

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Transmisi

Transmisi bertujuan untuk meneruskan daya dari sumber daya ke sumber daya lain, sehingga mesin pemakai daya tersebut bekerja menurut kebutuhan yang diinginkan seperti halnya turbin uap yang dihubungkan porosnya ke generator untuk menghasilkan daya. Pada perancangan suatu alat atau mesin harus mempunyai konsep perencanaan. Konsep perencanaan ini akan membahas dasar teori yang akan dijadikan pedoman dalam perancangan suatu alat. Pada perancangan sistem transmisi ini bagian elemen alat yang akan direncanakan atau diperhitungkan adalah:

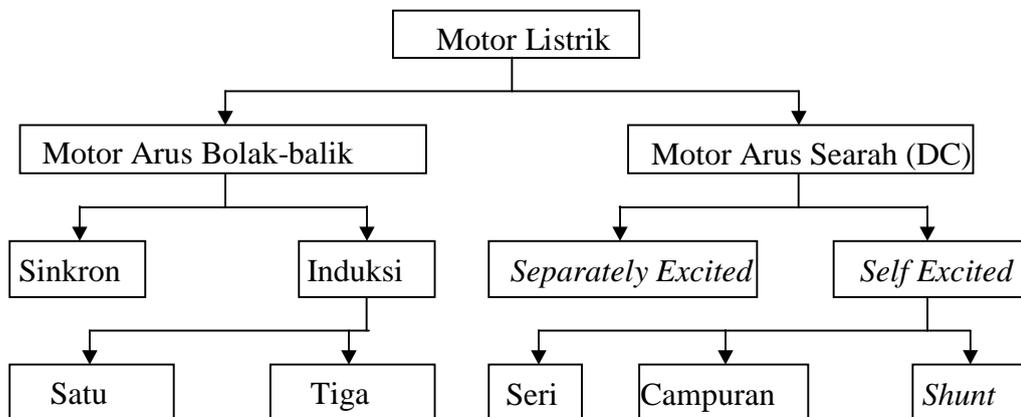
1. Motor Listrik
2. Daya Penggerak
3. Puli
4. Sabuk V
5. Poros

2.1.1. Motor listrik

Motor listrik adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Alat yang berfungsi sebaliknya, mengubah energi mekanik menjadi energi listrik disebut generator atau dinamo. Motor listrik dapat ditemukan pada peralatan rumah tangga seperti kipas angin, mesin cuci, pompa air dan penyedot debu. Pada motor listrik tenaga listrik diubah menjadi tenaga mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektro magnet. Sebagaimana kita ketahui bahwa : kutub-kutub dari magnet yang senama akan tolak-menolak dan kutub-kutub tidak senama, tarik-menarik. Maka kita dapat memperoleh gerakan jika kita menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang dapat berputar, dan magnet yang lain pada suatu kedudukan yang tetap.

Motor adalah suatu komponen utama dalam sebuah konstruksi permesinan yang berfungsi sebagai sumber daya mekanik untuk menggerakkan suatu poros. Komponen lain yang dihubungkan dengan poros diantaranya adalah puli atau roda gigi yang kemudian dihubungkan dengan sabuk atau rantai untuk menggerakkan komponen lain. Menurut jenisnya motor dibagi menjadi 2 yaitu, motor listrik dan motor bakar.

Berikut adalah skema klasifikasi motor listrik seperti pada Gambar 1 :



Gambar 1. Klasifikasi motor listrik

(Sumber: Agus Purnama, 2013)

2.1.2. Daya Penggerak

Secara umum daya diartikan sebagai suatu kemampuan yang dibutuhkan untuk melakukan sebuah kerja, yang dinyatakan dalam satuan Watt ataupun HP. Penentuan besar daya yang dibutuhkan perlu memperhatikan beberapa hal yang mempengaruhinya, diantaranya adalah:

1. Berat dan gaya yang bekerja pada mekanisme.
2. Kecepatan putar dan torsi yang terjadi.

Berikut adalah rumus untuk mencari harga daya, gaya, torsi, kecepatan putaran dan berat yang terjadi pada mekanisme mesin penggerak.

