

BAB V

Tujuan:

Setelah mempelajari pelajaran pada bab V, diharapkan mahasiswa dapat:

1. Menyebutkan macam dan fungsi roda gigi.
2. Menjelaskan beberapa elemen penting dari roda gigi
3. Menyebutkan beberapa alat ukur yang bisa digunakan untuk mengukur beberapa elemen penting dari roda gigi.
4. Memeriksa atau mengukur roda gigi dengan alat dan cara yang tepat dan benar.
5. Menganalisis hasil-hasil pengukuran roda gigi.

BAB V PENGUKURAN RODA GIGI

Kita telah mengenal apa yang dinamakan roda gigi.pada sepeda, kendaraan roda dua, mobil, kereta api, pesawat udara, kapal laut, dan semua jenis mesin-mesin perkakas selalu dilengkapi dengan komponen-komponen roda gigi. Dengan adanya komponen-komponen roda gigi ini maka sistem mekanisme mesin dan motor dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. Makin tinggi kualitas suatu produk yang memerlukan perlengkapan roda gigi, maka makin tinggi dan makin presisi pula roda gigi yang harus dibuat.

Untuk dapat membuat roda gigi dari kualitas rendah sampai pada roda gigi yang berkualitas tinggi sudah tentu tidak bisa lepas dari salah satu faktor dalam proses pembuatannya yaitu proses pengukuran. Dalam kaitan ini akan disinggung alat ukur roda gigi, bagian-bagian roda gigi yang perlu diukur dan bagaimana cara mengukurnya.

A. Jenis dan Fungsi Roda Gigi

Pada umumnya bentuk gigi roda gigi yang banyak diproduksi dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu bentuk *involute* dan bentuk *cycloidal*. Yang paling banyak diproduksi adalah bentuk *involute* karena lebih cocok untuk keperluan produk-produk permesinan secara umum yang memerlukan ketelitian-ketelitian tertentu. Sedangkan untuk keperluan mesin-mesin dengan beban berat dan pekerjaan kasar biasanya digunakan roda gigi dengan bentuk *cycloidal*.

Dalam bidang permesinan, jenis roda gigi adalah bermacam-macam. Ada yang membedakan roda gigi dari bentuk giginya dan ada pula yang membedakannya menurut posisi dari poros untuk masing-masing roda gigi pada suatu pasangan roda gigi. Akan tetapi, dari dua cara membedakan itu pada dasarnya jenis roda gigi yang dibedakan adalah sama.

1. Jenis Roda Gigi Menurut Bentuk Gigi

Berdasarkan dari bentuk giginya maka roda gigi dapat dibedakan :

1.1. Roda gigi lurus (*spur gear*)

Pada jenis roda gigi ini, pemotongan gigi-giginya adalah searah dengan porosnya. Ada pula jenis gigi lurus lainnya tetapi badan gigi tidak berbentuk lingkaran melainkan berbentuk batang segi empat panjang. Pada permukaan memanjang inilah pemotongan gigi-giginya dilakukan yang arahnya kadang-kadang tegak lurus dan kadang-kadang

membentuk sudut terhadap batang gigi (badan gigi). Bentuk gigi yang demikian ini biasa disebut dengan Gigi *Rack*.

1.2. Roda gigi helix (*helical gear*)

Jenis roda gigi ini pemotongan gigi-giginya tidak lurus tetapi sedikit membentuk sudut di sepanjang badan gigi yang berbentuk silinder. Bila dilihat arah alur giginya nampak bahwa alur tersebut membengkok.

1.3. Roda gigi payung (*straight bevel gear*)

Pada jenis roda gigi ini pemotongan gigi-giginya adalah pada bagian yang konis. Pada permukaan yang konis ini gigi-gigi dibentuk yang arahnya lurus dan searah dengan poros roda gigi.

1.4. Roda gigi spiral (*spiral gear*)

Gigi-gigi roda gigi spiral arahnya membentuk suatu kurve. Biasanya pemotongan gigi-giginya juga pada permukaan yang konis.

1.5. Roda gigi cacing (*worm gear*)

Jenis roda gigi ini biasanya merupakan satu pasangan yang terdiri dari batang berulir cacing dan roda gigi cacing. Pada batang ulir cacing bentuk giginya seperti ulir. Dan pada roda gigi cacing bentuk giginya hampir sama dengan roda gigi helix, akan tetapi permukaan giginya membentuk lengkungan ke dalam.

1.6. Roda gigi dalam (*internal gear*)

Pada jenis roda gigi ini pemotongan gigi-giginya adalah pada bagian dalam dari permukaan ring/lubang. Biasanya bentuk giginya adalah lurus seperti roda gigi lurus (*spur gear*).

2. Jenis Roda Gigi Menurut Posisi Poros Pasangan Roda Gigi

Cara membedakan roda gigi yang kedua ini adalah dengan melihat posisi dari masing-masing roda gigi untuk pasangan roda gigi. Jenis roda gigi tersebut antara lain adalah :

2.1. Roda gigi yang masing-masing porosnya satu sama lain posisinya sejajar sewaktu roda-roda gigi tersebut dipasangkan. Contohnya adalah roda gigi lurus (*spur gear*) dan roda gigi helix (*helical gear*).

2.2. Roda gigi yang masing-masing porosnya mempunyai posisi saling menyiku satu sama lain. Contohnya adalah roda gigi payung dan roda gigi spiral. Menyiku di sini artinya poros roda gigi yang satu posisinya tegak lurus terhadap poros roda gigi yang lain.

2.3. Ada pula pasangan roda gigi yang poros-porosnya satu sama lain posisi tegak lurus, akan tetapi poros yang satu berada di atas poros yang

lian dengan posisi menyilang. Roda gigi yang termasuk dalam jenis ini adalah roda gigi cacing, juga roda gigi helix.

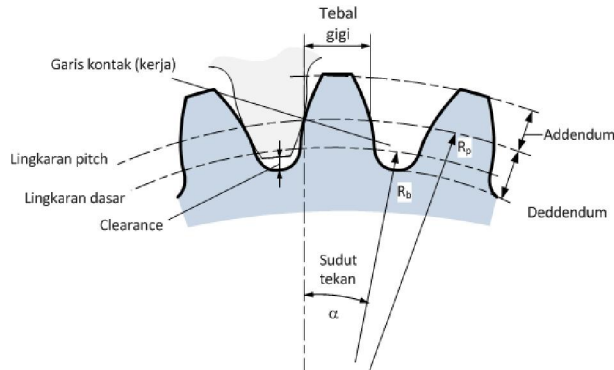
3. Fungsi Roda Gigi

Secara umum fungsi dari roda gigi adalah untuk :

- a. Meneruskan daya dari poros penggerak ke poros yang digerakkan.
- b. Mengubah putaran dari poros penggerak ke poros yang digerakkan, yaitu dari putaran tinggi ke putaran rendah atau dari putaran rendah ke putaran tinggi. Bisa juga mengubah putaran di sini berarti membuat arah putaran poros yang digerakkan berlawanan dengan arah putaran poros penggerak.
- c. Memindahkan zat cair dari satu tempat ke tempat lain, misalnya oli, minyak tanah, dan sebagainya. Jadi, fungsi roda gigi di sini adalah sebagai pompa zat cair. Dalam otomotif dikenal adanya sistem pelumas dengan roda gigi.

B. Beberapa istilah penting dalam Roda Gigi

Untuk mengetahui elemen-elemen yang penting dalam roda gigi dapat dilihat Gambar 5.1 di bawah ini.



Gambar 5.1. Elemen-elemen roda gigi lurus (*spur gear*).

