

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 PENGERTIAN UMUM GELOMBANG DAN GETARAN

##### 2.1.1 Energi Laut ( Gelombang laut )

Energi gelombang laut adalah energi yang dihasilkan dari pergerakan gelombang laut menuju daratan dan sebaliknya. Pada dasarnya pergerakan laut yang menghasilkan gelombang laut terjadi akibat dorongan pergerakan angin. Angin timbul akibat perbedaan tekanan pada 2 titik yang diakibatkan oleh respons pemanasan udara oleh matahari yang berbeda di kedua titik tersebut. Mengingat sifat tersebut maka energi gelombang laut dapat dikategorikan sebagai energi terbarukan.

Gelombang laut secara ideal dapat dipandang berbentuk gelombang yang memiliki ketinggian puncak maksimum dan lembah minimum. Pada selang waktu tertentu, ketinggian puncak yang dicapai serangkaian gelombang laut berbeda-beda, bahkan ketinggian puncak ini berbeda-beda untuk lokasi yang sama jika diukur pada hari yang berbeda. Meskipun demikian secara statistik dapat ditentukan ketinggian signifikan gelombang laut pada satu titik lokasi tertentu.

Bila waktu yang diperlukan untuk terjadi sebuah gelombang laut dihitung dari data jumlah gelombang laut yang teramati pada sebuah selang waktu tertentu, maka dapat diketahui potensi energi gelombang laut di titik lokasi tersebut. Potensi energi gelombang

laut pada satu titik pengamatan dapat dihitung dalam tiap satuan luas permukaan sebuah gelombang laut.

Menghitung energi gelombang laut tiap satuan luas permukaan :

$$W = \frac{\rho \cdot g \cdot A}{4B} = 2.74 \times 10^{-3} \frac{\rho V^4}{g} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

W : Energi gelombang persatuan luas permukaan N. m / m<sup>2</sup>

g : Gravitasi bumi = 9,81 m/s<sup>2</sup>

ρ : Massa jenis air laut = 1030 kg / m<sup>3</sup>

A : Pierson Moskowitz spektrum =  $8,10 \times 10^{-3} \frac{g}{(2\pi)^4}$

B :  $0.74 \frac{[g]^4}{2\pi V}$

V : Kecepatan angin diatas SWL ( m/s )

Berdasarkan perhitungan ini dapat diprediksikan berbagai potensi energi dari gelombang laut di berbagai tempat di dunia, berapa potensi daya listrik yang dapat dihasilkan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$P = \frac{W}{t} \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana :

P : Daya ( Watt atau N.m/detik )

W : Gelombang persatuan luas permukaan N. m / m<sup>2</sup>

t : Waktu yang diperlukan ( detik )

Dari data tersebut, diketahui bahwa pantai barat Pulau Sumatera bagian selatan dan pantai selatan Pulau Jawa bagian barat berpotensi memiliki energi gelombang laut sekitar 40 kw/m.

Pada dasarnya prinsip kerja teknologi yang mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik adalah mengakumulasi energi gelombang laut untuk memutar turbin generator. Karena itu sangat penting memilih lokasi yang secara topografi memungkinkan akumulasi energi. Meskipun penelitian untuk mendapatkan teknologi yang optimal dalam mengkonversi energi gelombang laut masih terus dilakukan, saat ini, ada beberapa alternatif teknologi yang dapat dipilih salah satunya adalah alat pembangkit listrik yang memanfaatkan gelombang air laut untuk menggerakkan bandul. Dimana gerakan bandul atau alat lainnya ini kemudian mampu menggerakkan generator dan dinamo melalui serangkaian roda gigi sehingga mampu mengkonversikan energi mekanik ini menjadi energi listrik .

### 2.1.2 Getaran

Getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya berhubungan dengan gerak itu. Semua benda yang memiliki massa dan elastisitas mampu bergetar. Gerak osilasi bandul juga mengalami getaran sampai derajat tertentu, dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya. Getaran bandul yang merupakan sistem yang berosilasi secara luas dapat digolongkan sebagai linier tidak linier. Untuk sistem linier prinsip superposisi berlaku, dan teknik matematika yang dapat menghitungnya. Untuk sistem tidak linier tetap dibutuhkan sebab semua sistem cenderung menjadi tidak linier dengan bertambahnya amplitudo osilasi.

Getaran adalah gerak bolak-balik atau gerak periodik disekitar titik tertentu secara periodik. Gerak Periodik adalah suatu getaran atau gerakan yang dilakukan benda secara bolak-balik melalui jalan tertentu yang kembali lagi ke tiap kedudukan dan kecepatan setelah selang waktu tertentu.

Simpangan adalah jarak antara kedudukan benda yang bergetar pada suatu saat sampai kembali pada kedudukan seimbangya. Amplitudo adalah simpangan maksimum yang dilakukan pada peristiwa getaran. Perioda adalah waktu yang diperlukan untuk melakukan satu kali getaran penuh. Frekuensi adalah banyaknya getaran penuh yang dapat dilakukan dalam waktu satu detik.

## 2.2 GERAKAN BANDUL MEKANISME DAN SISTEMATIKA PERHITUNGANNYA

Ayunan sederhana atau disebut bandul melakukan gerakan bolak balik sepanjang busur AB. Waktu yang diperlukan oleh benda untuk bergerak dari titik A ke titik A lagi disebut Satu Periode. Sedangkan banyaknya getaran atau gerak bolak-balik yang dapat dilakukan dalam waktu satu detik disebut Frekuensi.

Frekuensi yang dihasilkan bandul disebut Frekuensi Alamiah.

Frekuensi Alamiah adalah frekuensi yang ditimbulkan dari ayunan tanpa adanya pengaruh luar.

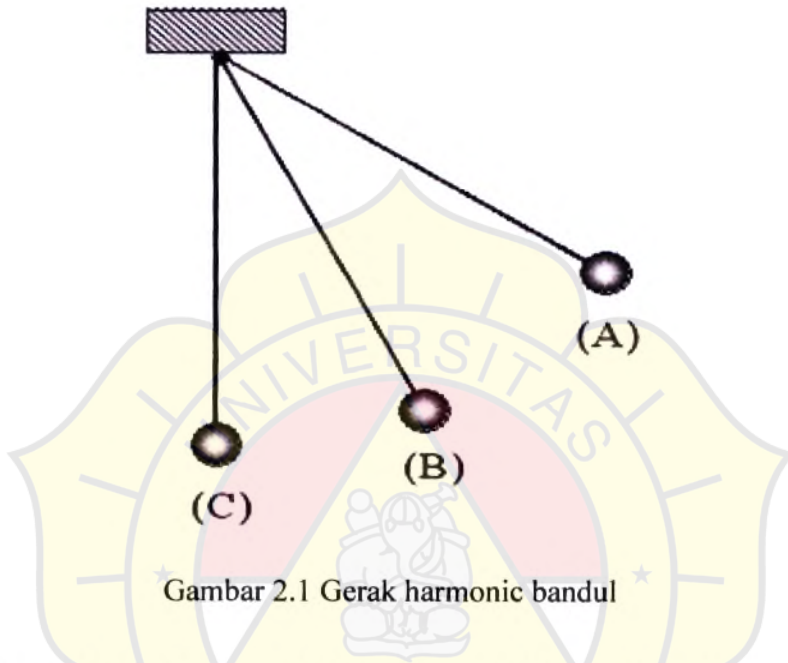
### Jenis Gerak Harmonik Sederhana

Gerak Harmonik Sederhana dapat dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu :

- Gerak Harmonik Sederhana (GHS) Linier, misalnya penghisap dalam silinder gas, gerak osilasi air raksa / air dalam pipa U, gerak horizontal / vertikal dari pegas, dan sebagainya.
- Gerak Harmonik Sederhana (GHS) Angular, misalnya gerak bandul / bandul fisis, osilasi ayunan torsi, dan sebagainya.

### Contoh Gerak Harmonik Sederhana angular

- Gambar Gerak harmonik sederhana angular pada bandul

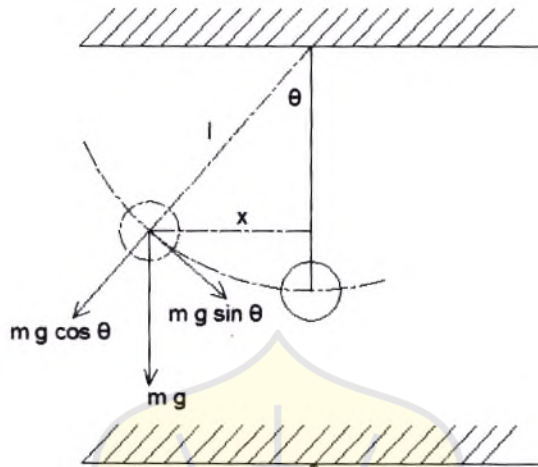


Gambar 2.1 Gerak harmonic bandul

Perhitungan Gaya, frekuensi, dan perioda gerak harmonik angular pada bandul :

Ketika beban digantungkan pada ayunan dan tidak diberikan gaya, maka benda akan diam di titik keseimbangan B. Jika beban ditarik ke titik A dan dilepaskan, maka beban akan bergerak ke B, C, lalu kembali lagi ke A. Gerakan beban akan terjadi berulang secara periodik, dengan kata lain beban pada ayunan di atas melakukan gerak harmonik sederhana.

### Gambar Gaya pada ayunan Sederhana



Gambar 2.2 Gaya yang terjadi pada bandul

Untuk Mengetahui besarnya gaya yang mempengaruhi gerak ayunan dapat digunakan persamaan berikut ini, dimana

$F$  : Gaya ( N )  $m$  : Massa benda ( Kg )

$g$  : Percepatan gravitasi (  $ms^2$  ),

$\theta$  : Sudut simpangan (derajad  $^{\circ}$ )

$l$  : Panjang tali ( m ) ,

$x$  : Simpangan getar ( m ),

Simpangan getar (A) dapat diketahui besarnya melalui persamaan sebagai berikut , dimana A : Simpangan getar ( Amplitudo / m ),  $\theta$  : Sudut deviasi (...<sup>o</sup>)

l : Panjang tali ( m ) sedangkan perioda getaran pada ayunan sederhana dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut , dimana:

T : Perioda getaran ( sec ),

$\pi$  : 3,14 ( 22/7)

l : Panjang tali ( m ),

g : Percepatan gravitasi ( m/s<sup>2</sup> )

Frekuensi getaran dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$F = m \cdot g \cdot \sin \theta \dots\dots\dots(2.3)$$

$$F = \frac{m \cdot g \cdot x}{l} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$A = l \sin \theta \dots\dots\dots(2.5)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Bandul merupakan sistem dari getaran bebas dimana sistem yang memiliki massa dan elastisitas mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan luar. Hal pertama yang menarik untuk sistem ini adalah frekuensi natural getarnya, dimana dalam menghitung frekuensi natural getarnya merupakan fungsi massa dan kekakuan ( *stiffness* ) sistem.

Redaman dalam jumlah yang sedang mempunyai pengaruh yang kecil pada frekuensi natural dan dapat diabaikan dalam perhitungannya. Sistem getaran bebas dapat



dianggap sebagai sistem konservatif dan prinsip kekekalan energi memberikan pendekatan lain untuk menghitung frekuensi naturalnya. Pengaruh redaman sangat jelas pada berkurangnya amplitudo getaran terhadap waktu.

