan distabilkan. Untuk penggunaan dan keakuratan yang mudah, tes mandrel dilengkapi dengan pusat yang tersembunyi.

##### 2.1.1 Tes Mandrel dengan *Taper Shank*

Sebuah tes mandrel merepresentasikan, dengan batas panjang tertentu, sumbu yang diperiksa, baik untuk *run-out* atau posisi yang berhubungan dengan komponen lain pada mesin. Tes mandrel mempunyai *shank* yang meruncing untuk dimasukkan ke dalam mesin yang akan diperiksa, dan sebuah benda yang berbentuk silindris yang digunakan sebagai referensi untuk pengukuran. Tes mandrel juga mempunyai karakteristik berikut:

1. Pusat digerinda dan *lapped*, dipasang untuk perlindungan pada ujung-ujungnya, untuk tujuan pada proses manufaktur dan inspeksi;
2. Mempunyai empat garis referensi  $r$  yang berjarak  $90^\circ$  (1, 2, 3 dan 4); jarak antara tanda pada dua ujung pada bagian silindris menunjukkan panjang,  $l$ : 75 mm, 150 mm, 200 mm, 300 mm atau 500 mm;
3. Pada kasus yang berhubungan terhadap slow Morse dan metrik meruncing, mandrel berpegang sendiri pada soket. Bagian berulir disediakan untuk dipasang mur untuk memberi perpanjangan pada mandrel dari soket;
4. Pada kasus yang berhubungan dengan *taper* yang curam, lubang yang diruncingkan disediakan untuk memperbaiki mandrel melalui batang penahan ulir, atau sebuah tombol retensi yang digunakan dengan sebuah perangkat pengganti alat otomatis.

Untuk mencegah mandrel terbalik ujungnya ketika menggerinda, instrumen dapat dipasang dengan sebuah ekstensi P dengan panjang 14 mm hingga 32 mm dan diameter yang sedikit lebih kecil dari bagian silinder. Sebuah seri mandrel yang sesuai dilampirkan di Lampiran A. Dimensi eksternal (diameter dan panjang) dan profil pada lubang mandrel telah ditentukan maka (dengan pengecualian untuk Morse 0 dan 1) defleksi pada ujung yang tidak diberi beban, disebabkan oleh beban dari mandrel bergantung dan defleksi yang disebabkan oleh tekanan yang diberikan oleh *dial gauge* di atasnya, diabaikan ketika pengetesan dengan instrumen tersebut. Tabel 2.1 menunjukkan nilai defleksi dan syarat-syarat lain yang terkait.

Defleksi dihitung untuk  $E = 206 \text{ kN/mm}^2$ ; bahkan untuk nilai yang lebih kecil ( $E = 176 \text{ kN/mm}^2$  hingga  $186 \text{ kN/mm}^2$ ), defleksi tetap dapat diabaikan. Untuk taper 7/24, Tabel 2.2 menunjukkan korespondensi antara bagian silindris dan dimensi konusnya.

Jika mandrel dengan dimensi berbeda sebagaimana diilustrasikan oleh gambar series mandrel yang dilampirkan di Lampiran A digunakan untuk memeriksa kesejajaran, defleksinya harus dengan jelas ditandai di atasnya dan diperhitungkan ketika melakukan pengetesan mesin. Hal yang harus diperhatikan adalah bahwa mandrel yang bermassa lebih dari lima kilogram cenderung menyebabkan defleksi pada *spindle* dimana mandrel tersebut dimasukkan. Tes mandrel tersebut harus memenuhi syarat yang diberikan di Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Untuk mencapai pemasangan yang baik pada soket mesin, ketepatan pada *taper shank* harus sesuai dengan acuan taper yang dipasang. Pada kasus mandrel yang berongga, *end-plug* harus kaku dan dipasang dengan aman sedemikian rupa sehingga tidak ada distorsi berikut yang

akan terjadi (misal yang disebabkan oleh *freezing fit*). Pengetesan mesin menggunakan sebuah mandrel terdiri dari pemasangan mandrel tersebut diantara pusat dan pengetesan *run-out* pada beberapa titik yang secara rata jaraknya sepanjang sumbu mandrel, dan juga mengukur diameter komponen silindrisnya pada dua bidang aksial yang sesuai dengan empat garis referensi. Toleransi diberikan pada Tabel 2.3 harus dipenuhi sesuai dengan panjang pengukurannya. Bagian silindris harus mempunyai permukaan yang sangat halus agar mengurangi gesekan pada titik kontak dengan stylus *dial gauge*.

Tabel 2.1 Tes mandrel – nilai defleksi [3]

Nomor taper	Panjang kerja	Mandrel dengan perpanjangan Tipe A					Observasi
		Perkiraan total massa	Defleksi natural	Defleksi tambahan ketika diberi load P di ujung bebas		Defleksi total	
				P g	mm		
Morse 0	75	0,11	0,00065	50	0,0009	0,0016	Defleksi diperhitungkan
Morse 1	75	0,13	0,0005	50	0,0007	0,0012	
Morse 2	150	0,73	0,0015	100	0,0006	0,0021	
Morse 3	200	0,96	0,0018	100	0,0007	0,0025	
Morse 4	300	2,2	0,0033	100	0,0007	0,004	
Morse 5	300	3	0,0026	100	0,0006	0,0032	Defleksi diabaikan
Morse 6	500	10	0,0058	100	0,00035	0,0062	
Metrik 80 dan lebih besar	500	15	0,0035	100	0,00015	0,0037	

Tabel 2.2 Tes mandrel – bagian silindrik 7/24 *taper shank* [3]

Nomor Taper 7/24	30	40	45	50	
				Mandrel pendek	Mandrel panjang
Panjang pengukuran, <i>l</i>	200 mm	300 mm	300 mm	300 mm	500 mm
Nomor Morse mandrel yang diadaptasi	3	4 dan 5	4 dan 5	4 dan 5	6

*Taper shank* tes mandrel harus dipasang dengan baik pada *spindle* mesin, hal ini membutuhkan perhatian pada *spindle*. Untuk menghitung *run-out*, tes mandrel harus dapat masuk dengan baik di *spindle* pada empat posisi, masing-masing diputar 90° dari posisi

sebelumnya, dan merupakan rata-rata dari empat hasil yang diambil. Untuk mengecek ketepatan pada posisi lateral kesejajaran sebuah komponen, pengetesan harus dilakukan dengan baik pada dua garis referensi yang berlawanan pada permukaan silindris mandrel tersebut, putar tes mandrel dan *spindle* sejauh  $180^\circ$ . Setelah memasukkan mandrel pada *spindle*, tes mandrel dibiarkan sesaat untuk menghilangkan panas dari tangan operator dan untuk memungkinkan suhu menjadi stabil. Untuk pemakaian tes mandrel dengan morse *taper* 0 dan 1, diperlukan untuk memperhitungkan defleksi naturalnya. Tes mandrel tersebut hanya boleh digunakan dengan pembacaan *dial gauge* sampai 0,001 mm dan diberi gaya tidak melebihi 0,5 N. *Dial gauge* sebaiknya diaplikasikan pada bagian bawah mandrel untuk menentang kedudukan naturalnya.