1. *Diametral pitch* (P) adalah banyaknya gigi untuk tiap satu inchi dari diameter lingkaran *pitch*. *Diametral pitch* ini hanya merupakan harga secara hipotesis saja yang harganya tidak bisa diukur. Akan tetapi pengertiannya sangat penting untuk mempertimbangkan proporsi jumlah gigi.

$$P = \frac{N}{D}$$

N = jumlah gigi

D = diameter lingkaran *pitch*

2. *Modul* (m) adalah panjang dari diameter lingkaran *pitch* untuk tiap gigi. Satuan untuk modul adalah milimeter.

$$m = \frac{D}{N} = \frac{1}{P}$$

3. *Circular Pitch* (CP) adalah jarak arc yang diukur pada lingkaran *pitch* dari salah satu sisi sebuah gigi ke sisi yang sama dari gigi yang berikutnya.

$$CP = \frac{\pi D}{N} = \frac{\pi}{P} = \pi \text{ Modul (m)}$$

4. *Addendum* (Add) adalah jarak radial dari lingkaran *pitch* sampai pada ujung puncak dari gigi.

$$\text{Addendum} = \frac{1}{P} = \text{Modul}$$

5. Kelonggaran (*Clearance*) adalah jarak radial dari ujung puncak sebuah gigi roda gigi yang satu ke bagian dasar dari gigi roda gigi yang lain untuk suatu pasangan roda gigi. Harga-harga standar dari clearance ini adalah :

$$\frac{0.157}{P} = 0.157\text{m, atau } \frac{0.250}{P} = 0.250\text{m, atau } \frac{0.400}{P} = 0.400\text{m}$$

6. *Deddendum* (Dedd) adalah jarak radial dari lingkaran *pitch* sampai pada dasar dari gigi.

$$\begin{aligned} \text{Deddendum} &= \text{Addendum} + \text{Clearance} \\ &= \frac{1}{P} + \frac{0.157}{P} = 1.157\text{m, atau} \\ &= \frac{1}{P} + \frac{0.250}{P} = 1.250\text{m, atau} \\ &= \frac{1}{P} + \frac{0.400}{P} = 1.400\text{m} \end{aligned}$$

7. Diameter blank (*blank diameter*) adalah jarak yang panjangnya sama dengan diameter lingkaran *pitch* ditambah dengan dua *addendum*.

$$\begin{aligned} \text{Blank diameter} &= D + 2 \text{ Addendum} \\ D &= Nm \\ \text{Add} &= m \end{aligned}$$

$$\text{Blank diameter} = Nm + 2m = (N + 2) m = \frac{(N + 2)}{P}$$

8. Ketebalan gigi adalah jarak tebal gigi yang diukur pada lingkaran *pitch* dari satu sisi ke sisi yang lain pada gigi yang sama. Pengukuran tebal gigi ini bermacam-macam caranya yang akan dibicarakan tersendiri

pada pengukuran tebal dalam Bab V ini juga. Secara nominal dapat ditentukan tebal gigi sebagai berikut :

Tebal gigi nominal = $\frac{1}{2}$ *Circular Pitch* (CP)

$$= \frac{\pi}{2DP} = \pi \times \frac{m}{2}$$

9. *Back Lash*. Menurut arti katanya kira-kira gerak terlambat. Untuk istilah *back lash* pada roda gigi pengertiannya adalah jarak dari sisi ujung gigi yang satu sampai pada sisi kerja (*working flank*) dari gigi yang lain pada satu pasangan roda gigi.

Untuk sudut tekan (*pressure angle*) biasanya dibuat sama dengan 20° dan $14\frac{1}{2}^\circ$. Sedangkan tinggi gigi atau kedalaman gigi (*teeth depth*) umumnya dibuat 2.25 kali modul untuk roda gigi dengan sudut tekan 20° . Sedangkan untuk roda gigi dengan sudut tekan $14\frac{1}{2}^\circ$ kedalaman giginya dibuat sama dengan 2.157 modul (m).

Untuk jarak antara pusat kedua roda gigi dari pasangan roda gigi dapat dihitung bila jumlah gigi dari kedua roda gigi dan *diametral pitchnya* sudah diketahui. Dengan demikian perhitungan jarak antara pusat roda gigi dapat ditentukan dengan :

$$\frac{N_1 + N_2}{2 \times P}$$

- Dimana:**
- N_1 = jumlah gigi roda gigi penggerak
 - N_2 = jumlah roda gigi yang digerakkan
 - P = *diametral pitch* = $\frac{N}{D}$
 - D = diameter lingkaran *pitch*

Dari gambar 5.1 juga bisa dijelaskan tentang hubungan antara diameter lingkaran dasar dengan diameter lingkaran *pitch* dan sudut tekan roda gigi.

Segitiga ABC, $\frac{AB}{AC} = \cos \alpha = \frac{R_b}{R_p}$

$$R_b = R_p \cos \alpha$$

$$D_b = D \cos \alpha$$

- Dimana:**
- D_b = diameter lingkaran dasar
 - D = diameter lingkaran *pitch*
 - α = sudut tekan, (20° atau $14\frac{1}{2}^\circ$)

C. Bagian-bagian Penting Roda Gigi Yang Perlu Diukur

Bagian-bagian dari roda gigi yang perlu diukur antara lain adalah :

1. Ukuran dasar roda gigi yang menyangkut diameter mayor (luar), diameter lubang, ketidaksepusatan diameter luar terhadap lubang, lebar gigi (*face width*) dan goyangan aksial dari masing-masing muka gigi.
2. Posisi gigi yang menyangkut: jarak puncak ke puncak dari gigi (*pitch*), jarak celah, tebal gigi, eksentrisitas masing-masing gigi terhadap sumbu putarnya.
3. Bentuk gigi yang menyangkut pemeriksaan kebenaran bentuk gigi, kesimetrisan antara dua muka gigi dan ketinggian atau kedalaman gigi (*teeth depth*).
4. Pasangan roda gigi yang menyangkut: jarak pusat dari roda gigi yang satu ke pusat roda gigi yang lain, *back lash* dan pemeriksaan roda gigi dengan memutarinya pada waktu dipasangkan dengan roda gigi standar.

Sebetulnya, untuk pengukuran roda gigi tidak semua yang disebutkan di atas harus diukur semuanya, kecuali untuk keperluan pemakaian roda gigi dengan ketelitian tertentu sesuai dengan tujuan yang dikehendaki.

Secara umum, pemeriksaan roda gigi dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu pemeriksaan secara analisis dan pemeriksaan menurut fungsinya. Pemeriksaan secara analisis (*analitical inspection*) maksudnya adalah memeriksa semua elemen-elemen penting dari roda gigi, misalnya bentuk gigi, jarak puncak antar gigi (*pitch*), jarak celah (*clearance*), eksentrisitas, tebal gigi, lead dan *back lash*. Sedangkan pemeriksaan menurut fungsinya (*functional inspection*) adalah pemeriksaan roda gigi yang dibandingkan dengan roda gigi standar (*master gear*) yang caranya adalah memasang roda gigi yang akan diperiksa pada roda gigi standar dan kemudian memutar pasangan roda gigi tersebut. Dengan beberapa peralatan maka dapat dilihat/diperiksa tingkat kebisingan suara yang timbul akibat gesekan antar roda gigi, getaran dan variasi gerakan dari putaran roda gigi.

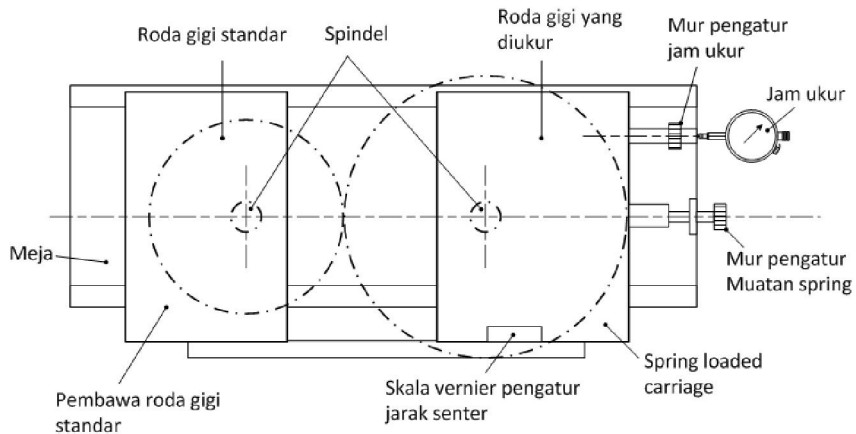
D. Beberapa Cara Pengukuran Roda Gigi

Seperti halnya pada pemeriksaan ulir, maka pada pemeriksaan roda gigi pun diperlukan perhitungan-perhitungan tertentu terutama perhitungan dengan trigonometri. Yang telah disinggung di muka sebagian besar mengenai roda gigi lurus (*spur gear*). Sedangkan untuk perhitungan-perhitungan roda gigi helix dan roda gigi payung dapat dilihat pada lampiran 8. Pada dasarnya pemeriksaan untuk semua jenis roda gigi adalah sama yaitu lebih menitik beratkan pada pemeriksaan bentuk fisik dari roda gigi dan bentuk dari giginya, baru kemudian dijabarkan/dikembangkan pada pemeriksaan elemen-elemen yang lain.