Perhitungan frekuensi natural sistem getaran bebas pada bandul :

$$\sum M_o = 0 \dots\dots\dots(2.7)$$

$$m.l.\ddot{\theta} + m.g.\theta = 0 \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\ddot{\theta} = -\omega^2.\theta \dots\dots\dots(2.9)$$

$$-m.l^2.\omega^2.\theta + m.g.l = 0 \dots\dots\dots(2.10)$$

$$(m.g.l - m.l^2.\omega^2).\theta = 0 \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\omega^2.m.l^2 = m.g.l \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

$\omega$  : Frekuensi natural ( hertz atau per satuan detik )

$g$  : Gravitasi bumi ( 9,81 m/s<sup>2</sup> )

$l$  : Panjang lengan bandul ( m )

Menghitung frekuensi dan perioda bandul :

$$\omega = 2. \pi f \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \dots\dots\dots(2.15)$$

Substitusi persamaan (2.14) ke (2.15)

$$\sqrt{\frac{g}{l}} = 2. \pi. f \dots\dots\dots(2.16)$$

$$f = \frac{\sqrt{\frac{g}{l}}}{2. \pi} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$T = \frac{1}{f} = 2. \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

$\omega$  : Frekuensi natural ( hertz atau per satuan detik )

$g$  : Gravitasi bumi ( 9,81 m / s<sup>2</sup> )

$l$  : Panjang lengan bandul ( m )

$f$  : Frekuensi ( Hertz )

$T$  : Perioda ( detik )

### 2.2.1 Hukum Kekekalan Energi Mekanik Pada Getaran

Besarnya energi mekanik dari suatu benda yang bergerak secara periodik adalah tetap. Energi mekanik adalah jumlah dari energi kinetik dan energi potensial. Di dalam setiap getaran energi potensial dan energi kinetik besarnya selalu berubah-ubah tetapi memiliki jumlah yang tetap. Besarnya energi potensial dari benda yang bergetar secara periodik dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut :

Hukum Kekekalan Energi Mekanik :

$$EM = EP + EK \dots\dots\dots(2.20)$$

$$EM_1 = EM_2 \dots\dots\dots(2.21)$$

$$EP_1 + Ek_1 = EP_2 + Ek_2 \dots\dots\dots(2.22)$$

$$(m \cdot g \cdot h)_1 + (1/2 \cdot m \cdot v^2)_1 = (m \cdot g \cdot h)_2 + (1/2 \cdot m \cdot v^2)_2 \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana :

EM = Energi Mekanik (joule)

EK = Energi kinetik (joule)

EP = energi potensial (joule)

m = massa (kg)

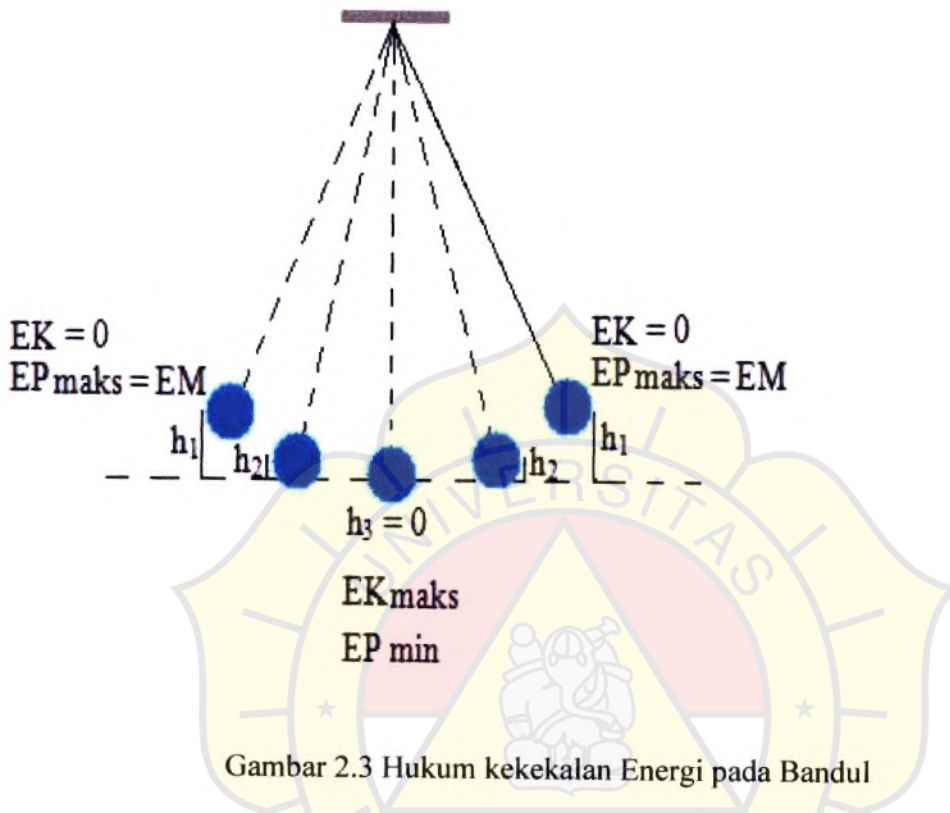
g = percepatan gravitasi (m/detik<sup>2</sup>)

h = jarak vertikal (meter)

v = kecepatan (m/detik)

### 2.2.1.1 Hukum Kekekalan Energi Mekanik pada gerak harmonik sederhana

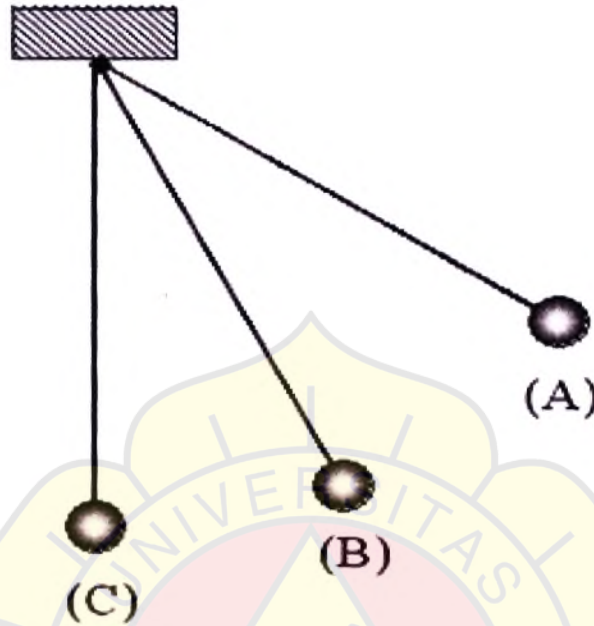
Kita tinjau Hukum Kekekalan Energi pada ayunan sederhana :



Gambar 2.3 Hukum kekekalan Energi pada Bandul

Ketika benda berada pada simpangan terjauh dengan ketinggian  $h_1$ , jumlah EP bernilai maksimum, sedangkan EK bernilai nol. Total  $EM = EP$ . Ketika berada pada titik terendah, EP bernilai minimum sedangkan EK bernilai maksimum. Sepanjang lintasan benda, terjadi perubahan energi kinetik menjadi energi potensial dan sebaliknya energi potensial menjadi energi kinetik. Jumlah EK dan  $EP = EM$  sepanjang lintasan bernilai tetap.

### 2.2.2 Hukum Kekekalan Energi Mekanik pada ayunan sederhana.



Gambar 2.4 Gerak bandul terhadap Hukum kekekalan Energi

Untuk menggerakkan benda yang diikatkan pada ujung tali, benda tersebut kita tarik ke kanan hingga mencapai titik A. Ketika benda belum dilepaskan (benda masih diam), Energi Potensial benda bernilai maksimum, sedangkan  $E_K = 0$  ( $E_K = 0$  karena benda diam). Pada posisi ini,  $E_M = E_P$ . Ingat bahwa pada benda bekerja gaya berat  $w = mg$ . Karena benda diikatkan pada tali, maka ketika benda dilepaskan, gaya gravitasi sebesar  $w = mg \cos \theta$  teta menggerakkan benda menuju posisi setimbang (titik B). Ketika benda bergerak dari titik A, EP menjadi berkurang karena  $h$  makin kecil. Sebaliknya  $E_K$  benda bertambah karena benda telah bergerak. Pada saat benda mencapai posisi B, kecepatan benda bernilai maksimum, sehingga pada titik B Energi Kinetik menjadi bernilai maksimum sedangkan EP bernilai minimum. Karena pada titik B kecepatan benda maksimum, maka benda bergerak terus ke titik C. Semakin mendekati titik C,

kecepatan benda makin berkurang sedangkan  $h$  makin besar. Kecepatan berkurang akibat adanya gaya berat benda sebesar  $w = mg \cos \theta$ , yang menarik benda kembali ke posisi setimbangnya di titik B. Ketika tepat berada di titik C, benda berhenti sesaat sehingga  $v = 0$ . karena  $v = 0$  maka  $E_K = 0$ . pada posisi ini,  $E_P$  bernilai maksimum karena  $h$  bernilai maksimum.  $E_M$  pada titik C =  $E_P$ . Akibat tarikan gaya berat sebesar  $w = mg \cos \theta$ , maka benda bergerak kembali menuju titik B. Semakin mendekati titik B, kecepatan gerak benda makin besar, karenanya  $E_K$  semakin bertambah dan bernilai maksimum pada saat benda tepat berada pada titik B. Demikian seterusnya, selalu terjadi perubahan antara  $E_K$  dan  $E_P$ . Total Energi Mekanik bernilai tetap ( $E_M = E_P + E_K$ ).

### **2.3 PERHITUNGAN GELOMBANG BERDASARKAN INPUT SUDUT GELOMBANG**

Gelombang didefinisikan sebagai energi getaran yang merambat. Dalam kehidupan sehari-hari banyak orang berfikir bahwa yang merambat dalam gelombang adalah getarannya atau partikelnya, hal ini sedikit tidak benar karena yang merambat dalam gelombang adalah energi yang dipunyai getaran tersebut. Dari sini timbul pertanyaan, benarkah medium yang digunakan gelombang tidak ikut merambat? padahal pada kenyataannya terjadi aliran air di laut yang luas. Menurut aliran air dilaut itu tidak disebabkan oleh gelombang tetapi lebih disebabkan oleh perbedaan suhu pada air laut. Tapi juga akan terjadi perpindahan partikel medium, ketika gelombang melalui medium zat gas yang ikatan antar partikelnya sangat lemah maka sangat dimungkinkan partikel udara tersebut berpindah posisi karena terkena energi gelombang. Walau perpindahan

partikelnya tidak akan bisa jauh tetapi sudah bisa dikatakan bahwa partikel medium ikut berpindah.

Gelombang laut merupakan energi dalam transisi, energi yang terbawakan oleh sifat aslinya. Gelombang permukaan merupakan gambaran yang sederhana untuk menunjukkan bentuk dari suatu energi lautan. Adapun gejala dari energi gelombang bersumber pada fenomena-fenomena berikut :

1. Benda (body) yang bergerak pada atau dekat permukaan yang menyebabkan terjadinya gelombang dengan periode kecil, energi kecil pula.
2. Angin yang merupakan sumber penyebab utama gelombang lautan.
3. Gangguan seismik yang menyebabkan terjadinya gelombang pasang atau tsunami.
4. Medan gravitasi bumi dan bulan penyebab gelombang besar, terutama menyebabkan gelombang besar yang tinggi.

Selanjutnya gelombang lautan ditinjau dari sifat pengukurannya dibedakan menurut ketinggian serta perioda alunannya. Dari kebanyakan data yang ada, tinggi gelombang lautan dapat diukur melalui alat ukur gelombang ataupun dengan cara visual dengan melakukan pengamatan langsung di lapangan. Menurut pengamatan para ahli, tinggi gelombang sama sekali tidaklah berkaitan dengan tinggi rata-ratanya, melainkan berkaitan dengan sepertiga rata-rata tinggi gelombang maksimumnya.

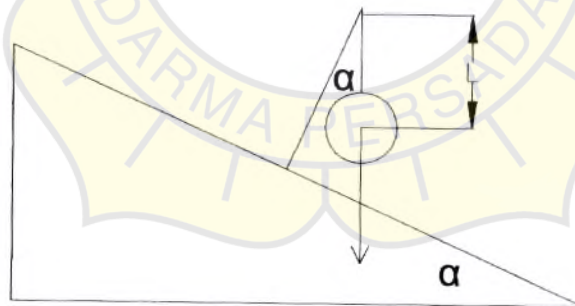
Secara matematis gelombang laut sukar dijabarkan dengan pasti., namun tetap diformulasikan dengan pendekatan. Suatu teori sederhana mengenai gelombang lautan

dikenal sebagai teori Airy atau teori gelombang linier. Para ahli membagi sifat gelombang laut dalam dua kategori, yaitu gelombang linier dan gelombang non-linier.

Gelombang linier adalah gelombang dalam bentuk sinusoidal dengan panjang gelombang yang lebih besar dari tinggi gelombangnya.