Tabel 2.3 Tes mandrel – kebutuhan [3]

Parameter	Nilai (mm)				
Panjang pengukuran, <i>l</i>	75	150	200	300	500
Total <i>run-out</i> sepanjang pengukuran	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
Variasi maksimum pada diameter komponen	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
Toleransi taper	Ketepatan <i>taper shank</i> harus sesuai dengan taper yang dipasang				

### 2.1.2 Tes Mandrel *Between Centre*

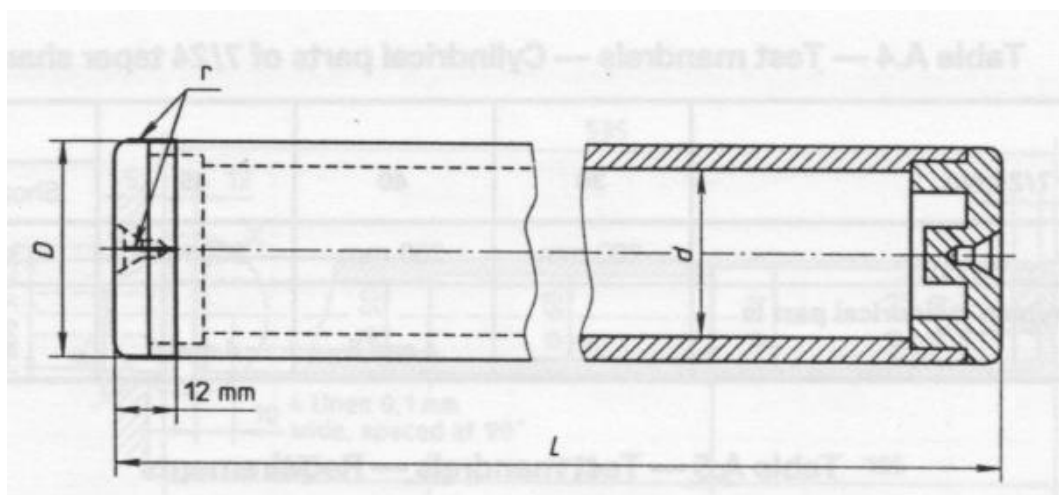
Sementara tes mandrel dengan *taper shank* berfungsi untuk merepresentasikan material dari sebuah sumbu putar, sebuah mandrel yang dipasang diantara pusat merepresentasikan sesederhana sebuah garis lurus yang melewati antara dua titik. Sumbu tes mandrel tersebut harus lurus dan bagian permukaan luarnya benar-benar silindris. Tes mandrel tersebut mempunyai, di setiap ujungnya, empat tanda referensi yang terletak di dua bidang aksial yang saling tegak lurus dan pusat yang tersembunyi untuk perlindungan.

Tes mandrel ini pada umumnya diproduksi dari logam tabung yang melewati proses tarik pada suhu tinggi dan tidak dilas. Tabung tersebut dipasang dengan *terminal plugs* yang sumbunya digerinda dan *lapped* yang mana dapat digunakan pada pemesinan dan pengetesan. *End-plug* harus kaku dan dipasang dengan aman sedemikian rupa sehingga tidak ada distorsi yang akan terjadi. Bagian luar tabung tersebut digerinda untuk memperoleh suatu kesilindrisan yang dibutuhkan. Proses pemesinan memerlukan tebal dinding yang mana biasanya tidak tersedia pada perpipaian biasa; diperlukan untuk menggunakan perpipaian yang diperkuat

dengan proses tekanan tinggi. Logamnya harus stabil sebelum dilakukan proses gerinda akhir. Tabung harus dikeraskan dan boleh dilapisi krom yang keras untuk meningkatkan resistansi dalam pemakaiannya.

Masalah satu-satunya tentang tes mandrel *between centre* adalah pentingnya pencapaian ketepatan pada proses produksinya itu sendiri. Sebagai kebutuhan penyelarasan pada peralatan mesin, tes mandrel harus dapat diukur ke sebuah ketepatan dari 0,01 mm sepanjang 300 mm, sebuah tes mandrel silindrik harus lurus paling tidak 0,003 mm pada panjang yang sama. Diatas 300 mm, tes mandrel harus berbentuk pipa, tebal dinding harus dipilih untuk mengurangi massa, tetapi tidak mengurangi kekakuannya.

Mandrel diatas 1600 mm panjangnya memberikan kesulitan pada proses produksi dan massanya cenderung tidak dapat dikendalikan. Untuk panjang yang lebih panjang lagi, diperlukan untuk menggunakan cara alternatif dalam pengetesan seperti menggunakan peralatan optik, kawat yang membentang dan mikroskop, dan lain-lain. Berikut contoh pada Tabel 2.4 yang memberikan empat kisaran panjang mandrel yang cocok untuk melakukan sebagian besar tes yang diperlukan pada mesin perkakas. Gambar 2.1 merupakan desain tes mandrel *between centre* beserta Tabel 2.4 yang memuat dimensi dan syarat yang harus dipenuhi tes mandrel *between centre*.



Gambar 2.1 Desain tes mandrel *between centre* [3]

Tabel 2.4 Tipe silindrik [3]

Panjang total	Diameter luar	Diameter dalam	Massa tanpa end-plug	Defleksi natural	Ketepatan		Permukaan akhir
					Variasi maksimum pada diameter	Run-out maksimum	
L mm	D mm	d mm	kg	mm	mm	mm	
$150 \leq L \leq 300$	40	0	1,5 - 3	0,00002 - 0,00004	0,003	0,003	Halus
$301 \leq L \leq 500$	63	50	2,7 - 4,5	0,0001 - 0,0007	0,003	0,003	
$501 \leq L \leq 1000$	80	61	8,3 - 16,5	0,0005 - 0,008	0,004	0,007	
$1001 \leq L \leq 1600$	125	105	28,2 - 45	0,003 - 0,019	0,005	0,010	

E = 206 kN/mm<sup>2</sup>

Untuk mengecek kesejajaran, pembacaan dilakukan pada satu garis referensi pada permukaan silinder tes mandrel dan lalu pada bagian yang berlawanan setelah memutar mandrel 180°. Dua set data pembacaan lalu diulangi pembacaanya pada pasangan garis referensi yang sama setelah mandrel diputar ujung ke ujung. Rata-rata pada empat set data pembacaan lalu memberikan deviasi dari kesejajaran. Metode pengukuran ini berfungsi untuk menghilangkan penyebab deviasi yang disebabkan oleh ketidaktepatan pada tes mandrel [3].

## 2.2 Proses Manufaktur

Kata manufaktur pertama kali muncul dalam bahasa Inggris pada tahun 1567 dan berasal dari bahasa latin *manu factus*, yang berarti "dibuat dengan tangan". Kata manufaktur pertama kali muncul pada 1683, dan kata produksi, yang sering digunakan secara bergantian dengan kata manufaktur, pertama kali muncul sekitar abad ke-15.

Proses manufaktur berkaitan dengan pembuatan produk. Produk yang dimanufaktur itu sendiri dapat digunakan untuk membuat produk lainnya, seperti (a) sebuah penekan besar, untuk membentuk lembar logam menjadi badan mobil, (b) sebuah pembuat lubang, untuk membuat lubang, (c) mesin gergaji industri, untuk membuat pakaian pada tingkat produksi tinggi, dan (d) banyak jenis pemesinan, untuk memproduksi barang satuan dengan variasi yang

tidak terbatas, mulai dari senar tipis untuk gitar dan motor listrik ke poros engkol dan batang penghubung untuk mesin otomatis.

Karena sebuah barang yang dimanufaktur pada umumnya dimulai dari bahan mentah, yang kemudian mengalami urutan proses untuk membuat produk, memiliki nilai tertentu. Contohnya, tanah liat mempunyai nilai tertentu, tetapi ketika tanah liat dibuat menjadi sebuah produk seperti peralatan masak, tembikar, isolator listrik, atau sebuah alat pemotong, nilai ditambahkan ke tanah liat [4].