Sebagaimana telah dikemukakan di muka bahwa pemeriksaan roda gigi dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu pemeriksaan roda gigi secara keseluruhan dalam arti membandingkannya dengan roda gigi standar dan pemeriksaan elemen-elemen roda gigi secara sendiri-sendiri. Pemeriksaan roda gigi dengan membandingkannya terhadap roda gigi standar disebut juga dengan istilah pemeriksaan secara keseluruhan (*general test*). Sedangkan pemeriksaan elemen-elemen dari roda gigi disebut juga dengan istilah pemeriksaan individual (*individual test*).

1. Membandingkan Roda Gigi dengan Roda Gigi Standar (*General Test*)

Salah satu alat yang biasa digunakan untuk memeriksa roda gigi secara keseluruhan ini (membandingkannya dengan roda gigi standar) adalah *Parkson Gear Tester*. Bagan sederhana dari konstruksi alat pemeriksa roda gigi ini dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2. Membandingkan roda gigi dengan roda gigi standar (*gear master*)

Alat tersebut terdiri dari meja, pemegang tetap roda gigi standar, pemegang roda gigi yang bisa diatur posisinya, roda gigi standar, jam ukur dan pengaturnya, kunci penyetel posisi roda gigi dan skala *vernier* pengatur jarak pusat roda gigi. Bila sebuah roda gigi yang akan diperiksa sudah dipasangkan dengan posisi yang tepat terhadap roda gigi standar maka setiap penyimpangan roda gigi akan terlihat pada waktu pemasangan roda gigi tersebut diputar. Penyimpangan ini bisa dilihat pada jam ukur dimana setiap perubahan jarak dari posisi roda gigi yang diperiksa akan ditunjukkan oleh jarum penunjuk jam ukur. Perubahan ini timbul akibat adanya penyimpangan-penyimpangan pada roda gigi yang diperiksa, antara lain misalnya kesalahan bentuk gigi, kesalahan jarak puncak gigi (*pitch*), konsentrisitas *pitch* dan sebagainya.

Secara ringkas, prosedur pemeriksaannya dapat dilakukan sebagai berikut: Gunakan blok ukur di antara masing-masing spindel untuk menyetel posisi nol jam ukur pada jarak pusat yang tepat antara pusat roda gigi standar dan roda gigi yang diperiksa. Panjang blok ukur adalah jarak pusat (L) dikurang setengah dari jumlah diameter masing-masing spindel (d_1 dan d_2), jadi ukuran blok ukur $= L - \frac{d_1 + d_2}{2}$. Setelah itu

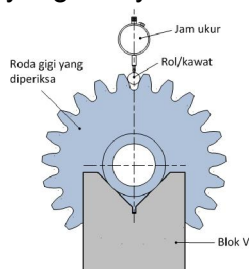
menyetel harga-harga batas pada jam ukur. Pasangan roda gigi kemudian diputar dan catatlah semua perubahan yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk jam ukur. Bila jarum penunjuk menunjukkan harga di luar harga-harga batas yang sudah ditentukan maka kesimpulannya adalah roda gigi tidak bisa dipakai. Dengan menggunakan alat pengukur kekasaran permukaan maka setiap penyimpangan yang terjadi bisa direkam yang dengan perbesaran tertentu penyimpangan tersebut tergambar pada kertas skala dari alat pengukur yang digunakan.

2. Pengukuran Elemen Roda Gigi Secara Individual (*Individual Test*)

Dalam pemeriksaan elemen-elemen roda gigi secara individual ini, titik berat pemeriksaan biasanya terletak pada pemeriksaan diameter *pitch*-nya. Dengan pemeriksaan diameter *pitch* ini secara tidak langsung juga akan memeriksa diameter luar, diameter dasar, jarak puncak antar gigi, tebal gigi, eksentrisitas dan tinggi gigi.

2.1. Pemeriksaan Eksentrisitas Roda Gigi

Untuk pemeriksaan eksentrisitas ini, alat ukur sederhana yang bisa digunakan antara lain adalah jam ukur, kawat dan blok V. Dengan alat sederhana ini dapat diketahui ketidakseimbangan (eksentrisitas) dari roda gigi yang penyimpangannya dapat diketahui dari jarum penunjuk jam ukur. Setiap kali diputar dicatat penyimpangannya sampai semua daerah lingkaran *pitch* selesai diperiksa. Secara sederhana gambarnya dapat dilihat Gambar 5.9. Bila tujuan pemeriksaan hanya ingin mengetahui apakah roda gigi seimbang (*balance*) atau tidak caranya adalah cukup dengan memutarnya secara perlahan-lahan lalu dibiarkan berhenti sendiri. Dalam keadaan akan berhenti sendiri dapat dilihat atau diamati bagian mana dari roda gigi yang menyebabkan tidak seimbang.



Gambar 5.3. Pemeriksaan eksentrisitas roda gigi.

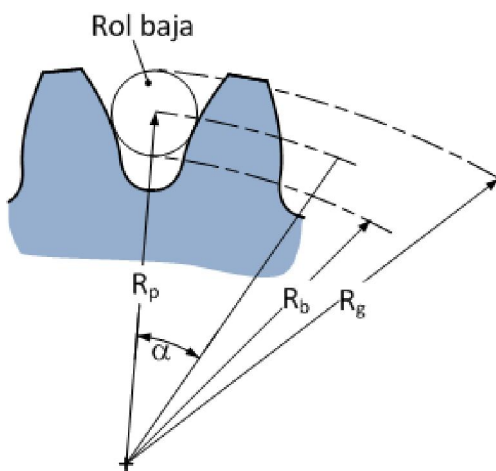
2.2. Pemeriksaan Roda Gigi dengan Rol Baja

Untuk pemeriksaan roda gigi dengan menggunakan rol baja maka yang harus diperhatikan adalah pemilihan diameter dari rol baja. Hal ini dimaksudkan agar posisi dari rol baja betul-betul tepat pada titik dari lingkaran *pitch* roda gigi. Analisis selanjutnya dapat dilihat gambar 5.3.

Lihat segitiga ABC, α adalah sudut tekan roda gigi.

$$\cos \alpha = \frac{AB}{AC} \quad AB = AC \cos \alpha$$

AB adalah sama dengan jari-jari dari rol baja (r).



Diameter rol baja adalah $2 \times AB$
 $= 2 AC \cos \alpha$ $AC = \frac{1}{4}$ dari
 circular pitch $= \frac{1}{4} CP = \frac{\pi m}{4}$
 $2AC \cos \alpha = \frac{\pi m}{2} \cos \alpha$. Jadi,
 diameter rol baja adalah $\frac{\pi m}{2}$
 $\cos \alpha$. $M = \text{modul}$.

Gambar 5.4. Pengukuran roda gigi dengan rol baja.