Gelombang non-linier adalah gelombang yang memiliki ciri khusus yakni berbentuk sinusoida yang sama seperti gelombang linier, namun saat mencapai kedangkalan tertentu maka profil gelombangnya akan berubah, dengan puncak gelombang yang meruncing disertai dengan panjang gelombang yang mengecil. Perubahan tersebut disebabkan oleh pengaruh dasar lautan, profil gelombang tersebut yang disebut gelombang non-linier.

**2.3.1 Hubungan sudut gelombang dan sudut bandul, kecepatan, daya dan berat bandul**



Gambar 2.5 Posisi Bandul terhadap bidang miring

$$h = l - (l \cdot \cos 2\alpha) \dots \dots \dots (2.24)$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \dots \dots \dots (2.25)$$



$$\omega = \frac{v}{l} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$r = l \cdot \sin 2\alpha \dots\dots\dots(2.27)$$

$$\tau = m \cdot g \cdot r \dots\dots\dots(2.28)$$

$$P = \tau \cdot \omega \cdot n \dots\dots\dots(2.29)$$

Dimana:

m = Berat bandul (kg)

l = Lengan bandul (meter)

g = Gravitasi (9.8 m/detik<sup>2</sup>)

$\alpha$  = Sudut (°)

v = kecepatan linier ayuan (m/detik)

h = Perbedaan tinggi akibat ayuan (meter)

$\omega$  = Kecepatan sudut (rad/detik)

r = Lengan torsi (meter)

$\tau$  = Torsi (Nm)

n = Efisiensi

P = Daya (watt)

## 2.4 POROS

Poros merupakan salah satu bagian yang terpenting dari setiap mesin. Hampir sebagian besar mesin meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran. Peranan utama dalam transmisi seperti itu dipegang oleh poros.

Jenis-jenis poros :

1. Poros Transmisi

Poros jenis ini mendapat beban puntir murni atau puntir dan lentur. Daya ditransmisikan kepada poros ini melalui kopling, roda gigi, puli sabuk, atau sproket rantai, dan lain-lain.

2. Spindel

Poros transmisi yang relatif pendek, seperti poros utama mesin perkakas, dimana beban putarannya berupa puntiran, disebut spindel. 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, disebut gandar. Gandar ini hanya mendapat beban lentur, kecuali jika digerakkan oleh penggerak mula dimana akan mengalami beban puntir juga.

Berdasarkan bentuknya poros dibedakan menjadi :

1. Poros lurus umum

2. Poros engkol sebagai poros utama dari mesin torak

3. Poros luwes untuk transmisi daya kecil agar terdapat kebebasan bagi perubahan arah.

Hal-hal penting dalam perencanaan poros

Untuk merencanakan sebuah poros, hal-hal berikut ini perlu di perhatikan adalah sebagai berikut :

1. Kekuatan poros

Suatu poros transmisi dapat mengalami beban puntir atau lentur atau gabungan antara puntir dan lentur sekaligus. Juga ada poros yang mendapat beban tarik atau tekan seperti poros baling-baling kapal 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 diatas.

2. Kekakuan poros

Meskipun sebuah poros mempunyai kekuatan yang cukup tetapi jika lenturan atau defleksi puntirnya terlalu besar akan mengakibatkan ketidak-telitian ( pada mesin perkakas ) atau getaran dan suara ( misalnya pada turbin dan kotak roda gigi ). Karena itu, disamping kekuatan poros, kekakuannya juga harus diperhatikan dan disesuaikan dengan macam mesin yang akan dilayani poros tersebut.

3. Putaran kritis

Bila putaran suatu mesin dinaikan maka pada suatu harga putaran tertentu dapat terjadi getaran yang luar biasa besarnya. Putaran ini disebut putaran kritis. Hal ini dapat terjadi pada turbin, motor torak, motor listrik, dan lain-lain. Dapat mengakibatkan kerusakan pada poros dan bagian-bagian lainnya. Jika mungkin, poros harus direncanakan sedemikian rupa hingga putaran kerjanya lebih rendah dari putaran kritisnya.

4. Korosi

Bahan-bahan tahan korosi ( termasuk plastik ) harus dipilih untuk poros propeler dan pompa bila terjadi kontak dengan fluida yang korosif. Demikian pula untuk poros-poros yang terancam kavitasi, dan poros-poros mesin yang sering berhenti lama. Sampai batas tertentu dapat pula dilakukan perlindungan terhadap korosi, mengingat alat uji lab ini aslinya digunakan di laut lepas yang korosinya tinggi.

5. Bahan Poros

Poros untuk mesin umum biasanya dibuat dari baja batang yang ditarik dingin dan difinis, baja karbon konstruksi mesin ( disebut bahan S-C ) yang dihasilkan dari ingot yang di-"kill" ( baja yang dideoksidasikan dengan ferrosilikon dan di cor ; kadar karbon terjamin ) \*. Meskipun demikian, bahan ini kelurusannya agak kurang tetap dan dapat mengalami deformasi karena tegangan yang kurang seimbang misalnya diberi alur pasak, karena ada tegangan sisa didalam terasnya. Tetapi penarikan dingin membuat permukaan poros menjadi keras dan

kekuatannya bertambah besar. Harga-harga yang terdapat dalam tabel ( data terlampir ) diperoleh dari batang poros dengan diameter 25 mm ; dalam hal ini harus diingat bahwa untuk poros yang diameternya lebih dari 25 mm, harga-harga tersebut akan lebih rendah dari pada yang ada dalam tabel karena adanya pengaruh massa.

Poros-poros yang dipakai untuk meneruskan putaran tinggi dan beban berat umumnya dibuat dari baja paduan dengan pengerasan kulit yang sangat tahan terhadap keausan. Beberapa diantaranya adalah baja khrom nikel, baja khrom nikel molibden, baja khrom, baja khrom molibden ( lihat di tabel ). Sekalipun demikian pemakaian baja khusus tidak selalu dianjurkan jika alasannya hanya karena putaran tinggi dan berat. Dalam hal ini perlu dipertimbangkan penggunaan baja karbon yang diberi perlakuan panas secara tepat untuk memperoleh kekuatan yang diperlukan. Baja tempa ( lihat tabel ) juga sering dipakai.

Pada umumnya baja diklasifikasikan atas baja lunak, baja liat, baja agak keras, dan baja keras. Untuk poros baja yang sering digunakan adalah baja liat dan baja agak keras yang dipilih, untuk kandungan karbonnya dapat dilihat di tabel.

#### **2.4.1 Poros dengan beban puntir dan lentur.**

Poros dengan beban puntir dan lentur pada umumnya adalah poros yang mendapat pembebanan utama dalam meneruskan daya melalui sabuk, roda gigi dan rantai. Akibat beban puntir dan lentur pada permukaan poros akan mengalami tegangan geser ( $\tau$ ) dimana

$$\tau = T / Z_p ;$$

T adalah akibat momen puntir dan tegangan ( $\sigma$ ) adalah akibat momen lentur.

Untuk bahan yang liat seperti pada poros, dapat dipakai tegangan geser maksimum :

$$\tau_{maks} = \frac{\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}}{2} \dots\dots\dots(2.30, \text{Machine Design, 1980})$$

1980)

Pada poros yang pejal dengan penampang bulat,  $\sigma = 32 M / d_s^3$  dan  $\tau = 16 T / \pi d_s^3$ , sehingga tegangan geser maksimumnya menjadi :

$$\tau_{maks} = \left(\frac{5.1}{d_s^3}\right) \cdot \sqrt{M^2 + T^2} \dots\dots\dots(2.31, \text{Machine Design, 1980})$$

Beban yang bekerja pada poros pada umumnya adalah beban berulang. Jika poros tersebut mempunyai roda gigi untuk meneruskan daya besar maka kejutan berat akan terjadi . Untuk itu diperlukan perhitungan rumus diameter poros yg tepat dan beberapa faktor koreksi atas poros yang dipakai seperti : Faktor koreksi Kt untuk momem puntir , Km untuk momen lentur dengan nilai 1,5 dan 2,0 ( tumbukan ringan ), 2,0 dan 3,0 untuk tumbukan berat.

maka :

$$\tau_{maks} = \left[\left(\frac{5.1}{d_s^3}\right) \cdot \sqrt{(Km.M)^2 + (Kt.T)^2}\right] \cdot 1/3 \dots\dots\dots(2.32, \text{Machine Design, 1980})$$

Dimana:

$\tau_{max} < \tau_a$  ( tegangan geser yg diijinkan ) dan defleksi puntiran (  $^{\circ}$  ) dibatasi 0,25 atau 0,3 derajat.

Jika

ds : diameter poros (mm),

$\theta$  : defleksi puntiran (  $^{\circ}$  ).

$l$  : panjang poros ( mm ),

$T$  momen puntir ( Kg.mm) dan

$G$  modulus geser ( Kg / mm<sup>2</sup> )

maka diameter poros dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\theta = 584 \cdot \frac{T \cdot l}{G \cdot d_s^4} \dots \dots \dots (2.33, \text{Machine Design, 1980})$$

Dimana bahan poros baja  $G = 8,3 \times 10^3$  ( Kg/mm<sup>2</sup> ).  $\theta$  dari perhitungan diatas untuk memeriksa harga yang masih dibawah batas harga yang diijinkan, Bila  $\theta$  dibatasi 0,25 untuk setiap meter panjang poros maka akan diperoleh persamaan :

$$d_s \geq 4.1 \sqrt[4]{T} \dots \dots \dots (2.34, \text{Machine Design, 1980})$$

Kekakuan poros terhadap lenturan juga perlu diperiksa. Poros yang bertumpu pada bantalan baik yang tipis maupun yang mapan sendiri, maka lenturan poros  $y$  ( mm ) dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$y = 3.23 \times 10^{-4} \cdot \frac{F \cdot l_1^2 \cdot l_2^2}{d_s^4 \cdot l} \dots \dots \dots (2.35, \text{Machine Design, 1980})$$

Dimana

$d_s$  : Diameter poros ( mm ),

$l$  : Jarak antara bantalan penumpu ( mm ),

$F$  : beban ( Kg )

Merupakan gaya luar seperti roda gigi, tegangan dari sabuk dan berat puli beserta sabuk, beras poros sendiri, dan lain-lain.  $l_1$  dan  $l_2$  : jarak dari bantalan yang bersangkutan ke titik pembebanan ( mm ).

Bila suatu poros panjang ditumpu secara kaku dengan bantalan atau dengan cara lain, maka lenturannya dapat dinyatakan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$y = 3.23 \times 10^{-4} \cdot \frac{F \cdot l_1^2 \cdot l_2^2}{d_s^4 \cdot l^3} \dots \dots \dots (2.36, \text{Machine Design, 1980})$$

dengan catatan bahwa lenturan yang terjadi prlu dibatasi sampai 0,3 - 0,35 mm.

Untuk poros pada putaran tinggi, putaran kritis penting untuk diperhitungkan :

Pada poros yang diberi beban terpusat dari rotor yang bekerja atau yang lain di suatu titik poros , maka beban tersebut dinyatakan dengan  $W$  ( kg ), jarak antar bantalan adalah  $l$  ( mm ) dan diameter poros yang seragam  $d_s$  ( mm ), serta penumpunya terdiri atas bantalan tipis atau mapan sendiri, maka putaran kritis poros tersebut  $N_c$  ( rpm ) adalah :

$$N_c = 52700 \cdot \frac{d_s^2}{l_1 \cdot l_2} \cdot \sqrt{\frac{l}{W}} \dots \dots \dots (2.37, \text{Machine Design, 1980})$$

Jika bantalan cukup panjang dan poros ditumpu secara kaku, maka putaran kritisnya adalah

$$N_c = 52700 \cdot \frac{d_s^2}{l_1 \cdot l_2} \cdot \sqrt{\frac{l}{W \cdot l_1 \cdot l_2}} \dots \dots \dots (2.38, \text{Machine Design, 1980})$$



Jika terdapat beberapa benda berputar pada satu poros, maka dihitung lebih dahulu putaran-putaran kritis  $N_{c1}$ ,  $N_{c2}$ ,  $N_{c3}$ ,.....dari masing-masing benda tersebut seolah-olah berada pada satu poros. Maka putaran kritis keseluruhan dari sistem  $N_{c0}$  adalah :

$$\frac{1}{N_{c0}^2} = \frac{1}{N_{c1}^2} + \frac{1}{N_{c2}^2} + \frac{1}{N_{c3}^2} + \dots \dots \dots (2.39)$$

Dimana harga  $N_{c0}$  dari rumus ini kemudian dibandingkan dengan putaran maksimum sesungguhnya yang akan dialami poros.