### **2.2.1 Proses Pemesinan**

Proses pemensinan adalah proses pembentukan geram akibat perkakas, yang dipasangkan pada mesin perkakas, bergerak relatif terhadap benda kerja yang dicekam pada daerah kerja mesin perkakas. Proses pemesinan termasuk dalam klasifikasi proses pemotongan logam merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengubah bentuk suatu produk dalam logam (komponen mesin) dengan cara memotong, mengupas, atau memisah. Tergantung pada cara pemotongannya maka seluruh proses pemotongan logam dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok dasar yaitu,

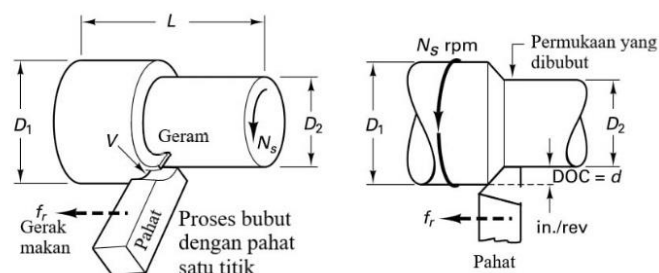
1. Proses pemotongan dengan mesin las,
2. Proses pemotongan dengan mesin pres,
3. Proses pemotongan dengan mesin perkakas, dan
4. Proses pemotongan dengan memanfaatkan energi fisik, listrik, kimiawi, dan kombinasinya yang dipusatkan pada sasaran.

Pahat yang bergerak relatif terhadap benda kerja akan menghasilkan geram dan sementara itu permukaan benda kerja secara bertahap akan terbentuk menjadi komponen yang dikehendaki. Pahat tersebut dipasangkan pada suatu jenis mesin perkakas dan dapat merupakan salah satu dari berbagai jenis pahat/perkakas potong disesuaikan dengan cara pemotongan dan bentuk akhir produk. Berdasarkan jumlah mata potong dapat diklasifikasikan dua jenis pahat yaitu pahat bermata potong tunggal dan pahat bermata potong jamak. Selanjutnya, berdasarkan mata potong pahat serta gerakan relatif terhadap benda kerja proses pemesinan dapat diklasifikasikan lebih lanjut sebagaimana skema yang diperlihatkan pada Gambar 2.3 [5].

a. Proses bubut

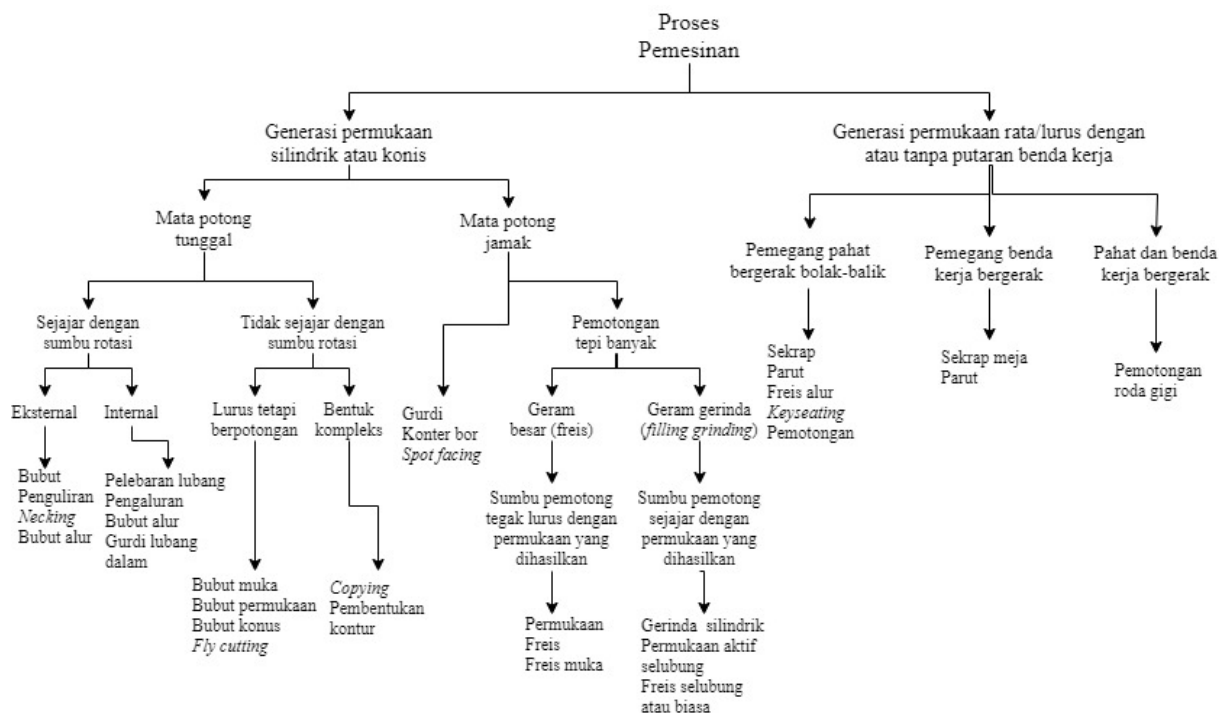
Proses bubut adalah suatu proses pemesinan dimana benda kerja diputar ketika terjadi proses pemesinan. Material yang digunakan pada umumnya sebuah benda kerja yang dibuat melalui proses pengecoran, proses tempa, proses ekstrusi, *drawing* atau *powder metallurgy*. Gambar 2.2 menunjukkan skema proses bubut dengan menggunakan pahat mata potong satu titik. Gambar 2.4 mengilustrasikan secara umum mesin bubut dan komponennya yang beragam. Mesin bubut sangat fleksibel dan dapat melakukan sejumlah proses pemesinan yang menghasilkan berbagai macam bentuk seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.5 di bawah ini.

- Bubut silindrik : menghasilkan benda kerja yang lurus, berbentuk kerucut, melengkung atau beralur seperti poros, *spindle* dan pin.
- Bubut muka : menghasilkan sebuah permukaan datar pada ujung komponen dan tegak lurus dengan sumbunya, berguna untuk komponen yang dipasang dengan komponen yang lain. Alur muka menghasilkan alur pada dudukan O-ring.
- Pemotongan dengan alat pembentuk : menghasilkan berbagai macam bentuk asimetris untuk fungsional atau untuk tujuan estetis.
- Meluaskan lubang : memperbesar sebuah lubang atau rongga silinder yang terbuat dari proses sebelumnya atau untuk menghasilkan alur dalam yang melingkar.
- Membuat lubang : membuat sebuah lubang, yang setelahnya dilakukan proses *boring* untuk memperbaiki ketepatan dimensinya dan hasil akhir permukaannya.
- *Parting* : memotong sebuah benda kerja
- *Threading* : menghasilkan ulir dalam atau luar
- *Knurling* : menghasilkan bentuk kekasaran yang teratur pada permukaan silinder, seperti pembuatan kenop dan pegangan.