Jarak luar dari rol baja (M) = $2 \times R_g$

$$R_g = R_p + r \quad R_p = \text{jari-jari lingkaran } pitch$$

$$R_p = \frac{Nm}{2} \quad N = \text{jumlah gigi}$$

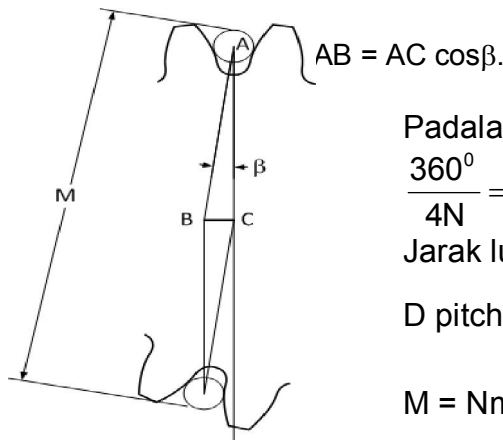
$$\text{Jadi, } M = 2 \left(\frac{Nm}{2} + \frac{\pi m}{4} \cos \alpha \right)$$

$$M = m \left(N + \frac{\pi}{2} \cos \alpha \right)$$

Rumus di atas berlaku untuk roda gigi dengan jumlah gigi genap. Sedangkan untuk roda gigi dengan jumlah gigi ganjil rumusnya adalah : lihat gambar 5.5 berikut ini.

Jarak luar rol baja adalah $2 AB + d$ (diameter rol)

$2AB = \text{diameter lingkaran } pitch$ (D pitch) kali



Padalah sudut β besarnya adalah :

$$\frac{360^\circ}{4N} = \frac{90^\circ}{N}$$

Jarak luar rol baja (M) =

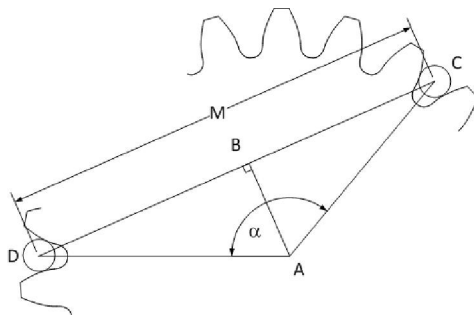
$$D \text{ pitch } \cos \frac{90^\circ}{N} + \frac{\pi m}{2} \cos \alpha$$

$$M = Nm \cos \frac{90^\circ}{N} + \frac{\pi m}{2} \cos \alpha$$

$$= m \left(N \cos \frac{90^\circ}{N} + \frac{\pi}{2} \cos \alpha \right)$$

Gambar 5.5 Pengukuran roda gigi dengan jumlah gigi ganjil.

Seandainya diameter lingkaran pitchnya cukup besar maka pemeriksaan roda gigi bisa dilakukan pada sejumlah gigi bisa dilakukan pada sejumlah gigi saja. Perhatikan gambar 5.5 dibawah ini. Misalnya diambil 15 gigi.



Jarak luar rol baja = $2 BC + d$

Sudut BAC = $\frac{1}{2}$ kali sudut DAC

$$= \frac{1}{2} \times \frac{15}{n} \times 360^\circ$$

$$= \frac{2700^\circ}{N}$$

$$BC = AC \sin \frac{2700^\circ}{N} \quad AC = \frac{D}{2}$$

$$d = \frac{\pi m}{2} \cos \alpha$$

$$M = 2 \left(\frac{D}{2} \sin \frac{2700^\circ}{N} + \frac{\pi m}{2} \cos \alpha \right)$$

$$= m \left(N \sin \frac{2700^\circ}{N} + \frac{\pi}{2} \cos \alpha \right)$$

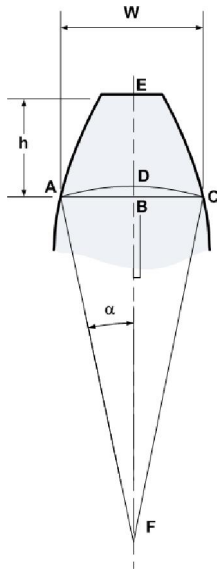
Gambar 5.6. Pemeriksaan roda gigi yang besar.

2.3. Pemeriksaan Tebal Gigi

Untuk pengukuran tebal gigi, juga tinggi gigi, alat ukur yang digunakan adalah mistar insut roda gigi (*gear tooth vernier*). Ada beberapa cara yang bisa dilakukan untuk memeriksa tebal gigi, antara

lain yaitu: pengukuran tebal gigi pada garis *pitch*, pengukuran tebal gigi pada *Constant Chord* (sudut tekan) dan pengukuran tebal gigi dengan *Metode Base Tangent* (*Base Tangent Method*).

2.3.1. Pengukuran Tebal Gigi Pada Garis Pitch



Lihat gambar 5.13 di samping
 Panjang $W = 2 AB$
 Pada segitiga ABF, AF adalah jari-jari
 lingkaran pitch =

$$\frac{D}{2} \quad D = Nm \quad \frac{D}{2} = \frac{Nm}{2}$$

$$\text{Sudut } \alpha = \frac{360^\circ}{4N} = \frac{90^\circ}{N}$$

$$\sin \alpha = \frac{AB}{AF} \quad AB = AF \sin \alpha$$

$$AB = \frac{Nm}{2} \sin \frac{90^\circ}{N}$$

$$W = 2AB = Nm \sin \frac{90^\circ}{N}$$

Gambar 5.7 Pengukuran tebal gigi pada garis pitch

Dari gambar 5.7 juga diperoleh hubungan antara tinggi (h) dengan jumlah gigi dan modul. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Tinggi (h)} = EF - FB$$

Padahal panjang EF adalah jari-jari lingkaran pitch ditambah dengan Addendum. Jadi, $EF = \frac{D}{2} + \text{Addendum}$

$$EF = \frac{Nm}{2} + m$$

$$FB = FA \cos \alpha \quad FA = \frac{D}{2} = \frac{Nm}{2}$$

$$FB = \frac{Nm}{2} \cos \left(\frac{90^\circ}{N} \right)$$

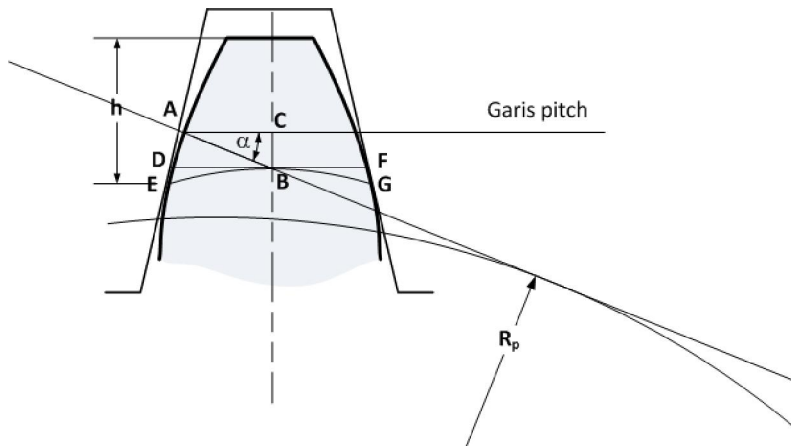
$$\text{Sekarang tinggi (h)} = \frac{Nm}{2} + m = \frac{Nm}{2} \cos \left(\frac{90^\circ}{N} \right)$$

$$h = \frac{Nm}{2} \left(1 + \frac{2}{N} - \cos \left(\frac{90^\circ}{N} \right) \right)$$

2.3.2. Pengukuran Tebal Gigi Pada Sudut Tekan (*Constant Chord*)

Pada pemeriksaan tebal gigi berdasarkan garis *pitch* ternyata harga h dan W tergantung pada jumlah gigi. Kalau roda gigi yang akan diperiksa mempunyai dimensi yang cukup besar dan masing-masing gigi ternyata mempunyai harga yang berbeda maka perhitungan untuk masing-masing gigi harus dilakukan. Hal ini tentunya memakan waktu cukup lama. Untuk itu bisa juga dilakukan pemeriksaan tebal gigi yang tidak tergantung pada jumlah gigi. Pemeriksaan ini dilakukan pada sudut tekan roda gigi (*constant chord*). Gambar 5.7. berikut ini menunjukkan cara menghitung pemeriksaan tebal gigi pada *constant chord*. Dari gambar itu diketahui: BD adalah seperempat lingkaran *pitch, jadi $BD = \frac{CP}{4}$, atau*

$$BD = \frac{\pi m}{4}.$$



Gambar 5.8. Pengukuran tebal gigi pada sudut tekan (*constant chord*).