A. Mencari daya (P):

$$P = \frac{w}{t}$$

(Rio Oktakari Surbakti, 2009) ... (1)

Keterangan :

P	= Daya (<i>watt</i>)
w	= Usaha (<i>joule</i>)
t	= Waktu (<i>second</i>)

- B. Berdasarkan gaya yang bekerja dan kecepatan, maka daya dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = F.V \quad (\text{Rio Oktakari Surbakti, 2009}) \dots(2)$$

Keterangan :

P	= Daya (<i>watt</i>)
F	= Gaya (N)
V	= Kecepatan linier (m/s)

- C. Berdasarkan torsi yang bekerja maka persamaanya adalah:

$$P = T . \omega \quad \dots(3)$$

$$\omega = \frac{2 . \pi . n}{60} \quad \dots(4)$$

$$T = I . \alpha \quad (\text{Rio Oktakari Surbakti, 2009}) \dots(5)$$

Keterangan:

T	= Torsi (N.m)
Ω	= Kecepatan Sudut (rad/s)
n	= Kecepatan (rpm)
I	= Momen Inersia (kg.m ³)
α	= Percepatan Sudut (rad/sec ²)

- D. Berdasarkan putaran poros, maka daya dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \frac{2 \pi . n . T}{60} \quad (\text{Rio Oktakari Surbakti, 2009}) \dots(6)$$

Keterangan:

n	= Putaran poros (rpm)
T	= Torsi (N.m)
P	= Daya (watt)

- E. Mencari harga gaya (F)

Gaya adalah suatu kekuatan yang menyebabkan suatu benda dapat bergerak.

$$F = m \cdot a \quad (\text{Rio Oktakari Surbakti, 2009}) \dots(7)$$

Keterangan

$$F = \text{Gaya (N atau kg.m/s}^2\text{)}$$

$$m = \text{Massa (kg)}$$

$$a = \text{Percepatan (m/s}^2\text{)}$$

F. Mencari harga berat (W)

Berat suatu benda adalah gaya gravitasi yang bekerja pada benda tersebut.

$$W = m \cdot g \text{ (N atau kg.m/s}^2\text{)} \quad (\text{Rio Oktakari Surbakti, 2009}) \dots(8)$$

Keterangan :

$$W = \text{Berat (N atau kg.m/s}^2\text{)}$$

$$m = \text{Massa (kg)}$$

$$g = \text{Percepatan Gravitasi (10 m/s}^2\text{)}$$

G. Mencari harga torsi (T)

Besarnya torsi adalah hasil perkalian antara gaya dengan jarak terhadap sumbu. Seperti persamaan berikut:

$$T = F \cdot r \quad (\text{Rio Oktakari Surbakti, 2009}) \dots(9)$$

Keterangan:

$$T = \text{Torsi (N.m)}$$

$$F = \text{gaya (N)}$$

$$r = \text{jarak terhadap sumbu (m)}$$

2.1.3. *Pulley*

Sebuah mesin sering menggunakan sepasang *pulley* untuk mereduksi kecepatan dari motor listrik, dengan berkurangnya kecepatan motor listrik maka tenaga dari mesinpun ikut bertambah. *pulley* dapat digunakan untuk mentransmisikan daya dari poros satu ke poros yang lain melalui sistem transmisi penggerak berupa *flat belt*, *V-belt* atau *circular belt*. Cara kerja *pulley* sering digunakan untuk mengubah arah gaya yang diberikan, mengirim gerak dan mengubah arah rotasi.



Gambar 2. *Pulley*

(Sumber: Sularso.2000)

Perbandingan kecepatan (*velocity ratio*) pada puli berbanding terbalik dengan perbandingan diameter *pulley*, dimana secara matematis ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$N_1 \times D_1 = N_2 \times D_2 \quad (\text{Sumber: Sularso, 2000}) \dots(11)$$

Keterangan:

N_1 = Putaran *pulley* penggerak (rpm)

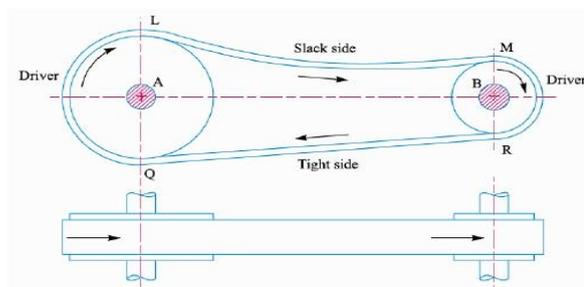
N_2 = Putaran *pulley* yang di gerakkan (rpm)

D_1 = Diameter *pulley* yang menggerakkan. (mm)

D_2 = Diameter *pulley* yang di gerakkan (mm)

Macam-macam Sistem Pulley Berdasarkan Bentuk Belt

1. *Open belt drive (penggerak belt terbuka)*. Seperti ditunjukkan pada Gambar ,
 3. Pulley jenis ini digunakan dengan poros sejajar dan perputaran dalam arah yang sama. Dalam kasus ini, penggerak (pulley) A menarik belt dari satu sisi (yakni sisi RQ bawah) dan meneruskan ke sisi lain (yakni sisi LM atas). Jadi tarikan pada sisi bawah akan lebih besar dari pada sisi belt yang atas (karena tarikan kecil).