## 2.5 PASAK

Pasak adalah suatu elemen mesin yang dipakai untuk menetapkan bagian-bagian mesin seperti roda gigi, sproket, puli, kopling, dan lain-lain, pada poros. Momen diteruskan dari poros ke naf atau dari naf ke poros.

Pasak pada umumnya dapat digolongkan beberapa macam sebagai berikut :

Menurut letaknya pada poros dapat dibedakan antara pasak pelana, pasak rata, pasak benam, dan pasak singgung, pasak tembereng dan pasak jarum, yang umumnya berpenampang segi empat.

Pasak yang arah memanjang dapat berbentuk prismatis atau berbentuk tirus. Pasak benam prismatis ada yang khusus dipakai sebagai pasak luncur. Pasak luncur memungkinkan pergeseran aksial roda gigi, dan lain-lain, pada porosnya, seperti pada seplain. Yang paling umum dipakai adalah pasak benam yang dapat meneruskan momen yang besar. Untuk momen dengan tumbukan, dapat dipakai pasak singgung.

### 2.5.1 Hal yang penting pada perencanaan pasak

Pasak benam mempunyai bentuk penampang segi empat dimana terdapat bentuk primatis dan tirus yang kadang-kadang diberi kepala untuk memudahkan pencabutannya. Kemiringan pada tirus umumnya sebesar 1/100, dan pengerjaan harus hati-hati agar naf tidak menjadi eksentrik. Pada pasak yang rata, sisi sampingnya harus pas dengan alur pasak agar pasak tidak menjadi goyah dan rusak. Ukuran dan bentuk standar pasak dapat dilihat di tabel. Untuk pasak umumnya dipilih bahan yang mempunyai kekuatan tarik lebih dari 60 ( kg/ mm<sup>2</sup> ), lebih kuat dari porosnya. Namun terkadang sengaja dipilih bahan yang lemah untuk pasak, sehingga pasak akan lebih dahulu rusak dibandingkan poros atau nafnya. Hal ini disebabkan harga pasak yang murah serta mudah menggantinya.

Poros yang mengalami beban berupa puntiran murni atau gabungan puntiran dan lenturan, dimana diameter poros dan pasak serta alurnya akan ditentukan, jika momen rencana dari poros adalah T ( kg.mm ), dan diameter poros adalah  $d_s$  ( mm ), maka gaya tangensial F ( Kg ) pada permukaan poros adalah :

$$F = \frac{T}{d_s/2} \dots\dots\dots(2.40)$$

Menurut lambang pasak yang umum digunakan berpenampang segi empat, maka gaya geser yang bekerja pada penampang mendatar  $b \times l$  ( mm<sup>2</sup> ) oleh gaya F ( kg ) dengan demikian tegangan geser :

$$\tau_k = \frac{F}{b \times l} \dots\dots\dots(2.41)$$

Dari tegangan geser yang diijinkan  $\tau_{ka}$  ( kg/mm<sup>2</sup> ), panjang pasak  $l_1$  ( mm ) yang dapat diperoleh

$$\tau_{ka} \geq \frac{F}{b \times l_1} \dots\dots\dots(2.42)$$

## 2.6 Roda Gigi

Banyak alat mekanikal yang banyak digunakan dalam mesin perkakas menggunakan roda gigi. Roda gigi banyak digunakan berpasangan atau di kombinasikan dalam mentransmisikan gerakan, menggubah arah gerakan, mempercepat atau memperlambat kecepatan dan mentransmisikan tenaga ke bagian ke bagian mesin yang lainnya. Transmisi mobil dan diferensial adalah contoh umum dimana roda gigi mentransmisikan arah pergerakan, kecepatan dan tenaga dari mesin menuju roda.

Kelebihan roda gigi di bandingkan alat transmisi lainnya:

1. Sistem transmisinya lebih ringkas, putaran lebih tinggi dan daya yang lebih besar.
2. Sistem yang kompak sehingga konstruksinya sederhana.
3. Kemampuan menerima beban yang lebih tinggi
4. Effisiensi pemindahan daya yang tinggi karena faktor terjadinya slip sangat kecil
5. Kecepatan transmisi roda gigidapat ditentukan sehingga dapat digunakan dengan pengukuran yang kecil dan daya yang besar.

### 2.6.1 Klasifikasi Roda gigi.

Roda gigi diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Menurut letak poros
2. Menurut arah putaran
3. Menurut bentuk jalur gigi.

### 2.6.2 Menurut Letak poros

Menurut Letak porosnya maka roda gigi di klasifikasikan seperti table berikut :

Letak Poros	Roda Gigi	Keterangan
Roda gigi dengan poros sejajar	Roda Gigi lurus	<i>Klasifikasi atas dasar alur gigi</i>
	Roda Gigi miring	
	Roda Gigi miring ganda	
Roda gigi dengan poros berpotongan	Roda Gigi Luar	<i>Arah putaran berlawanan</i>
	Roda Gigi dalam dan Pinion	<i>Arah putaran sama</i>
	Batang Gigi dan Pinion	<i>Gerakan lurus dan berputar</i>

	Roda Gigi kerucut miring ganda	
	Roda Gigi permukaan dengan poros berpotongan	<i>Roda Gigi dengan poros berpotongan bentuk istimewa</i>
Roda gigi dengan poros silang	Roda Gigi miring silang Batang Gigi miring silang	<i>Kontak Gigi</i> <i>Gerak lurus dan berputar</i>
	Roda Gigi cacing silindris Roda Gigi cacing selubung ganda Roda Gigi cacing samping ★ Roda Gigi hiperboloid Roda Gigi permukaan silang	

### 2.6.3 Menurut arah putaran

Menurut arah putarannya, roda gigi dapat dibedakan atas

1. Roda gigi luar; arah putaran berlawanan
2. Roda gigi dalam dan pinion; arah putaran sama

### 2.6.4 Menurut jalur gigi

Berdasarkan bentuk jalur giginya, roda gigi dapat dibedakan atas:

Roda gigi Lurus, Roda gigi rack dan pinion, Roda gigi permukaan, Roda gigi Miring, Roda gigi Kerucut, Roda gigi cacing.

### 2.6.5 Nama-nama bagian Roda gigi

Berikut beberapa istilah yang di perlu diketahui dalam perancangan roda gigi yang di perlu diketahui yaitu:

1. Lingkaran pitch (pitch circle)

Lingkaran khayal yang menggelinding tanpa terjadinya slip. Lingkaran ini merupakan dasar untuk memberi ukuran – ukuran gigi seperti tebal gigi, jarak antara gigi dan lain-lain.

2. Pinion

Roda gigi yang lebih kecil dalam suatu pasangan roda gigi.

3. Diameter lingkaran pitch (pitch circle diameter)

Merupakan diameter dari lingkaran pitch

4. Diameter Pitch

Jumlah gigi persatuan pitch diameter

5. Jarak bagi lingkaran (circular pitch)

Jarak sepanjang lingkaran pitch antara profil dua gigi yang berdekatan atau keliling lingkaran pitch di bagi dengan jumlah gigi, secara formula dapat ditulis :

$$t = \frac{\pi d_{b1}}{z} \dots \dots \dots (2.43)$$

6. Modul (module)

Perbandingan antara diameter lingkaran pitch dengan jumlah gigi.

$$m = \frac{d_{b1}}{z} \dots \dots \dots (2.44)$$

7. Addendum (addendum)  
Jarak antara lingkaran kepala dengan lingkaran pitch diukur dalam arah radial.
8. Dedendum  
Jarak antara lingkaran pitch dengan lingkaran kaki yang diukur arah radial.
9. Working Depth  
Jumlah jari-jari lingkaran kepala dari sepasang roda gigi berkontak dikurangi jarak poros.
10. Clearance Circle  
Lingkaran yang bersinggungan dengan lingkaran addendum dari roda gigi berpasangan
11. Pitch point  
Titik singgung dari lingkaran pitch dari sepasang roda gigi yang berkontak juga merupakan yang merupakan titik potong antara garis kerja dan garis pusat.
12. Operation pitch circle  
Lingkaran – lingkaran singgung dari sepasang roda gigi yang kontak dan jarak porosnya menyimpang dari jarak poros yang teoritis benar.
13. Addendum circle  
Lingkaran kepala yaitu lingkaran yang membatasi gigi.
14. Dedendum circle  
Lingkaran kaki gigi yaitu lingkaran yang membatasi kaki gigi.
15. Width of space  
Tebal ruang antara roda gigi diukur sepanjang lingkaran pitch.
16. Sudut tekan (pressure angle)

Sudut yang dibentuk dari garis normal dengan kemiringan sisi kepala gigi.

17. Kedalaman total (total depth)

Jumlah dari addendum dan dedendum.

18. Tebal gigi (tooth thickness)

Lebar gigi diukur sepanjang lingkaran pitch.

19. Lebar ruang (tooth space)

Ukuran ruang antara dua gigi sepanjang lingkaran pitch.

20. Backlash

Selisih antara tebal gigi dan lebar ruang.

21. Sisi kepala (face of tooth)

Permukaan gigi dibawah lingkaran pitch.

22. Sisi kaki (flank of tooth)

Permukaan gigi dibawah lingkaran pitch.

23. Puncak Kepala (top land)

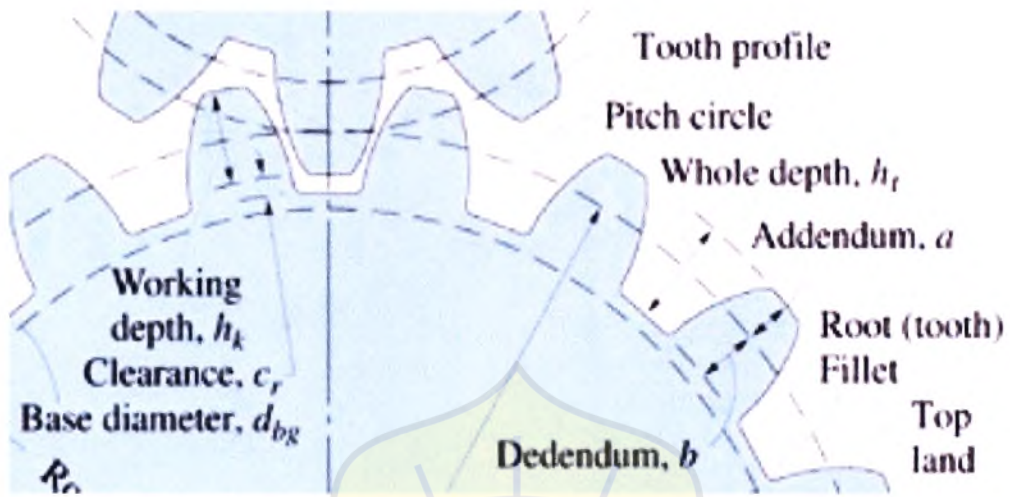
Permukaan di puncak gigi.