Pada segitiga ABD, $\text{Cos} \alpha = \frac{AB}{BD}$ $AB = BD \cos \alpha$

$$AB = \frac{\pi m}{4} \cos \alpha$$

Pada segitiga ABC, $\text{Cos} \alpha = \frac{AC}{AB}$ $AC = AB \cos \alpha$

$$AC = \frac{\pi m}{4} \cos 2\alpha$$

Dengan demikian harga $W = 2 AC$

$$= \frac{\pi m}{2} \cos 2\alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{BC}{AB} \qquad BC = AB \sin \alpha = \frac{\pi m}{4} \cos 2\alpha \sin \alpha$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi (h)} &= \text{Addendum} - BC \\ &= \text{modul (m)} - \frac{m}{4} \cos 2\alpha \sin \alpha \end{aligned}$$

Persamaan di atas berlaku untuk roda gigi lurus (*spur gear*). Sedangkan untuk pengukuran roda gigi helix tinggal mengganti dengan modul normal (m_n) dan sudut tekan normal. (Lihat pembahasan pada pemeriksaan roda gigi helix). Jadi,

$$\text{Harga } W \text{ normal } (W_n) = \frac{\pi m_n}{2} \cos^2 \alpha$$

Dan harga tinggi (h normal),

$$h_n = m_n - \frac{m_n}{4} \cos 2\alpha \sin \alpha$$

Bila diperlukan koreksi maka persamaannya menjadi :

$$W_n = \left(\frac{\pi m_n}{2} + \frac{4k m_n}{2} \tan \alpha_n \right) \cos^2 \alpha$$

$$\text{dan } h_n = (1+k)m_n - \left(\frac{\pi m_n}{4} + \frac{4k m_n}{4} \tan \alpha_n \right) \cos^2 \alpha$$

k = faktor koreksi yang harganya tergantung pada tipe gigi. Harga k dapat dihitung dengan $k = m + 0.1D$, dimana m = modul dan D = diameter lingkaran *pitch*.

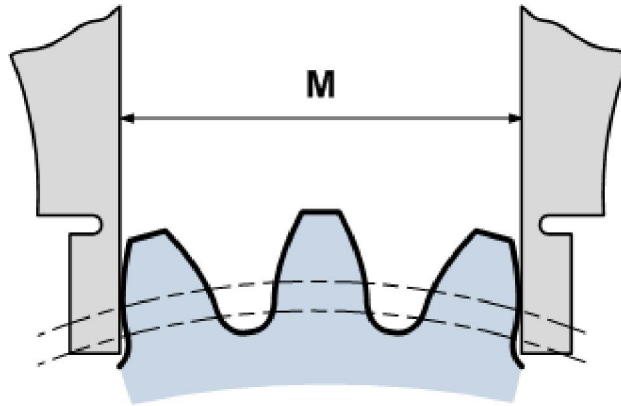
Alat ukur yang tepat untuk pengukuran tebal gigi pada *constant chord* ini adalah *Sykes Gear Tooth Comparator*. Alat ini lebih teliti dari pada mistar insut roda gigi. Kelemahan dari mistar insut roda gigi antar lain adalah :

1. Tingkat ketelitiannya tidak bisa lebih dari pada 0.05 mm ataupun 0.025 mm.
2. Pada sistem pembacaannya terdapat dua macam pembacaan yang masing-masing merupakan fungsi satu sama lain yaitu pembacaan kedalaman dan ketebalan gigi.
3. Pengukurannya hanya pada ujung dari rahang ukur sehingga tidak bisa tepat pada bagian gigi yang berbentuk rack.

2.3.3. Pengukuran Tebal Gigi dengan Sistem Base Tangent

Alat ukur yang bisa digunakan untuk pemeriksaan tebal gigi dengan *Sistem Base Tangent (Base Tangent Method)* adalah mistar insut biasa

meskipun ada beberapa kelemahan dalam proses pengukurannya. Ciri utama dari pengukuran sistem tersebut adalah bahwa pengambilan gigi yang akan diperiksa jumlahnya harus lebih dari pada satu gigi, misalnya 2, 3, atau 4 gigi. Secara sederhana cara pengukurannya dapat dilihat pada Gambar 5.9. Dengan cara ini maka beberapa kelemahan dari mistar insut roda gigi seperti yang disebutkan di muka dapat diatasi yaitu dengan jalan menggunakan alat ukur yang lebih teliti dari pada mistar insut biasa.



Gambar 5.9. Pengukuran tebal gigi dengan Sistem *Base Tangent* yang menggunakan mistar insut biasa.

Dari gambar tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$W = AC = A_1C_1 = A_2C_2 = \text{arc } A_0B_0$$

$$W = \text{arc } AB + \text{arc } BC$$

AB adalah tebal gigi pada lingkaran dasar, sedangkan arc BC adalah jumlah celah (S) antara gigi-gigi yang diambil dalam pemeriksaan dikalikan dengan *pitch* dari lingkaran dasar. Bila N adalah jumlah gigi maka sudut *pitch* (*angular pitch*) P adalah :

$$P = \frac{2\pi}{N} \text{ radian, dan } \textit{pitch} \text{ dasar (base pitch)}$$

P_b adalah :

$$P_b = \frac{2\pi}{N} \times R_b$$

R_b adalah jari-jari lingkaran dasar yang besarnya :

$$R_b = \frac{Nm}{2} \cos \alpha$$

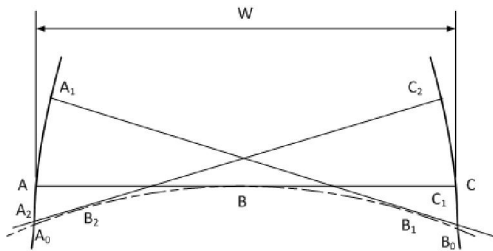
Jadi, $P_b = \frac{2}{N} \times \frac{Nm}{2} \cos \alpha$

Karena jumlah gigi yang diperiksa lebih dari pada satu maka jumlah celah antara gigi-gigi (S) harus dipertimbangkan dalam perhitungan dalam perhitungan.

Dengan demikian maka :

$$\text{arc}BC = \frac{2}{N} x S x \frac{Nm}{2} \cos \alpha$$

Untuk menentukan besarnya arc AB dapat dijelaskan dengan Gambar 5.9. berikut ini :



$$\begin{aligned} \text{Arc AB} &= 2 \text{ arc AD} \\ &= 2 (\text{arc AC} + \text{arc CD}) \end{aligned}$$

$$\text{Arc } \frac{AC}{R_b} = \text{Inv } \alpha \text{ radian}$$

$$\text{Arc AC} = R_b(\tan \alpha - \alpha)$$

$$\text{Arc AC} = \frac{Nm}{2} \cos \alpha (\tan \alpha - \alpha)$$

$$\theta \text{ radian} = \frac{\text{arcEF}}{R_p} = \frac{\text{arcCD}}{R_b}$$

Gambar 5.10. Cara menentukan besar arc AB

arc EF adalah seperempat dari *circular pitch* (CP).

$$\theta = \frac{\pi m}{4} x \frac{1}{R_p} = \frac{\pi m}{4} x \frac{2}{Nm} = \frac{\pi}{2N} \text{ radian}$$

$$\text{Arc CD} = R_b x$$

$$\text{Arc CD} = \frac{Nm}{2} \cos \alpha x \frac{\pi}{2N}$$

$$\text{Padahal } \text{arc AB} = 2(\text{arc AC} + \text{arc CD})$$

$$\begin{aligned} \text{arc AB} &= 2 \left(\frac{Nm}{2} \cos \alpha (\tan \alpha - \alpha) + \frac{Nm}{2} \cos \alpha \left(\frac{\pi}{2N} \right) \right) \\ &= Nm \cos \alpha \left(\tan \alpha - \alpha + \frac{\pi}{2N} \right) \end{aligned}$$

Telah ditentukan bahwa $W = \text{arc AB} + \text{arc BC}$, maka :

$$W = Nm \cos \alpha \left(\tan \alpha - \alpha + \frac{\pi}{2N} \right) + \left(\frac{2\pi S}{N} \right) \frac{Nm}{2} \cos \alpha$$

$$W = Nm \cos \alpha \left(\tan \alpha - \alpha + \frac{\pi}{2N} + \frac{\pi S}{N} \right)$$

α adalah sudut tekan.