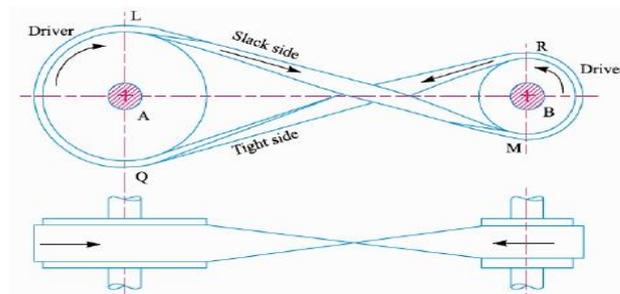


Gambar 3. penggerak *belt* terbuka

(Sumber: Fransiscus Xaverius Guwowijoyo.2013)

Belt sisi bawah (karena tarikan lebih) dinamakan *tight side* sedangkan belt sisi atas (karena tarikan kecil) dinamakan *slack side*, seperti pada Gambar 3 .

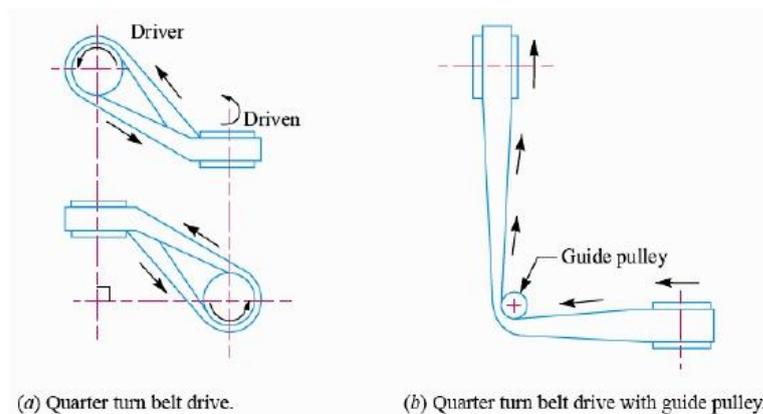
2. *Crossed atau twist belt drive (penggerak belt silang)*. Seperti ditunjukkan pada Gambar 4, belt jenis ini digunakan dengan poros sejajar dan perputaran dalam arah yang berlawanan. Dalam kasus ini, penggerak menarik belt dari satu sisi (yakni sisi RQ) dan meneruskan ke sisi lain (yakni sisi LM). Jadi tarikan dalam belt RQ akan lebih besar dari pada sisi belt LM. Belt RQ (karena tarikan lebih) dinamakan *tight side* sedangkan belt LM (karena tarikan kecil) dinamakan *slack side*.



Gambar 4. penggerak *belt* silang

(Sumber: Fransiscus Xaverius Guwowijoyo.2013)

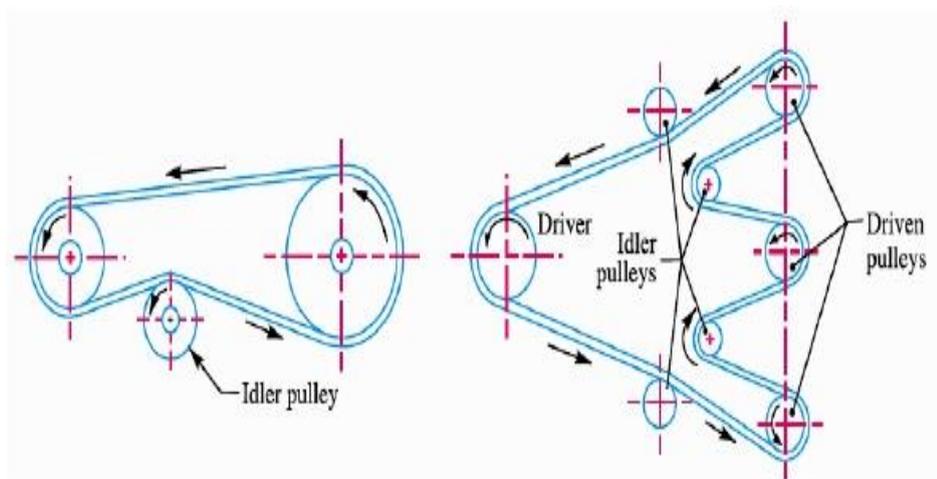
3. *Quarter turn belt drive (penggerak belt belok sebagian)*. Mekanisme transmisi dapat dilihat pada Gambar 5. Untuk mencegah belt agar tidak keluar/lepas dari pulley, maka lebar permukaan *pulley* harus lebih besar atau sama dengan $1,4b$, dimana b adalah lebar belt.