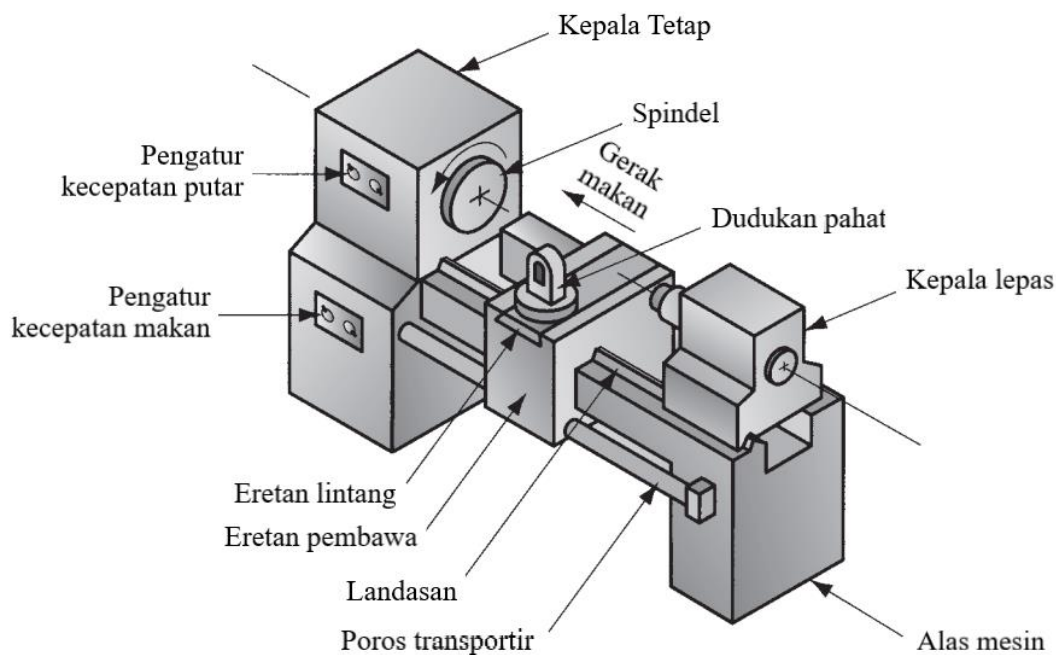


Gambar 2.2 Skema proses bubut [9]

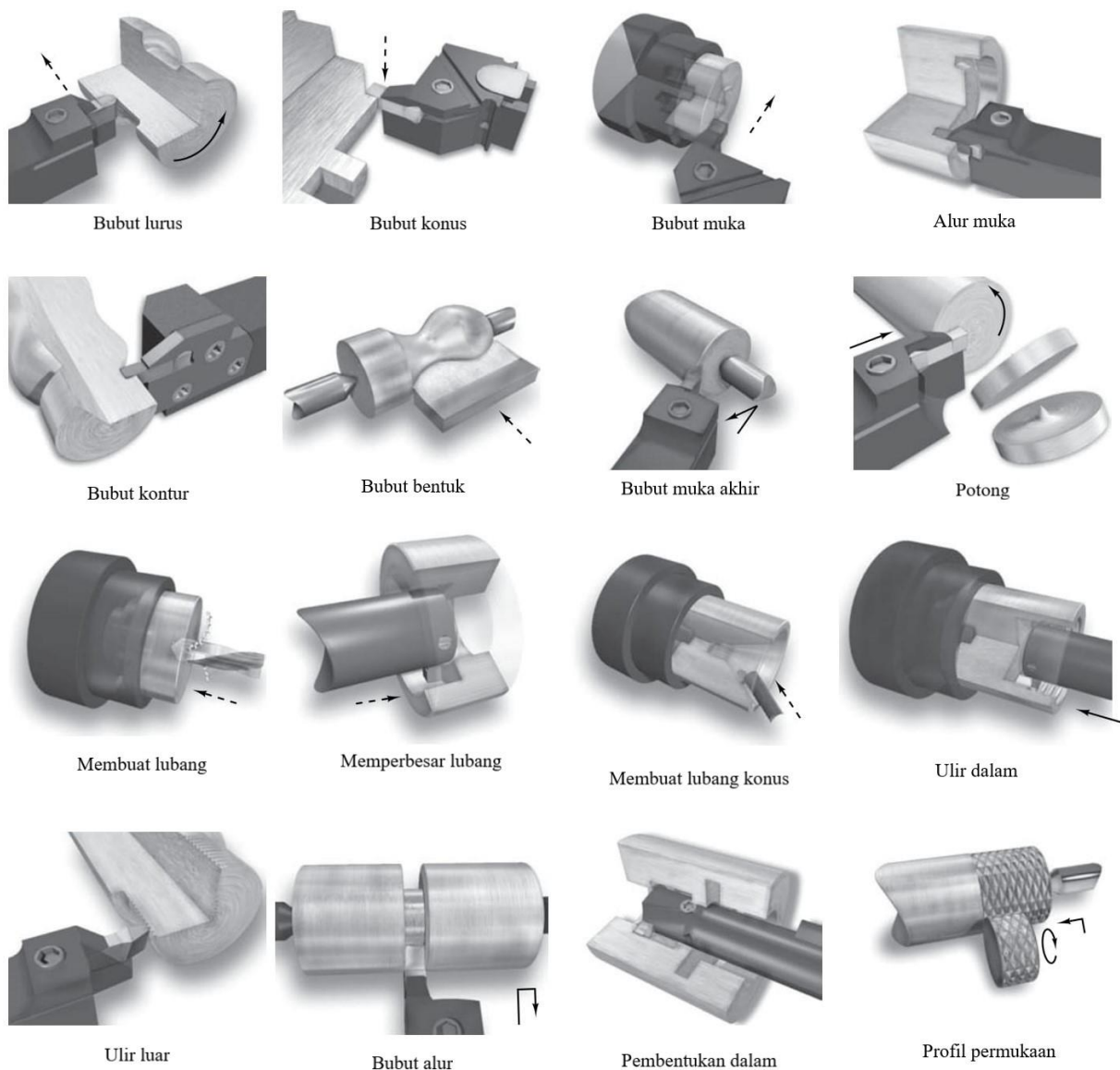




Gambar 2.3 Klasifikasi proses pemesinan berdasarkan generasi permukaan [5]



Gambar 2.4 Gambaran umum mesin bubut dan komponennya yang beragam [10]

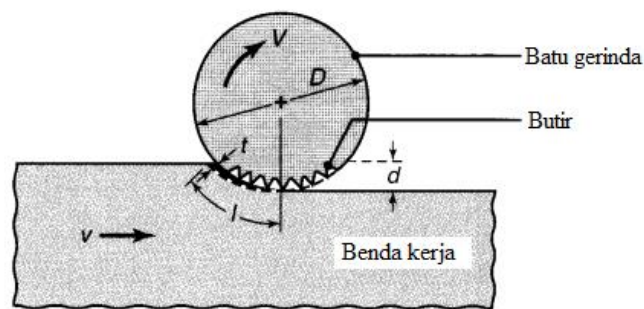


Gambar 2.5 Jenis-jenis proses pemotongan yang dapat dilakukan di mesin bubut [9]

## b. Mesin Gerinda

Proses gerinda adalah proses pembuangan geram yang menggunakan butir abrasif sebagai alat pemotongnya. Proses gerinda dan parameternya dapat diamati dalam kondisi terbaik pada proses gerinda permukaan yang ditunjukkan secara skematik pada Gambar 2.4. Batu gerinda lurus dengan diameter  $D$  memotong sebuah lapisan logam dengan kedalaman  $d$  (kedalaman batu potong). Sebuah butir pada permukaan batu bergerak pada kecepatan

tangensial  $V$ , ketika benda kerja bergerak pada sebuah kecepatan  $v$ . Setiap butir abrasif memotong geram kecil, yang mempunyai ketebalan tidak terdeformasi (kedalaman butir potong),  $t$ , dan sebuah panjang yang tidak terdeformasi,  $l$ .