Untuk roda gigi helix yang pengukurannya pada bidang normal, maka :

$$W_n = N m_n \cos \alpha_n \left(\tan \alpha_n - \alpha_n + \frac{\pi}{2N} + \frac{\pi S}{N} \right)$$

M_n = modul pada bidang normal = $m_t \cos \alpha$.

α_n = sudut tekan pada bidang normal yang bisa dicari dari

$$\tan \alpha_n = \tan \alpha_t \cos \sigma$$

σ = sudut helix

Seandainya kelonggaran dari *back lash* harus diperhitungkan maka harga W menjadi :

$$W = N m_n \cos \alpha_n \left(\tan \alpha_n - \alpha_n + \frac{\pi}{2N} + \frac{\pi S}{N} \right) -$$

$$\delta_b \cos \alpha_n \pm k m_n \cdot 2 \sin \alpha_n$$

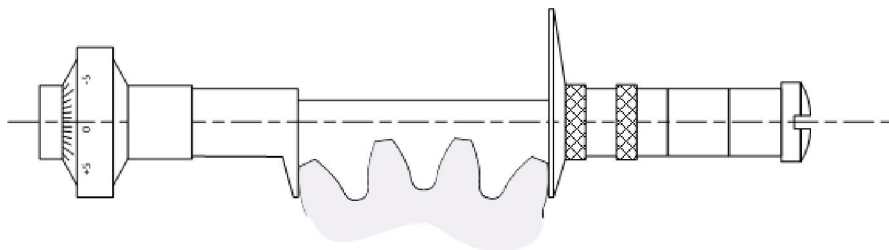
δ_b = kelonggaran *back lash*, $\delta W_b = -\delta b \cos \alpha_n$

k = faktor koreksi *addendum*.

$\frac{1}{\delta W_{cm}}$ = perubahan harga W karena adanya koreksi *addendum*.

$$\delta W_c = \pm k m_n \cdot 2 \sin \alpha_n$$

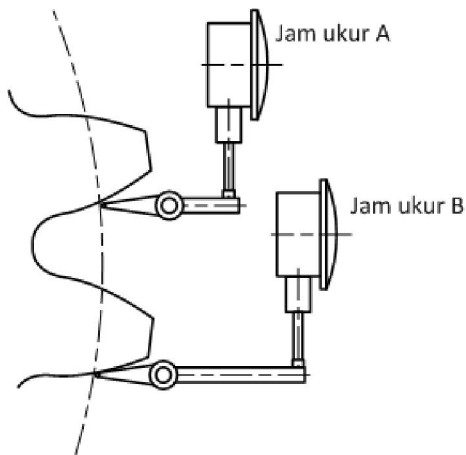
Pengukuran tebal gigi dengan Sistem *Base Tangent* akan lebih teliti lagi hasilnya bila menggunakan mikrometer dengan sudut anvil. Salah satu peralatan tersebut namanya adalah *David Brown Tangent Comparator* seperti tampak pada Gambar 5.11. di bawah ini:



Gambar 5.11. *David Brown Base Tangent Comparator*.

2.4. Pemeriksaan Jarak Gigi (*Pitch*)

Salah satu cara yang paling sederhana untuk memeriksa jarak dari gigi ke gigi ini adalah dengan menggunakan dua buah jam ukur (*dial gauge*) seperti tampak pada gambar 5.12. berikut ini:

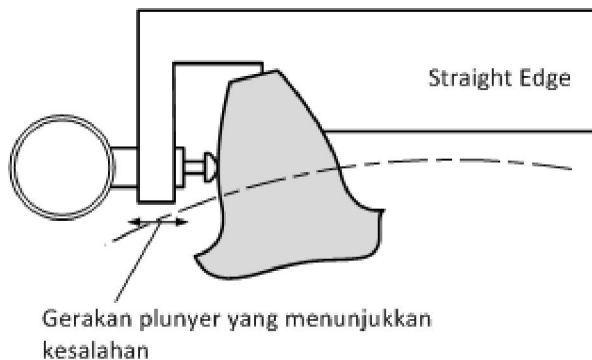


Jam ukur A digunakan untuk pembacaan tetap dari pitch roda gigi. Sedangkan jam ukur B digunakan untuk mencatat setiap perubahan dari pitch gigi yang diperiksa. Kesalahan yang sesungguhnya dari pitch tiap gigi dapat ditentukan dengan jalan mengurangi setiap hasil pengukuran yang terbaca pada jam ukur B untuk setiap gigi dengan harga rata-rata dari seluruh hasil pembacaan pada semua gigi.

Gambar 5.12 Pemeriksaan kesalahan *pitch* dari gigi ke gigi

2.5. Pemeriksaan Bentuk Involute Gigi

Dengan menggunakan jam ukur (*dial indicator gauge*) kita dapat dengan mudah mengetahui apakah bentuk suatu permukaan benda ukur itu rata, atau bergelombang, atau melengkung dan sebagainya. Demikian juga halnya dengan bentuk involute dari gigi. Kebenaran dari bentuk involute gigi ini bisa diketahui dengan menggunakan jam ukur yang sensornya kita jalankan pada sisi lengkung dari bentuk involute gigi tersebut. Dengan demikian setiap perubahan dari bentuk involute gigi dapat dibaca pada piringan skala jam ukur. Secara sederhana prinsip dari pemeriksaan bentuk involute gigi ini dapat dilihat pada gambar 5.13.



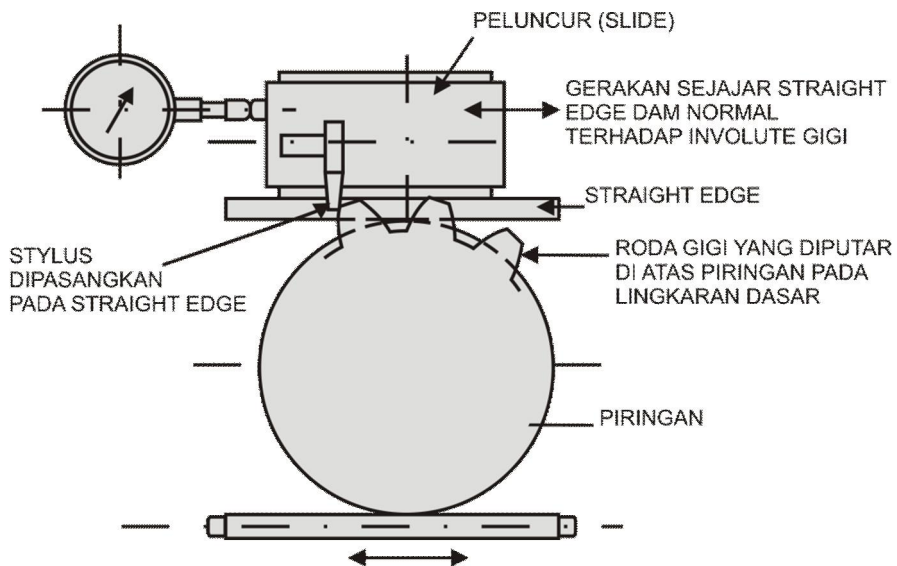
Gambar 5.13 Prinsip pemeriksaan bentuk involute.