Gambar 5. penggerak *belt* belok sebagian

(Sumber: Fransiscus Xaverius Guwowijoyo.2013)

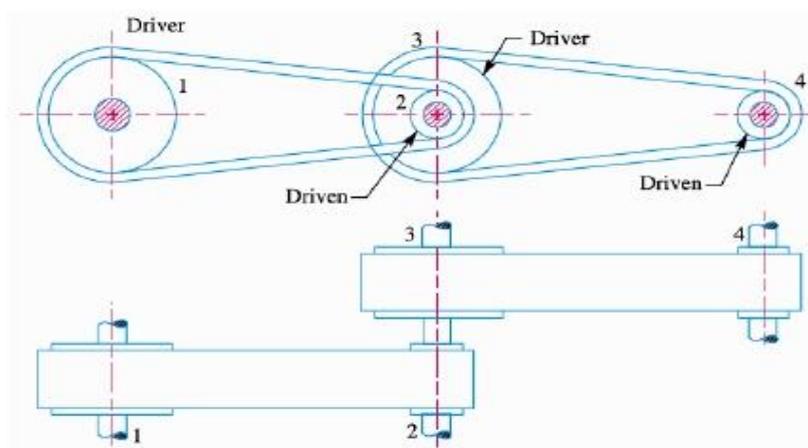
4. *Belt drive with idler pulley (penggerak belt dengan pulley penekan).* Dinamakan juga *jockey pulley drive* seperti ditunjukkan pada Gambar 6, digunakan dengan poros parallel dan ketika open belt drive tidak dapat digunakan akibat sudut kontak yang kecil pada *pulley* terkecil. Jenis ini diberikan untuk mendapatkan rasio kecepatan yang tinggi dan ketika tarikan belt yang diperlukan tidak dapat diperoleh dengan cara lain.



Gambar 6. penggerak *belt* dengan *pulley* penekan

(Sumber: Fransiscus Xaverius Guwowijoyo.2013)

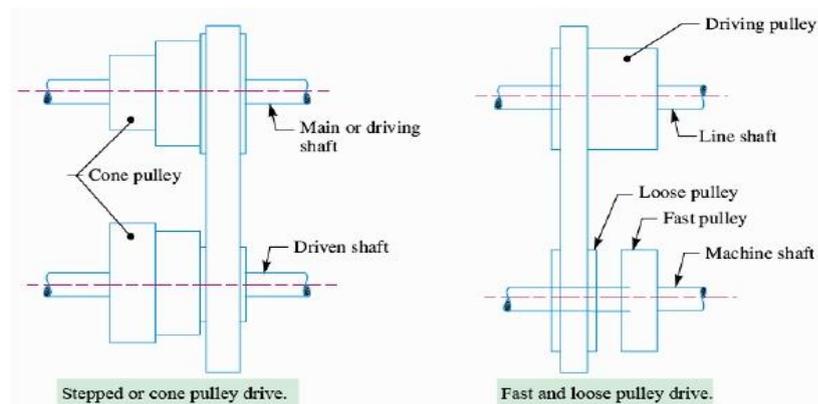
5. *Compound belt drive (penggerak belt gabungan).* Seperti ditunjukkan pada Gambar 7, digunakan ketika daya ditransmisikan dari poros satu ke poros lain melalui sejumlah *pulley*.