Gambar 2.6 Ilustrasi skematik proses gerinda rata [4]

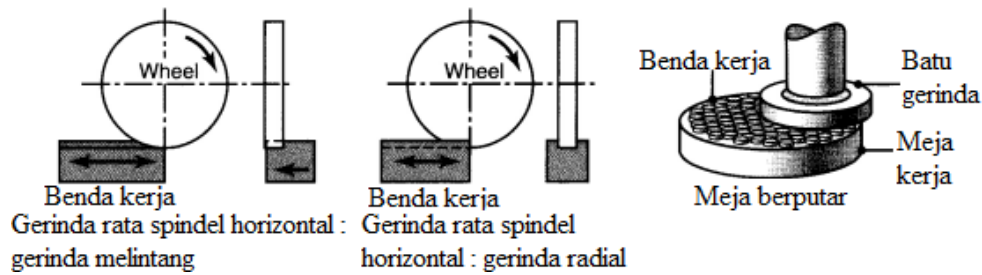
Pemilihan proses gerinda dan mesin untuk suatu pemakaian yang khusus tergantung pada bentuk benda kerja dan fitur, ukuran, kemudahan dalam pemegangan benda kerja, dan tingkat produksi yang dibutuhkan. Mesin gerinda modern dikontrol komputer dan mempunyai fitur yaitu masuk-keluarnya benda kerja otomatis, penjepitan komponen, penajaman batu gerinda, dan pembentukan batu. Penggerinda juga dapat dilengkapi dengan probe dan gauge untuk menentukan posisi relatif batu gerinda dengan permukaan benda kerja serta fitur indera perasa, misalnya dimana kerusakan alat penajam intan dapat dideteksi segera ketika siklus penajaman.

Gerakan relatif batu gerinda dapat terjadi sepanjang permukaan benda kerja (*traverse grinding* (pemakanan melintang), gerinda *through-feed*, atau *cross-feeding*, atau batu gerinda dapat bergerak secara radial ke benda kerja (gerinda *plunge*). Penggerindaan permukaan mempunyai persentase terbesar proses gerinda yang digunakan di industri, diikuti setelahnya oleh gerinda bangku (biasanya dengan dua batu gerinda pada setiap ujung *spindle*), gerinda silinder, dan alat dan pemotong gerinda-yang paling tidak umum yaitu gerinda internal.

#### 1. Gerinda rata (*surface grinding*)

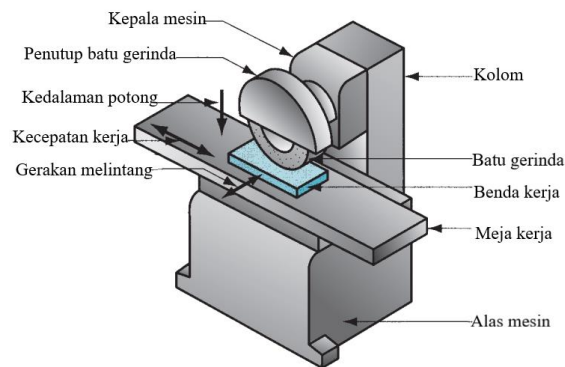
Gerinda permukaan adalah salah satu proses gerinda yang paling umum yang diilustrasikan Gambar 2.7, pada umumnya proses tersebut menggerinda permukaan datar. Benda kerja dikencangkan pada pemegang magnetik yang dipasang di meja kerja gerinda, material nonmagnetik dipegang oleh *vises*, pemegang vakum atau suatu *fixture*. Batu gerinda

lurus dipasang pada *spindle* horizontal permukaan gerinda. Gerinda *traverse* terjadi ketika meja bergerak bolak-nalik secara longitudinal dan memakan secara lateral (di arah sumbu *spindle*) setelah setiap langkah. Pada gerinda *plunge*, batu gerinda bergerak secara radial pada benda kerja, sama halnya dengan menggerinda sebuah alur.



Gambar 2.7 Ilustrasi skematik pada beberapa jenis proses gerinda rata [4]

Gerinda permukaan ditunjukkan pada Gambar 2.8 terdapat jenis lain dengan *spindle* vertikal dan meja yang berputar (tipe Blanchard). Konfigurasi ini membuat sejumlah benda kerja dapat digerinda pada satu pengaturan. Bola logam untuk *ball bearing*, contohnya, digerinda dengan pengaturan khusus dan pada tingkat produksi yang tinggi.



Gambar 2.8 Ilustrasi skematik pada gerinda rata *spindle* horizontal [10]

## 2. Gerinda silindrik (*cylindrical grinding*)

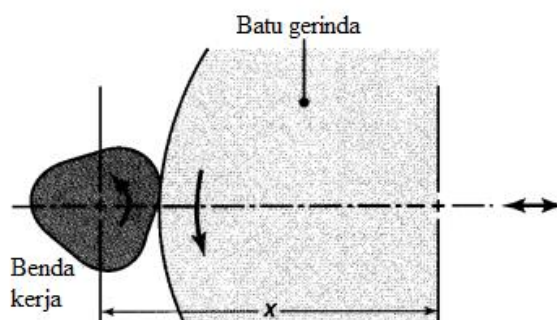
Pada gerinda silinder atau gerinda tipe-pusat, permukaan silinder luar dan bahu benda kerja seperti bantalan poros engkol, *spindle*, pin, dan bantalan cincin dilakukan proses gerinda.

Benda kerja silinder berputar bergerak bolak-balik secara lateral sepanjang sumbunya untuk mencakup lebar yang digerinda. Pada gerinda rol digunakan untuk benda kerja yang besar dan panjang seperti rol untuk proses rol, batu gerinda bergerak bolak-balik. Mesin-mesin ini dapat menggerinda rol diameter sebesar 1,8 m.

Benda kerja pada gerinda silinder dipegang diantara pusat atau di pemegang, atau dipasang diatas pelat muka di kepala tetap gerinda. Untuk permukaan silinder lurus, sumbu rotasi batu gerinda dan benda kerja sejajar. Batu gerinda dan benda kerja diputar dengan motor terpisah dengan kecepatan yang berbeda. Benda kerja yang panjang dengan dua diameter yang berbeda atau lebih dapat digerinda pada gerinda silinder. Seperti gerinda pembentukan dan gerinda *plunge*, gerinda silinder juga dapat memproduksi bentuk yang mana batu gerinda ditajamkan untuk berbentuk menjadi bentuk benda kerja yang digerinda.

Gerinda silinder diidentifikasi melalui diameter maksimum dan panjang benda kerja yang dapat digerinda – begitu pula mesin bubut. Pada gerinda universal, baik benda kerja maupun sumbu batu gerinda dapat digerakkan dan diputar di sekitar sebuah bidang horizontal, hal tersebut mengizinkan proses gerinda konus dan bentuk yang lain.

Dengan kontrol komputer, komponen non silinder seperti cam dapat digerinda pada benda kerja yang berputar. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.9, kecepatan *spindle* benda kerja disinkronisasi sehingga jarak radial,  $x$ , antara benda kerja dan sumbu batu gerinda bervariasi secara berkelanjutan untuk menghasilkan suatu bentuk tertentu, seperti yang ditunjukkan. Penggerindaan ulir dapat dilakukan di gerinda silinder menggunakan batu gerinda yang ditajamkan secara khusus yang cocok dengan bentuk ulir.

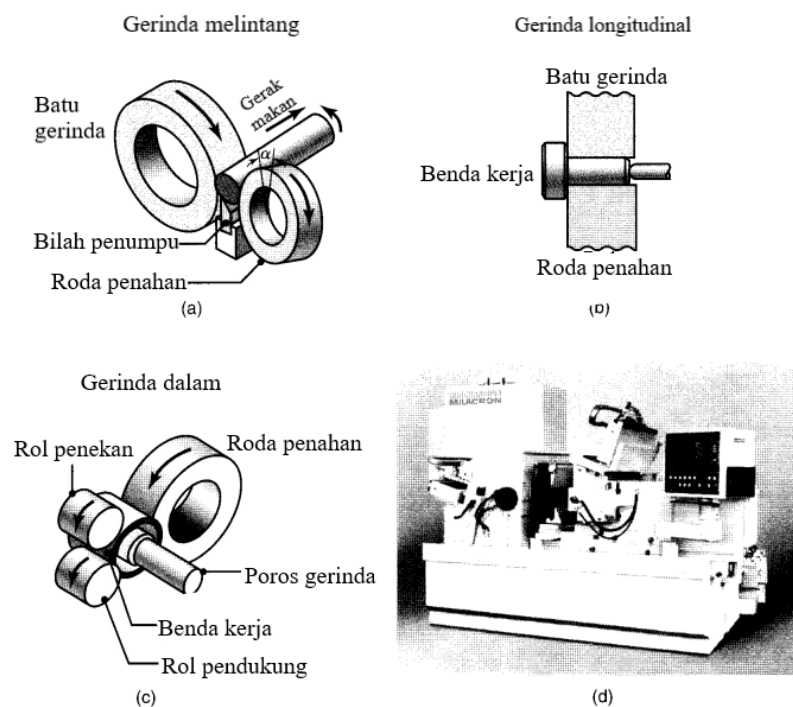


Gambar 2.9 Ilustrasi skematik gerinda non-silinder [4]