24. Lebar gigi (face width)

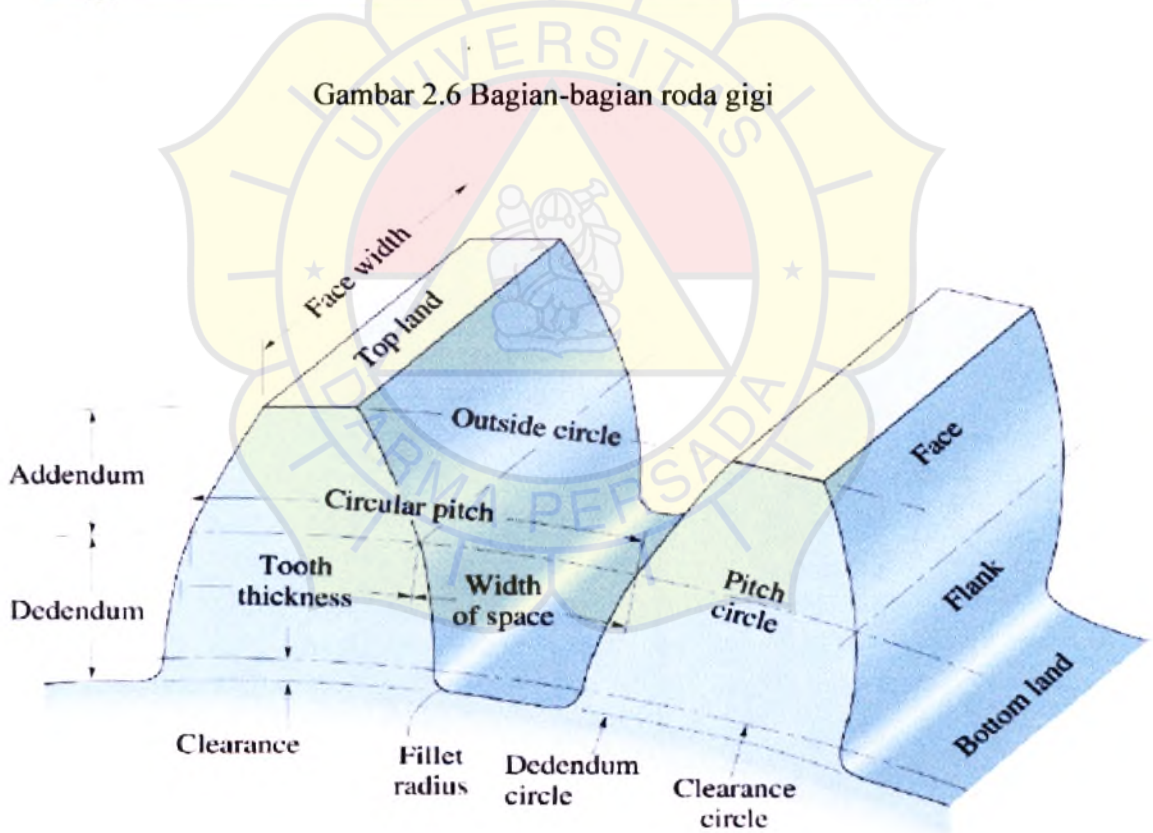
Kedalaman gigi diukur sejajar sumbunya.



Gambar bagian-bagian dari roda gigi



Gambar 2.6 Bagian-bagian roda gigi



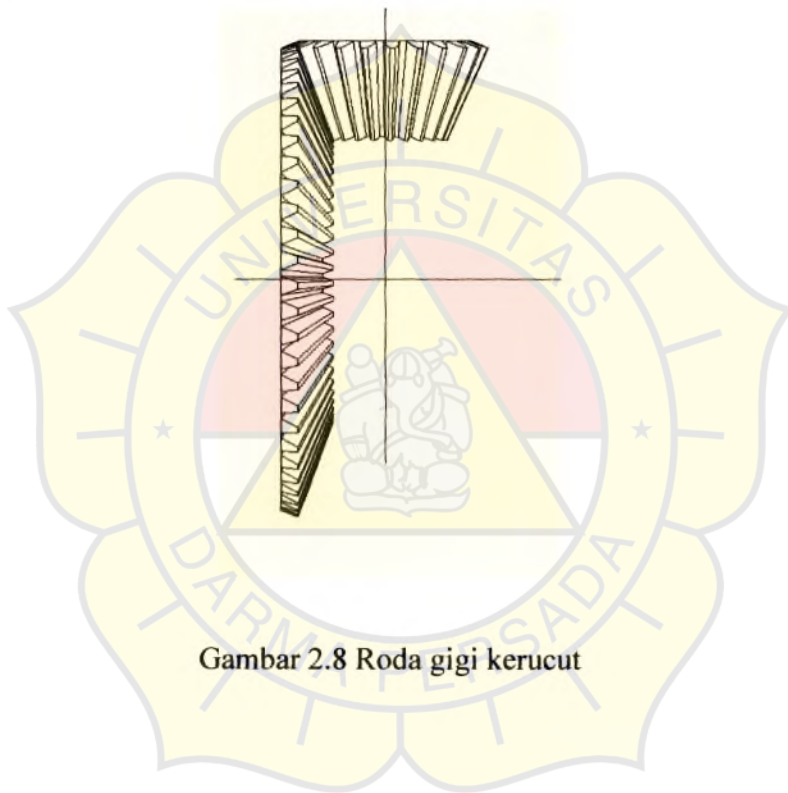
Gambar 2.7 Bagian-bagian roda gigi secara 3D

Roda gigi yang di pakai dalam disain alat adalah roda gigi kerucut ( Bevel gear )

Roda gigi kerucut dipakai untuk transmisi putaran tinggi, daya besar, dan bunyi kecil antara dua poros sejajar.

### 2.6.6 Roda gigi Kerucut

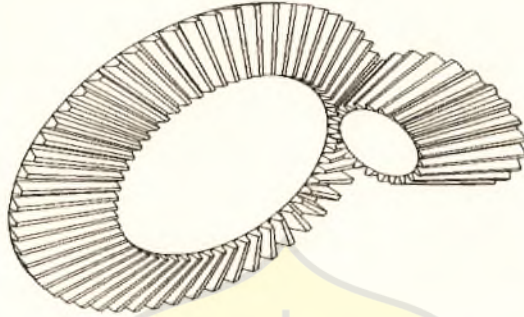
Roda gigi kerucut (gambar 3.1) digunakan untuk mentransmisikan 2 poros saling berpotongan.



Gambar 2.8 Roda gigi kerucut

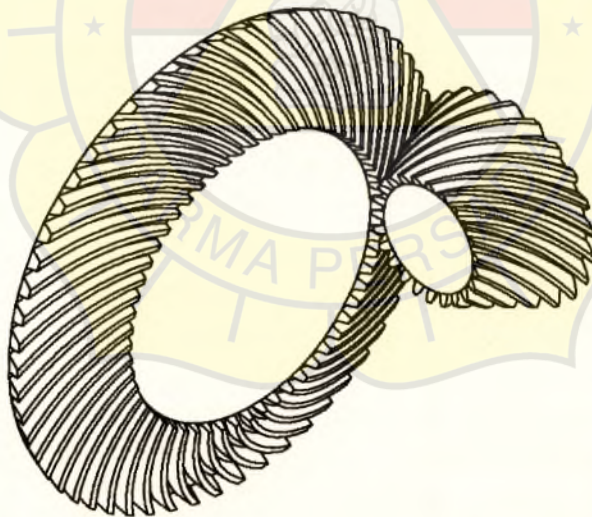
Jenis-Jenis roda gigi kerucut antara lain:

1. Roda gigi kerucut lurus



Gambar 2.9 Roda gigi kerucut lurus

2. Roda gigi kerucut miring



Gambar 2.10 Roda gigi kerucut miring

3. Roda gigi kerucut spiral



Gambar 2.11 Roda gigi kerucut spiral

4. Roda gigi kerucut hypoid ★

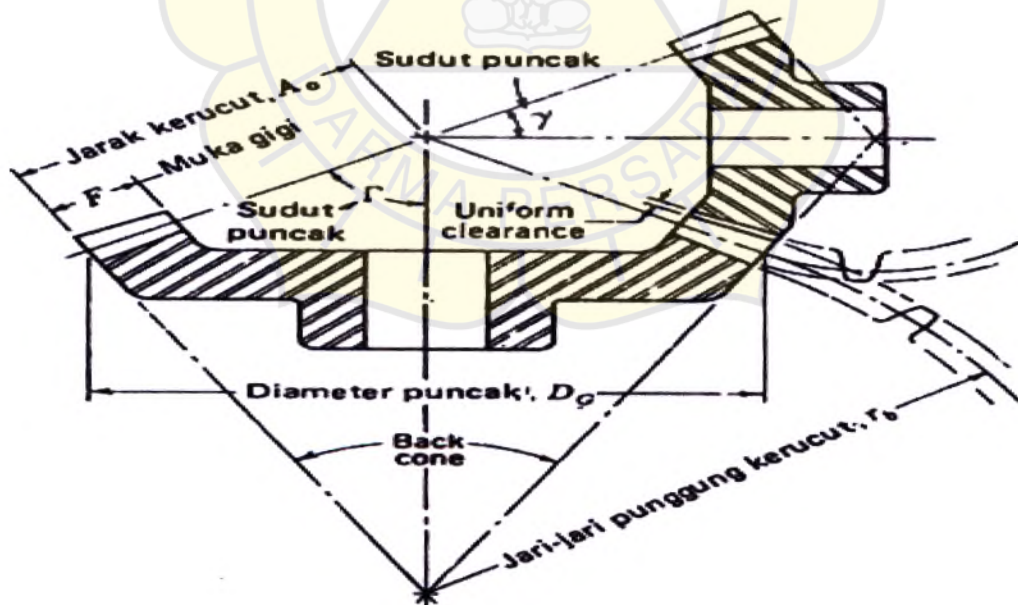


Gambar 2.12 Roda gigi kerucur hypoid

Roda gigi kerucut lurus adalah jenis roda gigi kerucut yang mudah dan sederhana pembuatannya dan memberikan hasil yang baik dalam pemakaiannya bila dipasangkan secara tepat dan teliti. Sama halnya dengan roda gigi lurus, roda gigi ini menjadi bising pada harga kecepatan garis puncak yang tinggi.

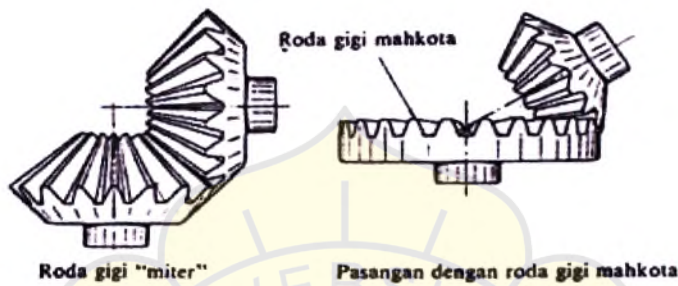
### 2.6.7 Profil Roda Gigi Kerucut Lurus

Sepasang roda gigi kerucut yang saling berkait dapat diwakili oleh dua bidang kerucut dengan titik puncak yang berhimpit dan saling menggelinding tanpa slip. Kedua bidang kerucut ini disebut “kerucut jarak bagi”. Besarnya sudut puncak kerucut merupakan ukuran bagi putaran masing-masing porosnya. Roda gigi kerucut yang alur giginya lurus dan menuju ke puncak kerucut dinamakan “roda gigi kerucut lurus”. Keterangan lebih lanjutnya dapat dilihat pada



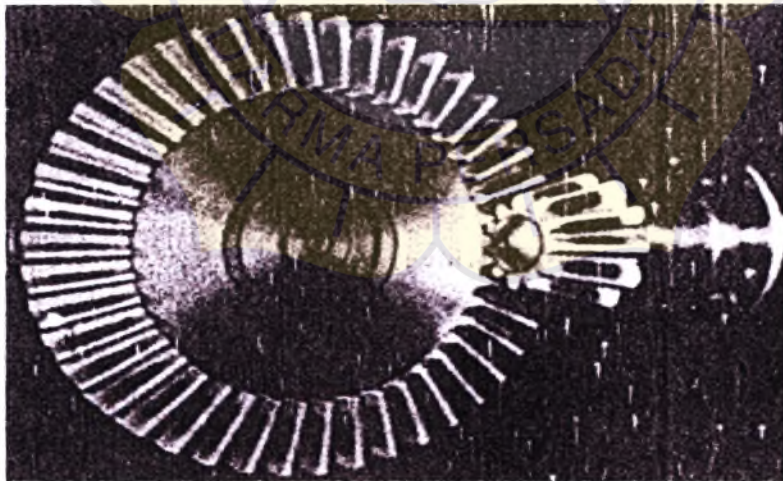
Gambar 2.13 Bagian-bagian roda gigi kerucut

Sumbu poros pada roda gigi kerucut biasanya berpotongan dengan sudut  $90^\circ$ . Bentuk khusus dari roda gigi kerucut dapat berupa “roda gigi miter” yang mempunyai sudut kerucut jarak bagi sebesar  $45^\circ$  dan roda gigi mahkota dengan sudut kerucut jarak bagi sebesar  $90^\circ$ . Dimana diperlihatkan pada gambar :



Gambar 2.14 Roda gigi “miter” & Roda gigi Mahkota

Berikut ini adalah gambar roda gigi dan pinyon kerucut lurus.