Gambar 7. penggerak *belt* gabungan

(Sumber: Fransiscus Xaverius Guwowijoyo.2013)

6. *Stepped or cone pulley drive* (penggerak pulley kerucut atau bertingkat). Seperti pada Gambar 8, digunakan untuk merubah kecepatan poros yang digerakkan ketika poros utama (poros penggerak) berputar pada kecepatan konstan.
7. *Fast and loose pulley drive* (penggerak pulley longgar dan cepat). Seperti pada Gambar 8, digunakan ketika poros mesin (poros yang digerakkan) dimulai atau diakhiri kapan saja diinginkan tanpa mengganggu poros penggerak. *Pulley* yang dikunci ke poros mesin dinamakan *fast pulley* dan berputar pada kecepatan yang sama seperti pada poros mesin. *Loose pulley* berputar secara bebas pada poros mesin dan tidak mampu mentransmisikan daya sedikitpun. Ketika poros mesin dihentikan, *belt* ditekan ke *loose pulley* oleh perlengkapan batang luncur (sliding bar).



Gambar 8. penggerak pulley kerucut atau bertingkat dan longgar dan cepat
(Sumber: Fransiscus Xaverius Guwowijoyo.2013)

Tabel 1. Ukuran pulley-V.

Penampang sabuk-V	Diameter Nominal (diameter lingkaran jarak d_p)	$\alpha(^{\circ})$	W^*	L_o	K	K_o	e	F
A	71 – 100	34	11,95					
	101 – 125	36	12,12	9,2	4,5	8,0	15,0	10,0
	126 atau lebih	38	12,30					
B	125 – 160	34	15,86	12,5	5,5	9,5	19,0	12,5

	161 – 200	36	16,07					
	201 atau lebih	38	16,29					
C	200 – 250	34	21,18					
	251 – 315	36	21,45	16,9	7,0	12,0	25,5	17,0
	316 atau lebih	38	21,72					
D	355 – 450	36	30,77					
	451 atau lebih	38	31,14	24,6	9,5	15,5	37,0	24,0
E	500 – 630	36	36,95					
	631 atau lebih	38	37,45	28,7	12,7	19,3	44,5	29,0

Tabel 1. ukuran pulley

Jarak sumbu poros harus sebesar 1,5 sampai 2 kali diameter puli besar. Di dalam perdagangan terdapat berbagai panjang sabuk-V. Nomor nominal sabuk-V dinyatakan dalam panjang kelilingnya dalam inch. Tabel 3(a) dan (b) menunjukkan nomor-nomor nominal dari sabuk standar utama. Dalam Tabel 3(c) diperlihatkan panjang keliling sabuk-V sempit yang akan dibahas kemudian. Diameter puli yang terlalu kecil akan memperpendek umur sabuk. Dalam Tabel 4 diberikan diameter *pulley* minimum yang diizinkan dan dianjurkan menurut jenis sabuk yang bersangkutan.

Sekarang lihatlah Gambar 9 di mana putaran puli penggerak dan di gerakkan berturut-turut adalah n_1 (rpm) dan n_2 (rpm), dan diameter nominal masing-masing adalah d_p (mm) dan D_p (mm), serta perbandingan putaran u dinyatakan dengan n_2/n_1 atau d_p/D_p . Karena sabuk_V biasanya dipakai untuk menurunkan putaran, maka perbandingan yang umum dipakai ialah perbandingan reduksi i ($i > 1$), dimana

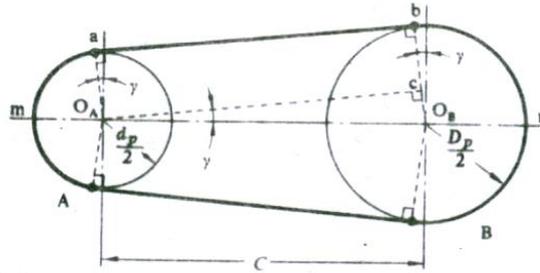
$$\frac{n_1}{n_2} = i = \frac{D_p}{d_p} = \frac{1}{u}; \frac{1}{i} \quad (\text{Fransiscus Xaverius Guwowijoyo.2013}) \quad \dots(12)$$

Kecepatan linear sabuk-V (m/s) adalah

$$v = \frac{d_p n_1}{60 \times 1000} \quad (\text{Fransiscus Xaverius Guwowijoyo.2013}) \quad \dots(13)$$

Jarak sumbu poros dan panjang keliling sabuk berturut-turut adalah C dan L (mm).

$$\begin{aligned} \angle aO_1A = \angle bO_2B &= \pi - 2y \quad (14) \\ ab = AB &= C \cos y = C \sqrt{1 - \sin^2 y} \approx C \left(1 - \frac{\sin^2 y}{2}\right) \quad \dots(15) \end{aligned}$$



Gambar 9. Perhitungan Panjang Keliling

(Sumber: Fransiscus Xaverius Guwowijoyo.2013)

2.1.4. Sabuk (belt)

Sabuk-V atau *V-belt* adalah salah satu transmisi penghubung yang terbuat dari karet dan mempunyai penampang berbentuk trapesium. Dalam penggunaannya sabuk-V dibelitkan mengelilingi alur *pulley* yang berbentuk V pula. Bagian sabuk yang membelit pada puli akan mengalami lengkungan sehingga lebar bagian dalamnya akan bertambah besar.