Dari gambar tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut, Pelat siku yang panjang dan lurus (*straight edge*) digerakkan melalui lingkaran dasar (*base circle*). Dengan Bergeraknya pelat lurus ini maka batang ukur

dari jam ukur juga akan bergerak sepanjang sisi gigi yang diperiksa mulai dari batas lingkaran dasar. Sebelum digerakkan jarum penunjuk harus dipastikan pada posisi yang tetap misalnya tepat pada posisi nol. Perubahan jarak yang dialami oleh poros ukur (sensor) akan mengakibatkan perubahan posisi dari jarum penunjuk. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa apabila jarum penunjuk tetap pada posisi yang sama selama poros ukur dari jam ukur melewati sisi involute gigi maka dapat dikatakan bahwa gigi mempunyai bentuk involute yang tepat dan benar.

Demikian pula sebaliknya, apabila posisi jarum penunjuk berubah dari posisi semula selama sensor melewati sisi gigi maka dikatakan bahwa gigi mempunyai bentuk involute yang kurang baik. Untuk memastikan apakah roda gigi bisa dipakai bila ditinjau dari bentuk involutenya maka dasar pengambilan keputusan adalah dengan melihat harga-harga batas dari skala jam ukur dengan harga yang sudah ditentukan. Artinya, bila jarum penunjuk menunjukkan harga di luar harga batas maka disimpulkan bahwa roda gigi tidak bisa digunakan.

Salah satu peralatan untuk memeriksa bentuk involute gigi yang menggunakan prinsip seperti tersebut di atas adalah *David Brown Involute Form Tester*, diagramnya dapat dilihat pada gambar 5.14.

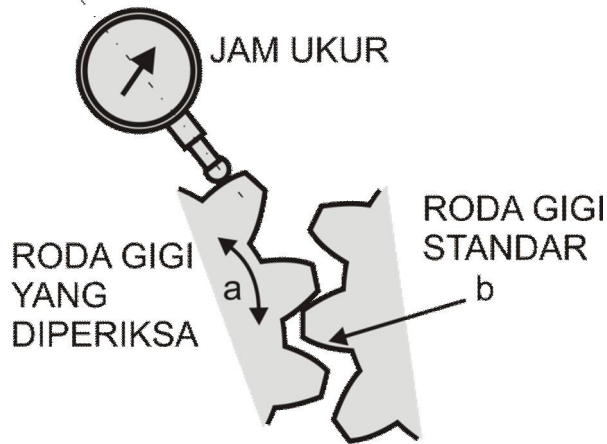


Gambar 5.14. Pemeriksaan involute gigi dengan *David Brown Involute Tester*

2.6. Pemeriksaan Kelonggaran *Back Lash*

Untuk memeriksa besarnya kelonggaran dari *back lash* harus digunakan roda gigi standar sebagai masternya dan jam ukur sebagai

alat ukur yang mencatat besarnya *back lash*. Secara sederhana cara pengukurannya dapat dilihat gambar 5.14. berikut ini.



Gambar 5.14. Pemeriksaan *back lash*.

Roda gigi standar (*master gear*) dikunci agar tidak berputar. Roda gigi yang akan diperiksa dipasangkan pada roda gigi standar tersebut. Ujung poros ukur dari jam ukur diletakkan pada salah satu sisi dari roda gigi yang diperiksa. Kemudian roda gigi yang diperiksa digerakkan dengan arah bolak-balik seperti yang ditunjukkan oleh tanda panah ' a '. Dengan gerakan ini maka jarum penunjuk jam ukur akan mencatat semua perubahan jarak yang dialami oleh poros ukurnya. Gerakan bolak-balik di atas jaraknya adalah sepanjang kelonggaran dari *back lash*. Bentuk dari *back lash* digambarkan agak berlebihan (ekstrim) seperti yang ditunjukkan oleh ' b '. Untuk roda gigi yang presisi maka besarnya kelonggaran dari *back lash* tidak boleh lebih dari 0.02 sampai 0.03 milimeter. Untuk mengambil keputusan apakah besarnya *back lash* sudah melampaui batas harga maksimum dan minimumnya adalah dengan melihat posisi jarum penunjuk jam ukur. Apabila posisi jarum penunjuk menunjukkan harga di luar harga-harga batas dari *back lash* maka dari sudut kelonggaran *back lash* berarti roda gigi tidak baik untuk digunakan.

3. Perhitungan Untuk Roda Gigi Helix (*Helical Gear*)

Untuk analisis pengukuran roda gigi helix dengan beberapa perhitungan maka pengukurannya dapat dilakukan berdasarkan tiga bidang yaitu :

- Bidang normal terhadap sisi gigi yang ditunjukkan oleh tanda ' n ' dalam perhitungannya.
- Bidang normal terhadap sumbu putar yang biasa disebut dengan bidang transversal (menyilang) dan diberi simbol ' t '.

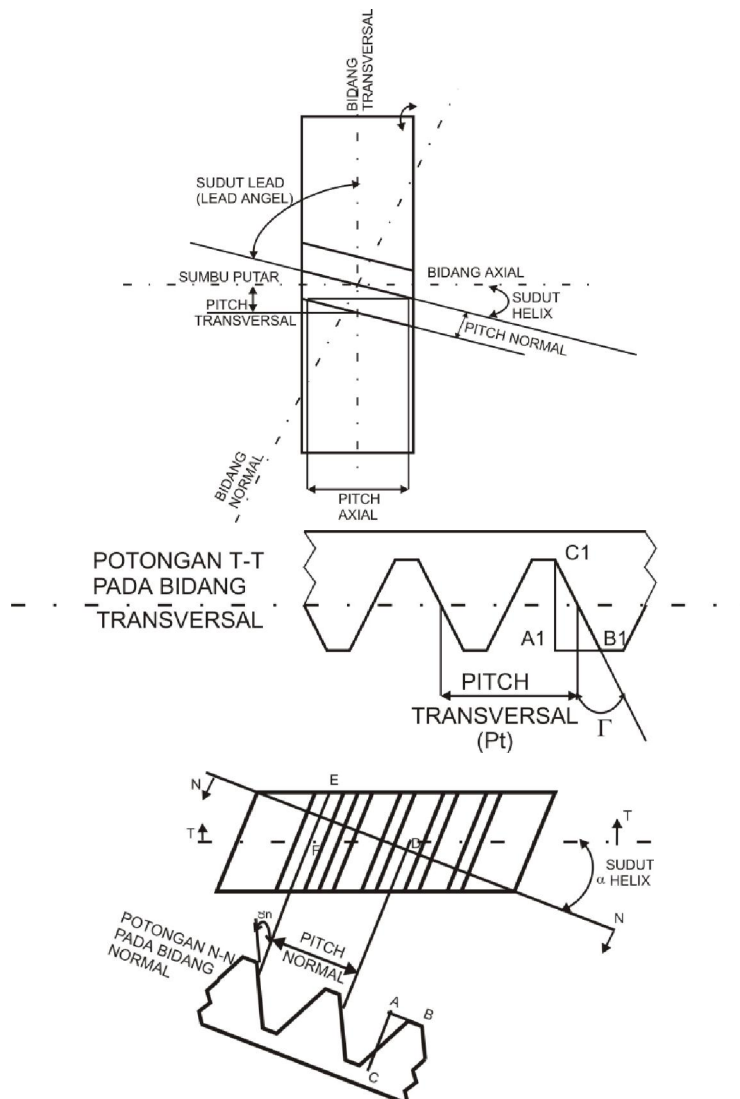
- c. Bidang paralel dengan sumbu putar yang biasa disebut dengan bidang aksial dan diberi tanda ' a '.

Dalam praktek sehari-hari lebih diutamakan untuk pengukuran berdasarkan bidang transversal dan normal. Gambar 5.15. menunjukkan bagan dari bidang transversal dan bidang normal untuk pengukuran roda gigi helix. Dari gambar tersebut :

γ adalah sudut helix

α_n adalah sudut tekan transversal.

$CP_t = \pi M_t$ adalah *circular pitch* dari arah transversal.



Gambar 5.16. Beberapa istilah untuk pengukuran roda gigi helix.