Gambar 2.15 Roda Gigi Dan Pinyon Kerucut Lurus

Gigi lurus standar dari roda gigi kerucut dipotong dengan menggunakan sudut tekan  $20^\circ$ , addendum dan dedendum yang tidak sama, dan kedalaman gigi yang penuh. Hal ini menambah perbandingan kontak, menghindari kurang potong, dan menambah kekuatan dari pinyon.

Pada suatu pemasangan roda gigi kerucut yang khas yaitu satu diantara luar dari bantalan. Ini berarti bahwa lendutan poros bisa lebih nyata dan mempunyai pengaruh yang lebih besar dari pada persinggungan gigi tersebut. Kesulitan yang timbul dalam memperkirakan tegangan pada gigi roda gigi kerucut adalah bahwa gigi ini berbentuk tirus. Jadi untuk mendapatkan persinggungan garis yang sempurna melalui pusat kerucut gigi tersebut haruslah melentur yang lebih besar dibandingkan pada ujung yang kecil. Untuk mendapatkan kondisi ini memerlukan adanya keseimbangan yang lebih besar pada ujung yang besar. Karena variasi beban di sepanjang muka gigi ini, maka dianjurkan untuk lebar muka sedikit pendek.

$$d_1 = 2.R \sin \delta = z_v.m \dots \dots \dots (2.45)$$

$$d_1 = 2.R \tan \delta = z_v.m \dots \dots \dots (2.46)$$

$$\frac{\sin \delta}{\tan \delta} = \frac{z}{z_v} \dots \dots \dots (2.47)$$

$$z_v = \frac{z}{\cos \delta} \dots \dots \dots (2.48)$$

Perbandingan putaran  $i$  dari roda gigi kerucut maupun dari roda gigi lurus khayal adalah

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{R \sin \delta_2}{R \sin \delta_1} \dots \dots \dots (2.49)$$

Jika sudut poros dinyatakan dengan  $\Sigma = \delta_1 + \delta_2$ , maka:

$$\frac{z_2}{z_1} = \frac{\sin \delta_2}{\sin(\epsilon - \delta_2)} = \frac{\tan \delta_2}{\sin \epsilon - (\cos \epsilon \tan \delta_2)} \dots \dots \dots (2.50)$$

$$\tan \delta_2 = \frac{\sin \epsilon}{z_1/z_2 + \cos \epsilon} \dots \dots \dots (2.51)$$

Demikian pula :

$$\tan \delta_1 = \frac{\sin \epsilon}{z_2/z_1 + \cos \epsilon} \dots \dots \dots (2.52)$$

Dalam hal  $\Sigma = 90^\circ$ ,

$$\tan \delta_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{i} ; \tan \delta_2 = \frac{z_2}{z_1}$$

Proporsi Roda Gigi Kerucut

Diameter lingkaran jarak bagi :

- $d_1 = m Z_1$
- $d_2 = m Z_2$

Sisi kerucut :

$$R = \frac{d_1}{2 \sin \delta_1} = \frac{d_2}{2 \sin \delta_2} \dots \dots \dots (2.53)$$



Gigi tirus, yang lebih sering dipakai, kepala gigi pinyon dibuat lebih tinggi dari pada kepala roda gigi besar. Maka perubahan kepala yang diperlukan dapat dilakukan dengan koefisien masing-masing sebagai berikut :

$$x_1 = 0.46 \left[ 1 - \left( \frac{z_1}{z_2} \right)^2 \right], \text{dimana } x_2 = -x_1 \dots \dots \dots (2.54)$$

Karena itu, jika  $ck \geq 0,188 m$  adalah kelonggaran puncak, maka untuk pinyon :

tinggi kepala  $h_{k1} = ( 1 + x_1 ) m$

tinggi kaki  $h_{f1} = ( 1 - x_1 ) m + ck$

Demikian pula dalam hal roda gigi besar :

tinggi kepala  $h_{k2} = ( 1 + x_1 ) m$

tinggi kaki  $h_{f2} = ( 1 - x_1 ) m + ck$

Dengan demikian, tinggi gigi adalah :

$$H = 2m + ck$$

Sudut kepala pinyon adalah  $\theta_{k1} = \tan^{-1} \left( \frac{h_{k1}}{R} \right) \dots \dots \dots (2.55)$

dan sudut kaki pinyon adalah  $\theta_{f1} = \tan^{-1} \left( \frac{h_{f1}}{R} \right) \dots \dots \dots (2.56)$

Sudut kepala roda gigi besar  $\theta_{k2} = \tan^{-1} \left( \frac{h_{k2}}{R} \right) \dots\dots\dots(2.57)$

Sudut kepala roda gigi besar  $\theta_{f2} = \tan^{-1} \left( \frac{h_{f2}}{R} \right) \dots\dots\dots(2.58)$

maka sudut kerucut kepala adalah :

$\delta_{k1} = \delta_1 + \theta_{k1}, \quad \delta_{k2} = \delta_2 + \theta_{k2}$

Demikian pula sudut kerucut kaki adalah :

$\delta_{r1} = \delta_1 - \theta_{r1}, \quad \delta_{r2} = \delta_2 - \theta_{r2}$

Besarnya masing-masing diameter lingkaran kepala, yang diperlukan dalam pembuatan, adalah :

$d_{k1} = d_1 + 2h_{k1} \cos \delta_1 \dots\dots\dots(2.59)$

$d_{k2} = d_2 + 2h_{k2} \cos \delta_2 \dots\dots\dots(2.60)$

dan besarnya masing-masing diameter lingkaran kaki adalah :

$x_1 = (d_2/2) - h_{k1} \sin \delta_1 ; \quad x_2 = (d_1/2) - h_{k2} \sin \delta_2 \dots\dots\dots(2.61)$

Jika sudut tekanan adalah  $\alpha_0$  , dan kelonggaranbelakang nol, maka tebal gigi ( tebal lingkaran ) adalah :

$s_1 = ( 0,5 \pi + 2 x_1 \tan \alpha_0 ) m \dots\dots\dots(2.62)$

$$s_2 = (0,5 \pi + 2 x_1 \tan \alpha_0) m \dots \dots \dots (2.63)$$

$$s_1 + s_2 = \pi m \dots \dots \dots (2.63)$$

Lebar sisi gigi b sebaiknya tidak lebih dari 1/3 sisi kerucut, atau kurang dari 10 kali modul pada ujung luar.

Beban lentur yang diizinkan dibagi dengan lebar sisi  $F_b$  ( Kg/mm ), untuk gigi dengan penampang yg merupakan harga rata-rata dari penampang ujung luar dan ujung dalam, adalah :

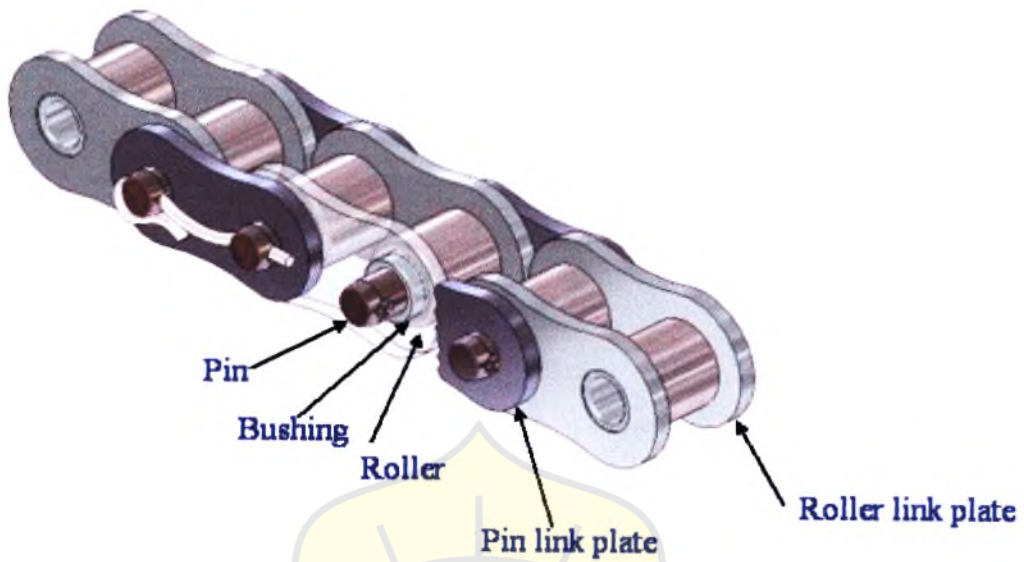
$$F_{b1} = \sigma_{a1} x m x K_v x J_1 / (K_0 x K_v x K_m) \dots \dots \dots (2.64)$$

$$F_{b1} = \sigma_{a2} x m x K_v x J_2 / (K_0 x K_v x K_m) \dots \dots \dots (2.65)$$

Dimana  $\sigma_{a1}$  dan  $\sigma_{a2}$  ( kg / mm<sup>2</sup> ) adalah tegangan lentur yang diizinkan, seperti dalam tabel

**2.7 Rantai peluru ( Roller Chain )**

Rantai peluru adalah rantai yang dapat digunakan langsung dan dengan cara yang efisien untuk mentransmisikan daya antara poros poros yang paralel.



Gambar 2.16 Rantai Peluru (Roller Chain)

Rol akan memutar bushing yang terpasang ketat pada bagian dalam pelat penghubung , pin akan mencegah plat penghubung bagian luar berputar dengan pemasangan yang sangat ketat. Rantai akan mengait pada gigi sproket dan meneruskan daya tanpa slip dan menjamin perbandingan putaran yang tetap.

Keuntungan memakai rantai rol :

- Mampu meneruskan daya yang besar karena kekuatannya yang besar
- Tidak memerlukan tegangan awal
- Keausan kecil pada bantalan
- Pemasangannya mudah dan harganya murah
- Variasi ukuran banyak sehingga dapat dipakai untuk daya besar maupun kecil

- Tidak menimbulkan bahaya kebakaran
- Tidak terpengaruh temperatur tinggi karena adanya oli dan grease
- Dipakai bila diperlukan transmisi positif dan kecepatan sampai 60 m/min

Kerugian memakai rantai rol :

Variasi kecepatan yang tidak dapat dihindari karena lintasan busur pada sproket yang mengait mata rantai.

Suara dan getaran karena tumbukan antara rantai dan dasar kaki gigi sproket

Perpanjangan rantai karena keausan pena dan bushing yang diakibatkan oleh gesekan dengan sproket.

Disain rantai rol :

Bahan pena, bushing dan rol dipergunakan baja karbon atau baja khrom dengan pengerasan permukaan.

Pelumasan adalah hal yang sangat penting untuk desain roller chain.

Untuk horsepower tinggi dapat digunakan lebih dari satu lapis rantai (Multistrand)

Umumnya rantai memiliki penutup dari logam untuk melindungi dari debu dan untuk memungkinkan pelumasan

Perhitungan :

$$D = \frac{P}{\sin\left(\frac{180^\circ}{n}\right)}$$

$$R = \frac{D}{2}$$

Pitch diameter

D= pitch diameter (inch)

R= jari-jari pitch (inch)

p= pitch rantai (inch)

n= jumlah gigi sproket

Panjang rantai

$$L_p = \frac{z_1 + z_2}{2} + 2C_p + \frac{[(z_2 - z_1) / 6,28]^2}{C_p} \dots\dots\dots(2.64)$$

L<sub>p</sub>= Panjang Rantai (Jumlah mata rantai)

Z<sub>1</sub>=Jumlah gigi sproket kecil

Z<sub>2</sub>=Jumlah gigi sproket besar

C = jarak sumbu poros dinyatakan dalam jumlah mata rantai

Kecepatan Rantai (v)

$$v = \frac{P \times z_1 \times n_1}{1000 \times 60} \dots\dots\dots(2.65)$$

P =Jarak pitch rantai (mm)

Z<sub>1</sub>= jumlah gigi sproket kecil

N<sub>1</sub>= putaran sproket kecil

## 2.8 Bantalan ( Bearing )

Pada elemen mesin yang berputar diperlukan media yang menghubungkan antara elemen tersebut dengan bodi yang diam, dengan media ini tentunya diharapkan daya yang ditransferkan dari input akan dapat dipindahkan atau disambungkan ke elemen mesin yang lain dengan loses energi akibat gesekan yang seminimal mungkin, Media ini adalah bantalan (bearing).