Sabuk-V banyak digunakan karena sabuk-V sangat mudah dalam penanganannya dan murah harganya. Selain itu sabuk-V juga memiliki keunggulan lain yaitu akan menghasilkan transmisi daya yang besar pada tegangan yang relatif rendah jika dibandingkan dengan transmisi roda gigi dan rantai, sabuk-V bekerja lebih halus dan tak bersuara. Selain memiliki keunggulan dibandingkan dengan transmisi-transmisi yang lain, sabuk-V juga memiliki kelemahan berupa terjadinya sebuah slip.

Sabuk - V adalah Sabuk yang terbuat dari karet dan mempunyai bentuk penampang trapesium. Sabuk V dibelitkan pada alur *pulley* yang berbentuk V pula. Bagian sabuk yang membelit akan mengalami lengkungan sehingga lebar bagian dalamnya akan bertambah besar. Berikut ini adalah kelebihan yang dimiliki oleh Sabuk-V:

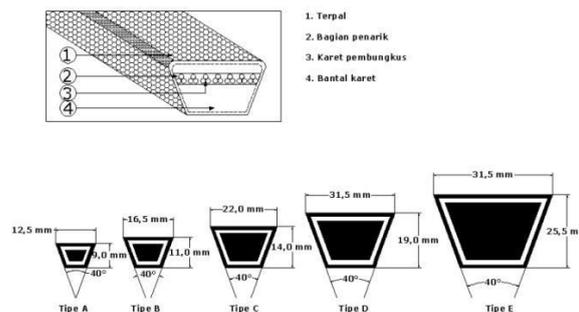
- Sabuk-V dapat digunakan untuk mentransmisikan daya yang jaraknya relatif jauh.

- Memiliki faktor slip yang kecil.
- Mampu digunakan untuk putaran tinggi.
- Dari segi harga Sabuk-V relatif lebih murah dibanding dengan elemen transmisi yang lain.
- Pengoperasian mesin menggunakan Sabuk-V tidak membuat berisik.

Sabuk-V terdiri dari beberapa tipe yang digunakan sesuai dengan kebutuhan. Tipe yang tersedia A,B,C,D dan E bisa di lihat pada Gambar 2.13.

Berikut ini adalah tipe Sabuk-V berdasarkan bentuk dan kegunaannya:

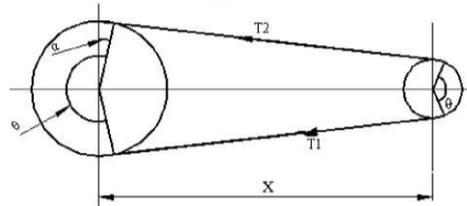
- Tipe standar yang ditandai huruf A, B, C, D, & E
- Tipe sempit yang ditandai simbol 3V, 5V, & 8V
- Tipe beban ringan yang ditandai dengan 3L, 4L, & 5L



Gambar 10. Konstruksi dan ukuran penampang Sabuk-V

(Sumber: Sularso, 2000)

Dalam perhitungan sabuk yang harus dihitung antara lain: sudut kontak sabuk (θ), panjang sabuk (L), luas penampang sabuk sesuai dengan tipe yang akan digunakan (A), kecepatan linier sabuk (v), gaya sentrifugal (T_c), gaya maksimum sabuk (T_{max}), gaya sisi kancang sabuk (T_1), gaya sisi kendor sabuk (T_2). Gambar 2.14 merupakan tegangan yang terjadi pada sabuk dan puli, dan gambar tersebut mewakili penjelasan rumus perhitungannya.