### 3. Gerinda tanpa senter (*centerless grinding*)

Gerinda tanpa senter adalah proses produksi tinggi untuk gerinda permukaan silinder yang berkelanjutan yang tidak didukung melalui pusatnya atau chuck, tetapi melalui sebuah bilah. Namun, gerinda juga dapat digunakan untuk proses pemotongan logam dalam skala besar yang sejenis, dan bersaing dengan proses freis, *broaching*, dan sekrap. Pada gerinda *creep-feed*, kedalaman potong batu,  $d$ , sedalam 6 mm dan bendakecepatan benda kerja rendah. Untuk menjaga temperatur benda kerja dan meningkatkan hasil akhir permukaan, kelas batu gerinda lebih halus ikatan resin dan mempunyai sebuah struktur terbuka.

Mesin untuk gerinda *creep-feed* mempunyai fitur khusus, seperti daya hingga 225 kW, kekakuan tinggi (karena gaya tinggi dari kedalaman pemotongan yang besar), kapasitas redam tinggi, variabel *spindle* dan kecepatan meja kerja, dan kapasitas fluida gerinda yang cukup. Mesin gerinda dilengkapi dengan fitur penajaman batu gerinda yang berkelanjutan, menggunakan rol intan sebagai alat penajam. Gambar 2.10 mengilustrasikan jenis-jenis gerinda tanpa senter : (a) *through-feed grinding*; (b) *plunge grinding*; (c) gerinda dalam; (d) sebuah mesin gerinda silindrik NC.



Gambar 2.10 Ilustrasi skematik proses gerinda tanpa senter [4]

#### 4. Pemotongan beban berat melalui gerinda

Gerinda juga dapat digunakan untuk pemotongan beban berat melalui meningkatkan parameter proses. Proses ini dapat menjadi lebih ekonomis pada aplikasi tertentu dan dapat bersaing dengan baik dengan proses pemesinan, lebih khususnya *freis*, bubut dan *broaching*. Pada proses ini, hasil akhir permukaan kepentingan sekunder dan batu gerinda (atau sabuk) digunakan hingga maksimal untuk meminimalkan ongkos per buah. Toleransi dimensi pada urutan yang sama didapatkan melalui proses pemesinan. Pemotongan beban berat melalui gerinda juga dilakukan pada pengelasan, pengecoran dan tempa untuk menghaluskan partikel las dan menghilangkan *flash*.

#### 2.2.2 Proses *Plating*

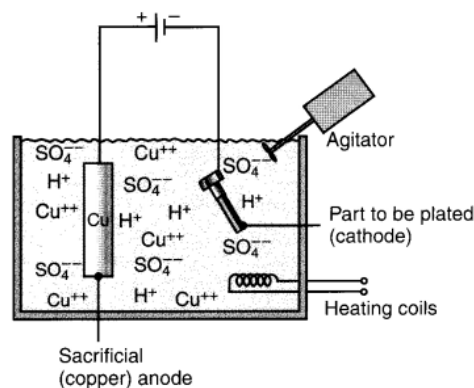
*Plating*, seperti proses pelapisan yang lain, menanamkan sifat ketahanan terhadap aus, ketahanan terhadap korosi, konduktivitas listrik yang tinggi, dan penampilan dan reflektifitas yang lebih baik, serta sifat serupa yang diinginkan. Proses elektroplating, benda kerja (katoda) dilapisi dengan logam yang berbeda (anoda), yang mana dipindahkan melalui larutan elektrolit yang berbasis air. Meskipun proses pelapisan melibatkan sejumlah reaksi, proses ini pada dasarnya terdiri dari urutan-urutan berikut, yaitu:

1. Ion logam dari anoda dilepaskan melalui energi potensial dari sumber listrik eksternal, atau dikirim dalam bentuk garam logam.
2. Ion logam dilarutkan ke dalam larutan.
3. Ion logam diendapkan pada katoda.

Larutan pelapis berupa asam kuat atau larutan sianida. Ketika logam dilapisi larutan, larutan perlu diisi ulang secara berkala, dan hal ini dapat dicapai melalui dua metode yaitu garam logam yang sengaja ditambahkan ke dalam larutan atau pengorbanan anoda logam yang dilapis digunakan pada tangki elektroplating dan larut dengan laju yang sama dengan logam yang dibentuk. Gambar 2.11 mengilustrasikan skematik proses *plating*. Terdapat tiga bentuk utama dalam proses elektroplating, yaitu:

1. *Rack plating*, komponen yang dilapis diletakkan di sebuah rak, yang kemudian dibawa melalui sebuah rangkaian tangki proses.

2. *Barrel plating*, komponen kecil diletakkan di dalam sebuah barel berpori, yang diletakkan di dalam tangki proses.
3. Proses dengan menggunakan sikat, larutan elektrolit dipompa melalui sikat genggam dengan bulu logam. Benda kerja bisa jadi sangat besar pada keadaan ini, dan proses ini cocok untuk perbaikan yang dilakukan di lapangan atau pelapisan dan dapat digunakan untuk mengaplikasikan lapisan pada alat yang besar tanpa dibongkar [4].



Gambar 2.11 Ilustrasi skematik proses plating [4]

### 2.3 Spesifikasi Geometrik

Beragam atau bervariasi merupakan sifat umum bagi produk yang dihasilkan oleh suatu proses produksi. Proses duplikasi produk dengan sempurna tidak akan dicapai, melainkan hanya mungkin dihasilkan produk yang berbeda-beda karakteristiknya. Perbedaan kecil bisa sangat berarti dan sebaliknya perbedaan besar belum tentu menandakan bahwa proses produksi yang bersangkutan tak berguna, tergantung pada sampai sejauh mana masalah ini dinilai. Hal ini menuntut kesadaran perancang produk bahwa suatu toleransi (*tolerance*) harus diperhitungkan pada waktu spesifikasi produk ditetapkan.

Memberikan toleransi berarti menentukan batas-batas maksimum dan minimum di mana penyimpangan karakteristik produk (yang disebabkan oleh ketidaksempurnaan proses produksi) harus terletak. Sesuai dengan jenis karakteristiknya, spesifikasi tersebut bisa menyangkut material, fisik maupun geometri. Spesifikasi geometrik mencakup ukuran/dimensi



(*dimension*), bentuk (*form*), posisi (*position*) serta kekasaran/kehalusan permukaan (*surface roughness/smoothness*) produk.

### 2.3.1 Toleransi Ukuran

Toleransi ukuran (*dimensional tolerance*) adalah perbedaan ukuran antara kedua harga batas (*two permissible limits*) di mana ukuran atau jarak permukaan/batas geometri komponen harus terletak. Untuk setiap komponen perlu didefinisikan suatu ukuran dasar (*basic size*) sehingga ke dua harga batas (maksimum dan minimum, yang membatasi daerah toleransi; *tolerance zone*) dapat dinyatakan dengan suatu penyimpangan (*deviation*) terhadap ukuran dasar. Ukuran dasar ini sedapat mungkin dinyatakan dengan bilangan bulat. Besar dan tanda (positif atau negatif) penyimpangan dapat diketahui dengan cara mengurangi ukuran dasar terhadap harga batas yang bersangkutan.