Bantalan merupakan elemen mesin yang berfungsi sebagai penumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman dan panjang umur. Dalam hal ini, bantalan memegang peranan penting dimana apabila bantalan tidak berfungsi dengan baik, maka akan mempengaruhi prestasi kerja dari sistim itu sendiri.

### 2.8.1 Klasifikasi Bantalan

Bantalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Berdasarkan gerakan bantalan terhadap poros
  - Bantalan luncur



Gambar 2.17 Bearing peluru

Pada bantalan ini terjadi gesekan luncur antara poros dan bantalan karena permukaan poros ditumpu oleh permukaan bantalan dengan perantara lapisan pelumas. Bantalan luncur mampu menumpu poros berputaran tinggi dengan beban yang besar. Dengan konstruksi yang sederhana maka bantalan ini mudah untuk dibongkar pasang. Akibat adanya gesekan pada bantalan dengan poros maka akan memerlukan momen awal yang besar untuk memutar poros. Pada bantalan luncur terdapat pelumas yang berfungsi sebagai peredam tumbukan dan getaran sehingga akan meminimalisasi suara yang ditimbulkannya. Secara umum bantalan luncur dapat dibagi atas :

1. Bantalan radial, yang dapat berbentuk silinder, belahan, elips dan lain-lain.
2. Bantalan aksial, yang berbentuk engsel, kerah dan lain-lain.
3. Bantalan khusus yang berbentuk bola.



- Bantalan gelinding



Gambar 2.18 Bearing roller

Pada bantalan gelinding terjadi gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan yang diam melalui elemen gelinding seperti bola ( peluru ), rol atau rol jarum atau rol bulat. Bantalan gelinding lebih cocok untuk beban kecil. Putaran pada bantalan gelinding dibatasi oleh gaya sentrifugal yang timbul pada elemen gelinding tersebut. Apabila ditinjau dari segi biaya, bantalan gelinding lebih mahal dari bantalan luncur.

### 2.8.2 Berdasarkan arah beban terhadap poros

- Bantalan radial tegak lurus

Arah beban yang ditumpu tegak lurus terhadap sumbu poros.

- Bantalan radial sejajar

Arah beban bantalan sejajar dengan sumbu poros.

- Bantalan gelinding khusus

Bantalan ini menumpu beban yang arahnya sejajar dan tegak lurus terhadap sumbu poros.

### 2.8.3 Pertimbangan Dalam Pemilihan Bantalan

Dalam pemilihan bantalan banyak hal yang harus dipertimbangkan seperti :

- Jenis pembebanan yang diterima oleh bantalan (aksial atau radial )
- Beban maksimum yang mampu diterima oleh bantalan
- Kecocokan antara dimensi poros yang dengan bantalan sekaligus dengan keseluruhan sistim yang telah direncanakan.
- Keakuratan pada kecepatan tinggi
- Kemampuan terhadap gesekan
- Umur bantalan
- Harga
- Mudah tidaknya dalam pemasangan
- Perawatan.

Meskipun bantalan gelinding menguntungkan, Banyak konsumen memilih bantalan luncur dalam hal tertentu, contohnya bila kebisingan bantalan mengganggu, pada kejutan yang kuat dalam putaran bebas.

Pembacaan nomor nominal pada bantalan gelinding, di dalam praktek, bantalan gelinding standart dipilih dari katalog bantalan.

Ukuran utama bantalan adalah :

1. Diameter lubang
2. Diameter luar
3. Lebar
4. Lengkungan sudut

Nomor nominal bantalan gelinding terdiri dari nomor dasar dan nomor pelengkap.

Nomor dasar yang ada merupakan lambang jenis, lambang ukuran(lambang lebar, diameter luar). Nomor diameter lubang dan lambang sudut kontak penulisannya bervariasi tergantung produsen bearing yang ada.

Bagian Nomor nominal

A B C D

- A = Menyatakan jenis dari bantalan yang ada.

Jika A berharga :

- a) 0 = Maka hal tersebut menunjukkan jenis Angular contact ball bearing, double row
- b) 1 = Maka hal tersebut menunjukkan jenis Self-aligning ball bearing.
- c) 2 = Maka hal tersebut menunjukkan jenis spherical roller bearings dan spherical roller thrust bearings
- d) 3 = Maka hal tersebut menunjukkan jenis taper roller bearings.
- e) 4 = Maka hal tersebut menunjukkan jenis Deep groove ball bearings, double row

- f) 5 = Maka hal tersebut menunjukkan jenis thrust ball bearings.
- g) 6 = Maka hal tersebut menunjukkan jenis Deep groove ball bearings, single row.
- h) 7 = Maka hal tersebut menunjukkan jenis Angular contact ball bearing, single row.
- i) 8 = Maka hal tersebut menunjukkan jenis cylindrical roller thrust Bearing.
- B = Menyatakan lambang diameter luar
  - a) Jika B berharga 0 dan 1 menyatakan penggunaan untuk beban yang sangat ringan.
  - b) Jika B berharga 2 menyatakan penggunaan untuk beban yang ringan.
  - c) Jika B berharga 3 menyatakan penggunaan untuk beban yang sedang.
  - d) Jika B berharga 4 menyatakan penggunaan untuk beban yang berat.
- C dan D menyatakan lambang diameter dalam

Untuk bearing yang berdiameter 20 - 500 mm, kalikanlah 2 angka lambang tersebut untuk mendapatkan diameter lubang sesungguhnya dalam mm. Nomor tersebut biasanya bertingkat dengan kenaikan 5 mm tiap tingkatnya

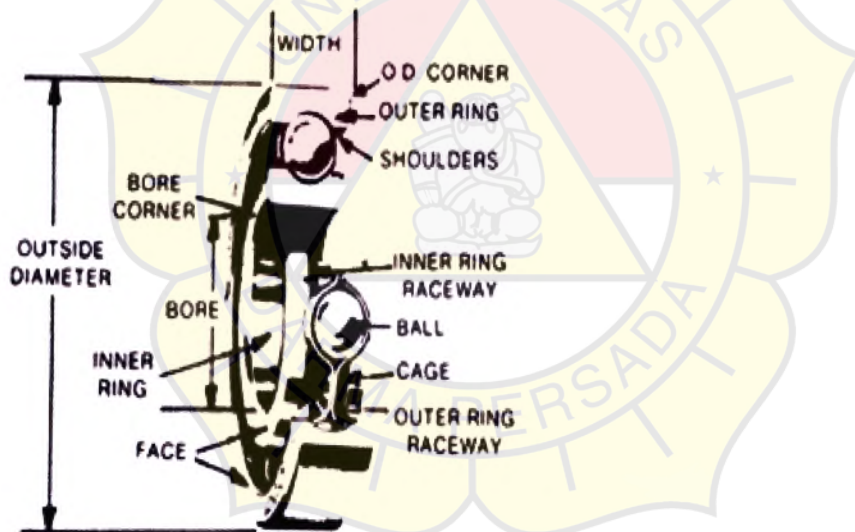
Proses pemasangan bearing :

1. Proses balancing. Pemasangan bearing pada komponen mesin, komponen tersebut pertama-tama harus benar-benar balance agar bearing dapat bertahan dengan baik.
2. Alignment (pengaturan sumbu poros pada mesin harus benar-benar sejajar).

3. Proses pemberian beban. Pemberian beban ini harus sesuai dengan jenis bearing yang digunakan apakah itu beban radial atau beban aksial.
4. Pengaturan posisi bearing pada poros.
5. Clearance bearing. Metode pemasangan dan peralatan yang digunakan.
6. Toleransi dan ketepatan yang diperlukan.

Pada saat pemasangan bearing pada poros, maka toleransi poros pada proses pembubutan harus diperhatikan karena hal tersebut mempengaruhi keadaan bearing.

#### 2.8.4 Geometri Ball Bearing



Gambar 2.19 Bagian-bagian Bearing

#### Beban ekuivalen

Untuk menghitung beban ekuivalen digunakan

$$P = X V F_r + F_a \dots \dots \dots (2.66)$$

Dimana:

P	: beban ekuivalen (lb)	1,0 untuk ring dalam yang berotasi
Fr	: gaya radial (lb)	1,2 untuk riang luar yang berotasi
Fa	: gaya aksial (lb)	X : factor beban radial
V	: factor rotasi	Y : factor beban aksial

### 2.8.5 Umur bearing

Untuk mencari umur bearing digunakan persamaan :

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^b 10^6 \dots\dots\dots(2.67)$$

- L<sub>10</sub> : Umur bearing dalam putaran
- C : basic load rating
- b : 3,0 untuk ball bearing

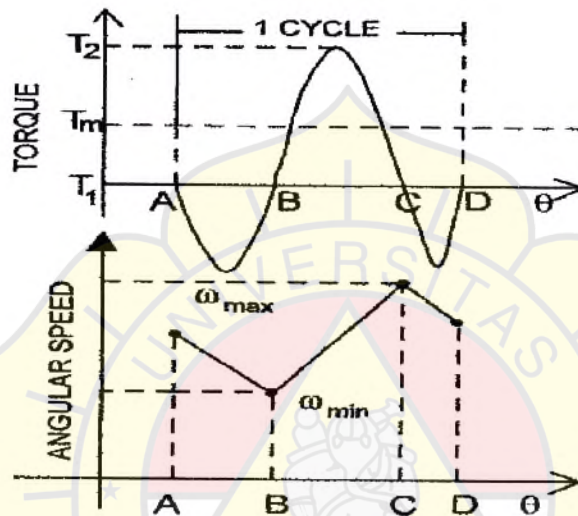
### 2.9 Roda Gila ( Fly wheel )

Roda gila adalah perangkat penyimpanan energi inersia. Menyerap mekanis energi dan berfungsi sebagai reservoir, menyimpan energi selama periode Ketika pasokan energi adalah lebih dari persyaratan dan rilis itu selama periode ketika kebutuhan energi adalah lebih Supply.

#### 2.9.1 Flywheels Fungsi Dan Operasi

Fungsi utama dari roda terbang adalah memperlancar keluar variasi kecepatan poros disebabkan oleh fluktuasi torsi. Jika sumber mengemudi torsi atau beban torsi berfluktuasi di alam, maka roda gila adalah biasanya disebut untuk. Banyak mesin

memiliki beban pola-pola yang menyebabkan torsi waktu fungsi bervariasi selama siklus. Pembakaran mesin dengan satu atau dua silinder adalah contoh. Piston kompresor, menekan punch, rock crushers dll adalah sistem lain yang memiliki roda terbang. Roda gila menyerap energi mekanis dengan meningkatkan dengan sudut kecepatan dan memberikan energi yang tersimpan bintang kecepatan.



Gambar 2.20 Simpangan Kecepatan putar dan Torsi

## 2.9.2 Pendekatan desain

Ada dua tahap desain roda gila. Pertama, jumlah energi yang diperlukan untuk tingkat diinginkan

smoothing harus ditemukan dan momen inersia (massa) diperlukan untuk menyerap energi yang ditentukan. Kemudian roda gila geometri harus didefinisikan yang melayani yang diperlukan momen inersia dalam paket berukuran cukup dan aman terhadap kegagalan kecepatan dirancang operasi.

### 2.9.2.1 Parameter desain

pengoperasian perangkat Biasanya sudah diatur untuk nilai antara 0,01 untuk 0,05 untuk presisi mesin dan setinggi 0,20 untuk aplikasi seperti crusher palu mesin.