Gambar 11. Tegangan pada sabuk dan pulley

(Sumber: Sularso, 2000)

1. Sudut kontak untuk sabuk terbuka dapat dihitung dengan rumus.

$$\sin \alpha = \left(\frac{r_2 - r_1}{x} \right) \quad \dots(16)$$

$$\theta = (180 - 2\alpha) \frac{\pi}{180} \quad \text{(Sumber: Sularso, 2000)} \quad \dots(17)$$

Keterangan:

r_1 = jari-jari pulley besar (mm)

r_2 = jari-jari pulley kecil (mm)

x = jarak antar poros (mm)

θ = sudut kontak sabuk dan puli

2. Menentukan panjang sabuk.

$$L = \pi(r_1 + r_2) + 2x \frac{(r_1 - r_2)^2}{x} \quad \text{(Sumber: Sularso, 2000)} \dots(18)$$

Keterangan:

L = Panjang sabuk (mm)

x = Jarak sumbu poros (mm)

r_1 = jari-jari poros besar (mm)

r_2 = jari-jari poros kecil (mm)

3. Kecepatan linier sabuk (v) dapat ditentukan oleh rumus.

$$\omega = \frac{\pi \cdot D_p \cdot N}{60} \quad \text{(Sumber: Sularso, 2000)} \dots(19)$$

Keterangan:

ω = Kecepatan sabuk (m/s)

D_p = Diameter puli penggerak (mm)

N = Putaran puli penggerak (rpm)

4. Gaya sentrifugal (T_c) dapat ditentukan menggunakan rumus:

$$T_c = m \cdot v^2 \quad \text{(Sumber: Sularso, 2000)} \dots(20)$$

Keterangan:

T_c = Gaya sentrifugal (N)

m = Massa (kg)

v = Kecepatan linier sabuk (m/s^2)

5. Gaya maksimum sabuk (T_{max}): Untuk gaya maksimum sabuk $\sigma = 1,7$ karena untuk menghitung gaya maksimum, maka menggunakan nilai tertinggi dari kekuatan tarik sabuk.

$$T_{max} = \sigma \cdot A \quad (\text{Sumber: Sularso, 2000}) \dots(21)$$

Keterangan:

T_{max} = Gaya maksimum sabuk (N)

σ = Kekuatan tarik sabuk (N/mm^2)

A = Luas penampang sabuk (mm^2)

6. Gaya tarik sisi kancang pada sabuk (T_1) dapat ditentukan dengan rumus:

$$T_1 = T_{max} - T_c \quad (\text{Sumber: Sularso, 2000}) \dots(22)$$

Keterangan:

T_1 = Gaya sisi kancang sabuk (N)

T_{max} = Gaya maksimum sabuk (N)

T_c = Gaya sentrifugal sabuk (N)

7. Gaya tarik sisi kendur pada sabuk (T_2) dapat ditentukan dengan rumus:

$$2,3 \cdot \log \frac{T_1}{T_2} = \mu \cdot \theta \cdot \text{cosec} \cdot \beta \quad (\text{Sumber: Sularso, 2000}) \dots(23)$$

Keterangan:

T_1 = Tarikan sisi kancang (N)

T_2 = Tarikan sisi kendur (N)

μ = Koefisien gesek untuk puli dengan sabuk

θ = Sudut kontak (rad)

β = Sudut alur puli (\dots°)

Sudut alur puli (β) dapat diketahui dengan melihat pada Tabel 2.1 yang menunjukkan spesifikasi dan dimensi *v-belt*.

Type of belt	Power ranges in kW	Minimum pitch diameter of pulley (D) mm	Top width (b) mm	Thickness (t) mm	Weight per metre length in newton
A	0.7 – 3.5	75	13	8	1.06
B	2 – 15	125	17	11	1.89
C	7.5 – 75	200	22	14	3.43
D	20 – 150	355	32	19	5.96
E	30 – 350	500	38	23	–

(All dimensions in mm)

Type of belt	w	d	a	c	f	e	No. of sheave grooves (n)	Groove angle (2 β) in degrees
A	11	12	3.3	8.7	10	15	6	32, 34, 38
B	14	15	4.2	10.8	12.5	19	9	32, 34, 38
C	19	20	5.7	14.3	17	25.5	14	34, 36, 38
D	27	28	8.1	19.9	24	37	14	34, 36, 38
E	32	33	9.6	23.4	29	44.5	20	–

Tabel 2. Dimensi spesifikasi *v*-belt.

(R.S. Khurmi & J.K. Gupta, 2005)

2.1.5. Poros

Poros adalah elemen mesin yang berbentuk batang dan umumnya berpenampang lingkaran, berfungsi untuk memindahkan putaran. Poros dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Poros transmisi/*Shaft*

Poros semacam ini mendapat beban puntir murni. Daya yang ditransmisikan kepada poros melalui kopling, roda gigi, puli sabuk, atau *sprocket* rantai.