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{DE}{DF} \\ DE &= DF \cos \alpha \\ CP_n &= CP_t \cos \alpha \end{aligned}$$

Padahal *circular pitch* (CP) adalah $\pi \times$ modul (m), maka:

$$m_n = m_t \cos \alpha \qquad m_n = m_t \cos \alpha$$

Sudut sisi dari *rack* adalah sudut tekan dari sistem tersebut. Dari gambar diperoleh :

$$\tan \gamma_n = \frac{AB}{AC}$$

AC adalah konstan (tetap) yang besarnya adalah sama dengan dalamnya gigi. Akan tetapi, besarnya AB adalah :

$$AB = A_1 B_1 \cos \gamma_t$$

$$\text{Jadi, } \tan \gamma_n = \frac{A_1 B_1 \cos \gamma_t}{AC}$$

$$\text{dan } \tan \gamma_t = \frac{A_1 B_1}{AC}$$

Dengan demikian maka :

$$\tan \gamma_n = \tan \gamma_t \cos \alpha$$

Pitch untuk bidang normal (P_{bn}) adalah :

$$P_{bn} = \pi m_n \cos \gamma_n$$

E. Beberapa Contoh Perhitungan Roda Gigi

1. Hitunglah jarak luar dari rol baja yang digunakan untuk memeriksa roda gigi yang jumlah giginya 31, modulnya 2.5 dan sudut tekannya 20° .

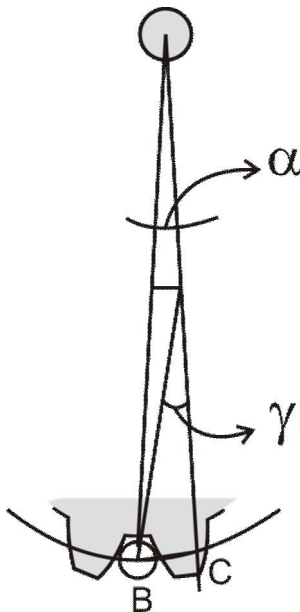
Penyelesaian : Lihat Gambar 5.16.

Diameter rol yang terbaik adalah $\pi/2 \cdot m \cdot \cos \alpha$

Jadi, besarnya diameter rol adalah :

$$d_{\text{rol}} = \frac{\pi}{2} \times 2.5 \times \cos 20^\circ$$

= 3.69 mm.



Dari gambar, diameter lingkaran pitch adalah :
 $D = mN = 2.5 \times 31 = 77.5 \text{ mm}$

Sudut $\gamma = \frac{360^\circ}{2 \times 31} = 5.8^\circ$

Sudut $\alpha = \frac{5.8^\circ}{2} = 2.9^\circ$

Sudut $ABC = 90^\circ$

$\text{Cos } \alpha = \frac{AB}{AC}$

$AB = AC \cos 2.9^\circ$

Padahal $AC =$ diameter lingkaran *pitch*
 Jadi, $AB = 77.5 \times 0.998719357 \text{ mm}$

$AB = 77.40 \text{ mm.}$

Dengan demikian jarak luar rol baja adalah :

$M = 77.40 + 3.69 \text{ mm} = 81.09 \text{ mm}$

Gambar 5.17.

2. Sebuah roda gigi dengan jumlah gigi 40, modul 5, diukur dengan menggunakan rol baja dan mengambil 10 buah gigi untuk pengukurannya.

Ditanyakan :

- Diameter rol
- Jarak luar rol untuk 10 gigi
- Jarak luar rol posisi rol yang berlawanan

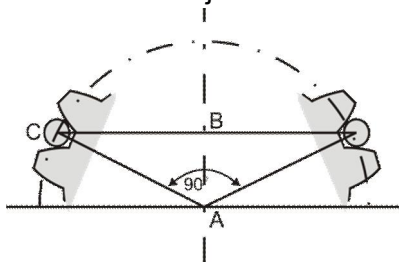
Penyelesaian:

a. Diameter rol terbaik adalah : $\frac{\pi m}{2} \cos 20^\circ$

$d \text{ rol} = \frac{\pi}{2} \times 5 \times 0.9397$

$d \text{ rol} = 7.38 \text{ mm.}$

b. Untuk menjawab soal b lihat Gambar 5.17.



Sudut antara rol untuk 10 gigi adalah

$= 10 \times \frac{360^\circ}{40} = 90^\circ$

Pada segitiga ABC,

$\text{Sin } \frac{90^\circ}{2} = \frac{BC}{AC}$

$BC = AC \sin 45^\circ$

AC adalah jari-jari lingkaran *pitch*.

Gambar 5.18.

$$\text{Jadi, } AC = \frac{1}{2}m.N = \frac{1}{2} \times 5 \times 40 = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Maka } BC = 100 \times \sin 45^\circ = 100 \times 0.7071067 \text{ mm} = 70.71 \text{ mm.}$$

$$\text{Jarak antara pusat rol adalah } = 2 \times 70.71 \text{ mm} = 141.42 \text{ mm}$$

Sedangkan jarak luar rol yang dipasang untuk 10 gigi adalah $141.42 + 7.38 \text{ mm} = 148.8 \text{ mm}$.

c. Jarak luar rol untuk posisi rol yang berlawanan adalah :

$$\begin{aligned} M &= \\ &= 5 \left(40 + \frac{\pi}{2} 0.93969262 \right) \\ &= 207.38 \text{ mm} \end{aligned}$$

F. Pertanyaan-pertanyaan

1. Sebutkan beberapa macam roda gigi.
2. Apakah sebetulnya fungsi roda gigi dalam permesinan?
3. Apakah yang dimaksud dengan *diametral pitch*?
4. Bagaimana hubungan antara *addendum* dan *deddendum* dengan modu?
5. Apakah yang dimaksud dengan gerak terlambat (*back lash*) dari roda gigi dan apa pengaruhnya terhadap proses permesinan?
6. Apakah yang dimaksud dengan sudut tekan (*pressure angle*) dari pasangan roda gigi dan berapakah besarnya standar sudut tekan tersebut?
7. Bagaimanakah rumus menghitung jarak pusat antara pasangan roda gigi?
8. Sebutkan beberapa elemen penting dari roda gigi yang perlu diukur.
9. Apakah yang dimaksud dengan pemeriksaan roda gigi secara analisis dan pemeriksaan roda gigi menurut fungsinya.
10. Jelaskan secara ringkas pemeriksaan roda gigi yang menggunakan *Parkson Gear Tester*.
11. Jelaskan secara ringkas pemeriksaan eksentrisitas roda gigi.
12. Tentukan rumus untuk mencari diameter rol baja yang terbaik yang digunakan dalam pengukuran roda gigi.
13. Bagaimanakah rumus yang terjadi pada pengukuran roda gigi dengan rol baja untuk roda gigi dengan jumlah gigi ganjil? Jelaskan dengan gambar.
14. Bagaimana pula caranya mengukur roda gigi yang diameter lingkarannya *pitch*nya relatif besar? Jelaskan dengan gambar.
15. Ada berapa cara pengukuran tebal gigi dari roda gigi?
16. Bagaimanakah rumus yang diperoleh pada pengukuran tebal gigi berdasarkan garis *pitch* dan berdasarkan sudut tekan (*constant chord*)?

17. Apakah maksudnya pengukuran tebal gigi dengan sistem *Base Tangent Method* ?
18. Sebutkan alat ukur yang digunakan untuk mengukur tebal gigi yang menggunakan sistem *Base Tangent Method* dan jelaskan secara ringkas cara kerjanya.
19. Jelaskan secara sederhana cara pemeriksaan jarak gigi (*pitch*) dari roda gigi, dengan gambar.
20. Jelaskan dengan gambar prinsip dari pemeriksaan *involute*.
21. Jelaskan cara pemeriksaan *back lash* dari roda gigi.
22. Jelaskan dasar pengukuran roda gigi helix.
23. Analisislah hasil pengukuran roda gigi yang menggunakan rol baja dengan ketentuan sebagai berikut : jumlah gigi = 60, modul = 5, jumlah gigi yang diambil untuk diukur = 12 buah.