Dalam menentukan toleransi ukuran (*dimensional tolerance*) untuk suatu ukuran dasar, ada dua hal yang harus ditetapkan, pertama posisi daerah toleransi terhadap garis nol dan kedua besarnya daerah toleransi itu sendiri. Penjelasananya adalah sebagai berikut:

- Posisi daerah toleransi terhadap garis nol ditetapkan sebagai suatu fungsi ukuran dasar (berubah mengikuti perubahan ukuran dasar). Penyimpangan ini dinyatakan dengan simbol suatu huruf (untuk beberapa hal, bisa dipakai dua huruf). Huruf kapital (besar) digunakan untuk menyatakan penyimpangan bagi lubang (ukuran dalam) sedang huruf biasa (kecil) diberlakukan bagi poros (ukuran luar).
- Toleransi, harganya/besarnya ditetapkan sebagai suatu fungsi ukuran dasar. Simbol yang dipakai untuk menyatakan besarnya toleransi adalah suatu angka (sering disebut dengan angka kualitas).

Jadi, suatu ukuran yang diberi toleransi harus dinyatakan (dituliskan) dengan ukuran dasarnya kemudian diikuti dengan simbol yang terdiri atas huruf dan angka.

### 2.3.2 Toleransi Geometri

Suatu bentuk atau posisi (letak suatu garis/sumbu atau bidang terhadap suatu elemen geometrik yang lain yang dianggap sebagai acuan/referensi) yang dibuat dengan suatu proses produksi tidaklah mungkin dicapai dengan sempurna. Oleh karena itu, seperti halnya pada ukuran, bentuk dan posisi tersebut haruslah diperbolehkan menyimpang dalam batas-batas yang

tertentu. Hal ini dapat dipahami sesuai dengan sifat ketidakteelitian dan ketidaktepatan proses pembuatan.

Toleransi ukuran/dimensi sesungguhnya juga membatasi beberapa kesalahan bentuk dan posisi. Permukaan komponen yang dikerjakan dengan demikian boleh menyimpang dari kondisi geometrik tertentu dengan catatan bahwa penyimpangan ini masih dalam daerah toleransi ukuran. Sementara itu, untuk mencapai ketelitian dan ketepatan bentuk dan posisi tidaklah mengharuskan pemberian toleransi ukuran yang sempit seandainya toleransi bentuk dan posisi juga diberikan. Dalam hal ini, toleransi bentuk dan posisi memberikan kesempatan untuk memperlebar persyaratan bagi toleransi ukuran.

Bentuk suatu elemen geometrik, misalnya permukaan “rata”, dapat dinilai/diketahui “kerataannya” dengan memilih beberapa titik pada permukaan untuk ditetapkan koordinatnya dengan melalui pengukuran. Seandainya pengukuran dapat dilakukan dengan sempurna, data pengukuran bisa dianggap sebagai “wakil permukaan” sehingga boleh dianalisis untuk menetapkan kualitas permukaan yang disebut. Bidang rata yang bersangkutan dianggap memenuhi persyaratan (dianggap baik) apabila jarak antara titik-titik pada permukaan tersebut dengan permukaan acuan, yang mempunyai bentuk geometrik yang ideal (rata sempurna), adalah sama atau lebih kecil daripada harga toleransi (“toleransi kerataan”) yang ditentukan.

Toleransi geometri atau toleransi bentuk adalah batas penyimpangan yang diizinkan, dari dua buah garis yang sejajar, atau dua buah bidang yang sejajar bila bidang itu tidak berbentuk sudut. Untuk bidang yang membentuk sudut maka daerah toleransinya adalah batas yang diizinkan dari dua buah bidang yang sejajar membentuk sudut terhadap bidang basisnya. Dengan demikian bila suatu benda kerja yang harus diselesaikan dengan hasil yang baik maka dalam gambar kerjanya harus diberikan suatu informasi yang jelas pula. Dengan sendirinya benda ini akan mahal harganya. Karena dalam penyelesaiannya memerlukan ketelitian yang tinggi dan juga waktunya lama. Oleh karena itu didalam memberikan tanda-tanda toleransi geometri, harus ditempatkan pada daerah, atau benda yang betul-betul sangat penting. Tidak pula setiap permukaan bidang dari benda kerja harus diberikan tanda toleransi geometri. Toleransi geometri mempunyai pengertian agar supaya bentuk daripada benda pekerjaan itu tidak akan mempunyai penyimpangan-penyimpangan yang terlalu besar yang berakibat benda kerja itu tidak dapat dipakai.

Untuk mengontrol benda atau permukaan dari suatu benda maka pada permukaan dalam gambar harus diberikan tanda toleransi geometri [6].

a. Total *run-out*

Total *run-out* adalah kontrol komposit yang mempengaruhi bentuk, orientasi, dan lokasi semua elemen permukaan (secara bersamaan) dari diameter (atau permukaan) relatif terhadap sumbu datum. Kontrol runout total adalah toleransi geometrik yang membatasi jumlah runout total permukaan. ini berlaku untuk seluruh panjang diameter secara bersamaan. itu disebut sebagai kontrol komposit karena mempengaruhi bentuk, orientasi, dan lokasi fitur bagian secara bersamaan. runout total sering digunakan untuk mengontrol lokasi diameter. Ketika diterapkan pada diameter, ia mengontrol bentuk (silindrisitas), orientasi, dan lokasi diameter relatif terhadap sumbu datum.

b. Konsistensi diameter produk pemesian

Diameter dapat dikatakan konsisten ketika variasi diameter terletak pada suatu interval sepanjang benda uji, diukur pada satu bidang aksial, termasuk dalam diameter maksimum dan minimum. Metode pengukuran yang dapat dilakukan yaitu :

- Mikrometer atau alat pengukuran dua titik yang serupa.

Pembacaan diambil pada setiap band hanya pada satu bidang. Pengukuran dapat diambil ketika benda uji masih terletak di alat perkakas.

- *Height gauge*

Benda uji diletakkan tetap secara horizontal between centre atau didukung blok vee.

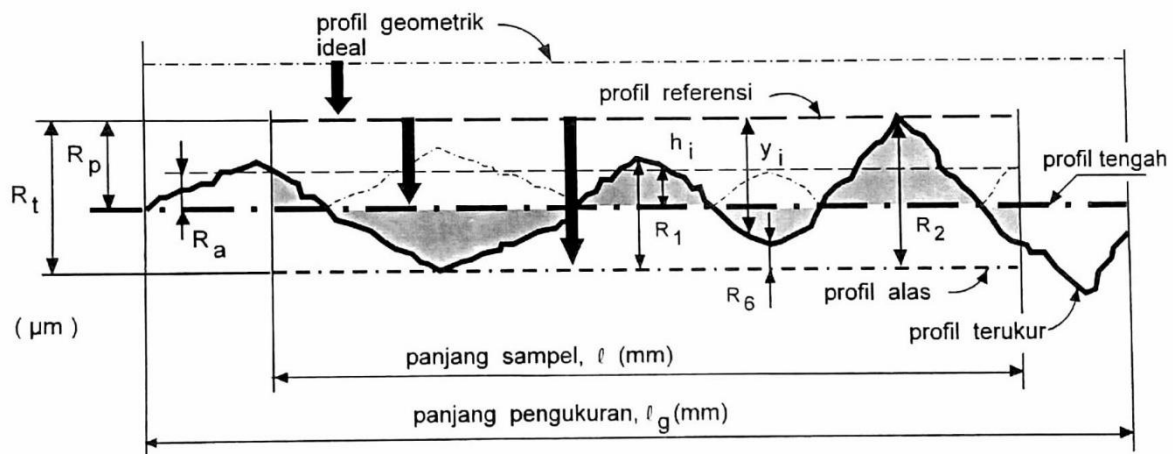
Titik paling tinggi dan paling rendah diameter diukur menggunakan height gauge [3].