### 2.9.3 Persamaan Desain

Energi kinetik  $E_k$  dalam sistem berputar

$$E_k = \frac{1}{2} I (\omega^2) \dots \dots \dots (2.71)$$

Oleh karena itu perubahan energi kinetik dari sistem dapat diberikan sebagai,

$$E_k = \frac{1}{2} I_m (\omega_{maks}^2 - \omega_{min}^2) \dots \dots \dots (2.72)$$

$$E_k = E_2 - E_1 \dots \dots \dots (2.73)$$

$$\omega_{rata-rata} = \frac{(\omega_{maks} - \omega_{min})}{2} \dots \dots \dots (2.74)$$

$$E_k = \frac{1}{2} I_s (2\omega_{rata-rata}) (C_f \omega_{rata-rata}) \dots \dots \dots (2.78)$$

$$E_2 - E_1 = C_f I \omega^2 \dots \dots \dots (2.79)$$

$$I_s = \frac{E_k}{C_f \omega_{rata-rata}^2} \dots \dots \dots (2.80)$$

Dengan demikian momen inersia massa  $I_m$  membutuhkan di seluruh berputar sistem dalam rangka untuk memperoleh koefisien dipilih kecepatan fluktuasi ditentukan dengan menggunakan hubungan.

$$E_k = \frac{1}{2} I_s (2\omega_{rata-rata}) (C_f \omega_{rata-rata})$$

$$I_s = \frac{E_k}{C_f \omega_{rata-rata}^2}$$



Persamaan di atas dapat digunakan untuk memperoleh inersia roda gila yang sesuai  $I_m$  sesuai dengan energi dikenal mengubah  $E_k$  untuk nilai tertentu koefisien kecepatan fluktuasi  $C_f$

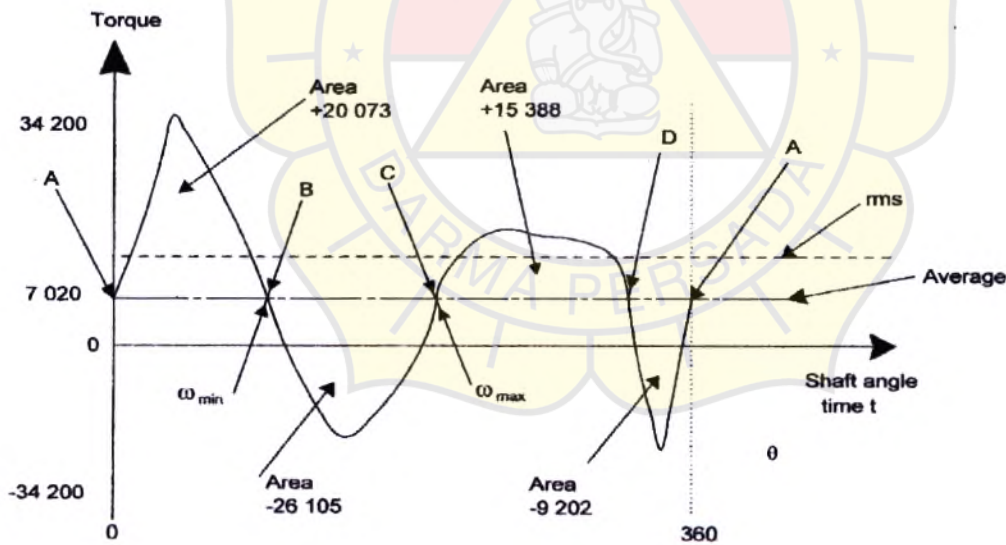
### 2.9.4 Torsi variasi dan energi

Perubahan yang diperlukan dalam energi kinetik  $E_k$  Diperoleh dari yang diketahui torsi waktu hubungan atau kurva dengan mengintegrasikan itu untuk satu siklus.

$$\int_{\theta @ \omega_{min}}^{\theta @ \omega_{maks}} (T_1 - T_{rata-rata}) d\theta = E_k \dots \dots \dots (2.81)$$

Komputasi energi kinetik yang  $E_k$  diperlukan digambarkan dalam contoh berikut

#### 2.9.4.1 Torsi hubungan waktu tanpa roda gila



Gambar 2.21 Grafik fluktuasi torsi roda gila terhadap kecepatan sudut

Khas torsi waktu hubungan misalnya meninjau mekanis Tekan tanpa terbang roda di ditunjukkan pada gambar. Dalam ketiadaan terbang roda surplus atau positif enregy adalah avalible awalnya dan intermedialty dan enery absorbtion atau energi negatif

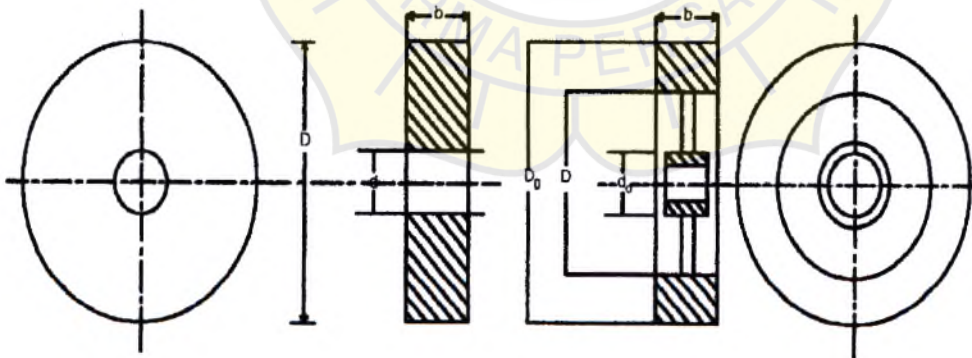
selama meninju dan melucuti operasi. Magitude besar kecepatan fluktuasi dapat dicatat. Untuk memperlancar keluar fluktuasi kecepatan terbang roda akan ditambahkan dan terbang roda energi yang diperlukan dihitung sebagai ilustrasi di bawah ini.

Accumulation of Energy pulses under a Torque- Time curve			
From	$\Delta \text{Area} = \Delta E$	Accumulated sum = E	Min & max
A to B	+20 073	+20 073	$\omega_{\min} @ B$
B to C	-26 105	-6 032	$\omega_{\max} @ C$
C to D	+15 388	+9 356	
D to A	-9 202	+154	
<b>Total Energy = <math>E @ \omega_{\min} - E @ \omega_{\max}</math></b> <b>= <math>(-6\ 032) - (+20\ 073) = 26\ 105\ \text{Nmm}^2</math></b>			

Tabel 2.1 fluktuasi energi dan kecepatan sudut dari gambar 2.23

#### 2.9.4.2 Torsi Waktu Hubungan dengan Flywheel

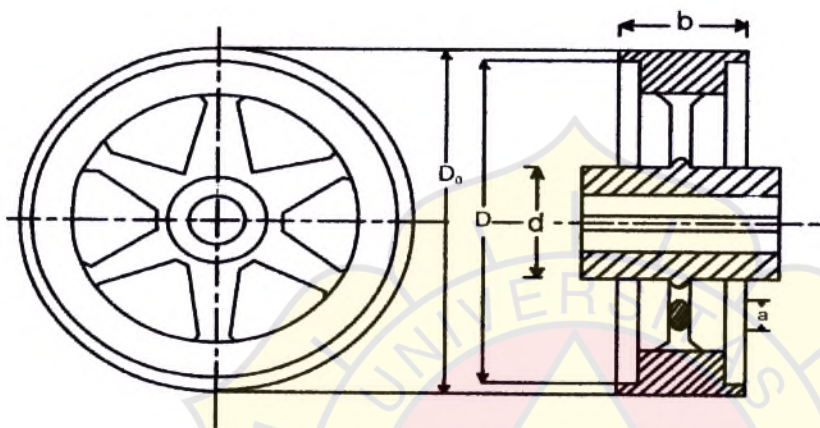
##### Geometri roda gila



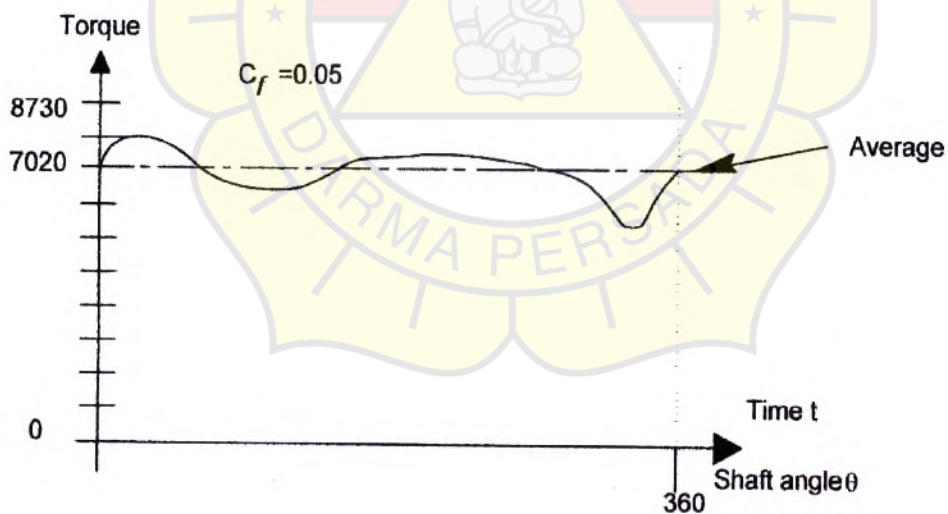
Gambar 2.22 geometri roda gila

Geometri roda gila mungkin yang sederhana seperti piringan silinder bahan padat, atau mungkin spoked konstruksi seperti konvensional roda dengan hub dan rim terhubung

oleh jari atau senjata kecil terbang roda adalah cakram padat berongga melingkar salib. Sebagai energi persyaratan dan ukuran roda gila meningkatkan geometri perubahan ke disk hub pusat dan rim perifer yang dihubungkan oleh jaring dan untuk berongga roda dengan beberapa senjata



Gambar 2.23 Bentuk roda gila



Gambar 2.24 Grafik hubungan torsi dengan kecepatan sudut

Pengaturan kedua adalah yang lebih efisien bahan terutama untuk flywheels besar, seperti berkonsentrasi sebagian besar massa di tepi yang adalah jari-jari terbesar.

Misal di jari-jari terbesar memberikan kontribusi lebih karena momen inersia massa sebanding dengan  $mr^2$ .

Untuk geometri cakram padat dengan dalam radius  $r_i$  dan keluar sisi jari-jari  $r_o$ ,momen inersia massa saya adalah

$$I_m = mk^2 = \frac{m}{2}(r_o^2 + r_i^2) \dots \dots \dots (2.82)$$

Massa disc melingkar berongga konstan ketebalan  $t$  adalah

$$m = \frac{w}{g} = \pi \frac{\gamma}{g} (r_o^2 - r_i^2) \dots \dots \dots (2.83)$$

Menyisir dua persamaan kita dapat menulis

$$I_m = \frac{\pi \gamma}{2 g} (r_o^4 - r_i^4) t \dots \dots \dots (2.84)$$

Di mana  $\gamma$  adalah material berat kepadatan

Persamaan lebih baik diselesaikan dengan proporsi geometris yaitu oleh asumsi dalam untuk rasio sisi jari-jari dan jari-jari untuk ketebalan rasio.

kecepatan diinginkan, misalnya seperti seorang Gubernur.

Akibatnya

$$F.O.S(N) = N_{os} = \frac{\omega}{\omega_{yield}} \dots \dots \dots (2.85)$$

Inersia roda gila (ukuran) yang diperlukan secara langsung tergantung pada diterima perubahan dalam kecepatan.

**2.9.2.2 Kecepatan fluktuasi**

Perubahan kecepatan poros selama siklus yang disebut kecepatan fluktuasi dan sama dengan

$$\omega_{maks} - \omega_{min} \dots\dots\dots(2.68)$$

$$FI = \omega_{maks} - \omega_{min} \dots\dots\dots(2.69)$$

Kita dapat menormalkan ini rasio tak berdimensi dengan membagi dengan kecepatan rata-rata atau nominal poros ( $\omega_{ave}$ ).

$$C_f = \frac{\omega_{maks} - \omega_{min}}{\omega} \dots\dots\dots(2.70)$$

Di mana  $\omega_{avg}$  adalah kecepatan sudut nominal

**2.9.2.3 Koefisien kecepatan fluktuasi**

Rasio di atas disebut sebagai koefisien kecepatan fluktuasi  $C_f$  dan didefinisikan sebagai

$$C_f = \frac{\omega_{maks} - \omega_{min}}{\omega}$$

Di mana  $\omega$  adalah kecepatan sudut nominal, dan  $\omega_{ave}$  rata-rata atau mean poros kecepatan yang diinginkan. Koefisien ini merupakan parameter desain harus dipilih oleh perancang. Yang lebih kecil ini nilai yang dipilih, yang lebih besar roda gila harus dan lebih biaya dan berat yang akan ditambahkan ke sistem. Namun kecil ini nilai lebih halus