### 2.3.3 Konfigurasi permukaan

Permukaan adalah batas yang memisahkan benda padat dengan sekelilingnya. Benda padat dengan banyak lubang kecil (berpori), seperti kayu, dalam hal ini tidak termasuk. Jika ditinjau dengan skala kecil pada dasarnya konfigurasi permukaan suatu elemen mesin (produk) juga merupakan suatu karakteristik geometrik, yang dalam hal ini termasuk golongan mikrogeometri. Sementara itu, yang tergolong makrogeometri adalah permukaan secara keseluruhan yang membuat bentuk atau rupa yang spesifik misalnya permukaan poros, lubang,

sisi dan sebagainya, yang dalam hal ini perancangan toleransinya telah tercakup pada elemen geometrik ukuran, bentuk dan posisi [6].

Untuk mereproduksi profil suatu permukaan, sensor/peraba (*stylus*) alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan terlebih dahulu. Panjang lintasan ini disebut dengan panjang pengukuran (*traversing length,  $t_s$* ). Sesaat setelah jarum bergerak dan sesaat sebelum jarum berhenti secara elektronik alat ukur melakukan perhitungan berdasarkan data yang dideteksi oleh jarum peraba. Bagian panjang pengukuran di mana dilakukan analisis profil permukaan disebut dengan panjang sampel (*sampling length,  $t$* ). Reproduksi profil sesungguhnya adalah seperti yang ditunjukkan Gambar 2.12 dengan penambahan keterangan mengenai beberapa istilah profil yang penting yaitu:



Gambar 2.12 Reproduksi profil sesungguhnya [7]

- Profil geometrik ideal (*geometrically ideal profile*), ialah profil permukaan sempurna (dapat berupa garis lurus, lengkung atau busur).
- Profil terukur (*measure profile*), merupakan profil permukaan terukur.
- Profil referensi/acuan/puncak (*reference profile*), adalah profil yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisis ketidakteraturan konfigurasi permukaan. Profil ini dapat berupa garis lurus atau garis dengan bentuk sesuai dengan profil geometrik ideal, serta menyinggung puncak tertinggi bagi profil terukur dalam suatu panjang sampel.

- Profil akar/alas (*root profile*), yaitu profil referensi yang digeserkan ke bawah (arah tegak lurus terhadap profil geometrik ideal pada suatu panjang sampel) sehingga menyinggung titik terendah dari profil terukur.
- Profil tengah (*centre profile*), adalah nama yang diberikan kepada profil referensi yang digeserkan ke bawah (arah tegak lurus terhadap profil geometrik ideal pada suatu panjang sampel) sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagi daerah-daerah di atas profil tengah sampai ke profil terukur adalah sama dengan jumlah luas bagi daerah-daerah di bawah profil tengah sampai ke profil terukur sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.11 dengan daerah-daerah dengan latar-belakang gelap.

Berdasarkan profil-profil yang diterangkan di atas, maka dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan, yaitu yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dikenal beberapa parameter, yaitu:

- Kekasaran total (*peak to valley height/total height*);  $R_t$  ( $\mu\text{m}$ ), adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
- Kekasaran perataan (*depth of surface smoothness/peak to mean line*);  $R_p$  ( $\mu\text{m}$ ), adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur.  $R_p$  akan sama dengan jarak antara profil referensi dengan profil tengah.
- Kekasaran rata-rata aritmetik (*mean roughness index/center line average, CLA*),  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ), adalah harga rata-rata aritmetik dari harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah.
- Kekasaran rata-rata kuadrat (*root mean square height*);  $R_g$  ( $\mu\text{m}$ ), adalah akar dari jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.
- Kekasaran total rata-rata,  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ), merupakan jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah [7].

Karakteristik suatu permukaan memegang peranan penting dalam perancangan komponen mesin/peralatan. Banyak hal di mana karakteristik permukaan perlu dinyatakan dengan jelas misalnya dalam kaitannya dengan gesekan, keausan, pelumasan, tahanan kelelahan, perekatan dua atau lebih komponen-komponen mesin, dan sebagainya. Karakteristik

permukaan sebagaimana yang dimaksud oleh perancang ini sedapat mungkin harus dipenuhi oleh pembuat komponen.

Setiap proses pengerjaan mempunyai ciri yang tertentu/khas atas permukaan benda kerja yang dihasilkannya. Oleh karena itu, dalam memilih proses pengerjaan aspek permukaan ini perlu dipertimbangkan. Aspek lain yang tidak boleh diabaikan adalah ongkos pembuatan. Kompromi haruslah didapat antara persyaratan fungsional komponen dengan ongkos pembuatan. Tabel 2.5 menunjukkan angka kekasaran dan panjang sampel standar berdasarkan ISO *roughness number* [6].

Tabel 2.5 Angka kekasaran dan panjang sampel standar [6]

Harga kekasaran, $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Angka kelas kekasaran	Panjang sampel (mm)
50	N 12	8
25	N 11	
12,5	N 10	
6,3	N 9	
3,2	N 8	2,5
1,6	N 7	
0,8	N 6	
0,4	N 5	
0,2	N 4	0,8
0,1	N 3	
0,05	N 2	
0,025	N 1	

## 2.4 Material Baja AISI 4340

AISI 4340 adalah baja paduan nikel-kromium-molibdenum yang dikenal karena ketangguhannya dan kemampuannya untuk mencapai kekuatan tinggi dalam kondisi perlakuan panas. Baja AISI 4340 memiliki ketahanan lelah yang sangat baik. Paduan ini, 4340, dapat diberi perlakuan panas hingga tingkat kekuatan tinggi sambil mempertahankan ketangguhan yang baik, ketahanan aus dan tingkat kekuatan kelelahan, dikombinasikan dengan ketahanan korosi atmosfer yang baik, dan kekuatan. Tabel 2.6 menunjukkan komposisi senyawa-senyawa yang terkandung dalam baja AISI 4340.

Baja AISI 4340 termasuk baja karbon sedang. Paduan ini dapat dipanaskan dengan austenitisasi, pendinginan, dan tempering untuk meningkatkan sifat mekanisnya. Paduan ini paling sering digunakan dalam kondisi temper, memiliki struktur mikro martensit temper. Baja

medium-karbon biasa memiliki *hardenability* rendah dan dapat berhasil dipanaskan hanya pada bagian yang sangat tipis dan dengan laju pendinginan yang sangat cepat. Penambahan kromium, nikel, dan molibdenum meningkatkan kapasitas paduan ini untuk dipanaskan, sehingga menimbulkan berbagai kombinasi kekuatan-daktilitas. Paduan yang dipanaskan ini lebih kuat daripada baja rendah karbon, tetapi dengan mengorbankan keuletan dan ketangguhan. Aplikasi termasuk roda dan rel kereta api, roda gigi, poros engkol, dan bagian-bagian mesin lainnya dan komponen struktural kekuatan tinggi yang menuntut kombinasi kekuatan tinggi, ketahanan aus, dan ketangguhan [8].

Tabel 2.6 Komposisi baja AISI 4340[7]

Senyawa	Kandungan
C% (Karbon)	0,38 - 0,43
Mn% (Mangan)	0,6 - 0,8 (maksimum)
P% (Fosfor)	0,0035 (maksimum)
S% (Sulfur)	0,04 (maksimum)
Si% (Silikon)	0,15 - 0,3
Ni% (Nikel)	1,65 - 2,0
Cr% (Kromium)	0,7 - 0,9
Mo% (Molibdenum)	0,2 - 0,3