2. *Spindel*

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

3. *Line shaft*

Poros ini berhubungan langsung dengan mekanisme yang digerakkan dan berfungsi memindahkan daya dari motor penggerak ke mekanisme tersebut.

Adapun hal-hal penting yang perlu diperhatikan dalam perencanaan sebuah poros yaitu:

1) Kekakuan poros

Lenturan yang dialami poros terlalu besar maka akan menyebabkan ketidaktepatan atau getaran dan suara. Oleh karena itu kekakuan poros juga perlu diperhatikan dan disesuaikan dengan mesin.

2) Putaran kritis

Putaran kerja poros haruslah lebih rendah dari putaran kritisnya demi keamanan karena getarannya sangat besar akan terjadi apabila putaran poros dinaikkan pada harga putaran kritisnya.

3) Korosi

Terjadi pada poros-poros yang sering berhenti lama. Untuk poros yang memiliki kasus seperti ini maka perlu dilakukannya perlindungan terhadap korosi secara berkala. Jadi pemilihan bahan poros yang terbuat dari bahan anti korosi sangat diperlukan ketika melakukan perancangan sebuah poros mesin produksi.

4) Bahan poros

Poros yang biasa digunakan pada mesin adalah baja dengan kadar karbon yang bervariasi.

Dalam perhitungan poros dapat diketahui dengan melihat dari pembebanan:

A. Torsi yang terjadi pada poros.

$$T = \frac{P \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot N} \quad (\text{Sumber: Sularso, 2000}) \dots(24)$$

Keterangan:

T = Torsi pada poros (N.m)

P = Daya (watt)

N = Putaran poros (rpm)

B. Momen yang terjadi pada poros.

$$M = F \cdot L \quad (\text{Sumber: Sularso, 2000}) \dots(25)$$

Keterangan:

M = Momen (Nm)

F = Gaya yang terjadi (N)

L = Jarak terhadap gaya (m)

C. Torsi ekuivalen.

$$T_e = \sqrt{M^2 + T^2} \quad (\text{Sumber: Sularso, 2000}) \dots(26)$$

Keterangan:

T_e = Torsi ekuivalen (N.m)

M = Momen bending atau (N.m)

T = Torsi (N.m)

D. Diameter Poros.

$$D = \sqrt[3]{\frac{16.T_e}{\pi.\tau_s}} \quad (\text{Sumber: Sularso, 2000}) \dots(27)$$

Keterangan:

d = Diameter poros (mm)

τ_s = Tegangan geser maksimum (N/mm²)

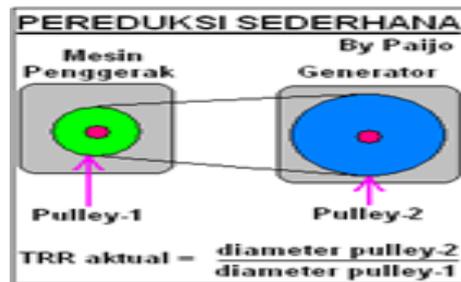
2.2. Penghubung Mesin Penggerak Dengan Generator

Agar dapat menghasilkan listrik yang berkualitas tinggi (tegangan dan frekuensinya stabil), maka generator harus bekerja pada kecepatan putar (rpm) tertentu sesuai rekomendasi pabrik. Agar dapat berputar, generator harus dihubungkan dengan mesin penggerak yang dapat berupa motor bakar, turbin air, turbin uap, kincir angin, kincir air, dsb. Agar pembangkit listrik memiliki kinerja dan efisiensi maksimal, perlu didesain sedemikian rupa sehingga mesin penggerak maupun generator bekerja pada kecepatan putar ideal (peak speed) masing-masing. Untuk mencapai keadaan ideal tersebut, diperlukan jenis penghubung yang sesuai dengan perbandingan kecepatan antara shaft mesin penggerak dengan shaft generator. Adapun perbandingan kecepatan putar tersebut ada 3 macam yaitu:

1. Kecepatan putar mesin penggerak sama dengan kecepatan putar generator.

Untuk keadaan ini, dapat digunakan sambungan langsung dimana poros mesin penggerak tersambung langsung (coaxis) dengan poros generator

yang lazim digunakan pada genset motor bensin portable.



Gambar 12. Pereduksi sederhana

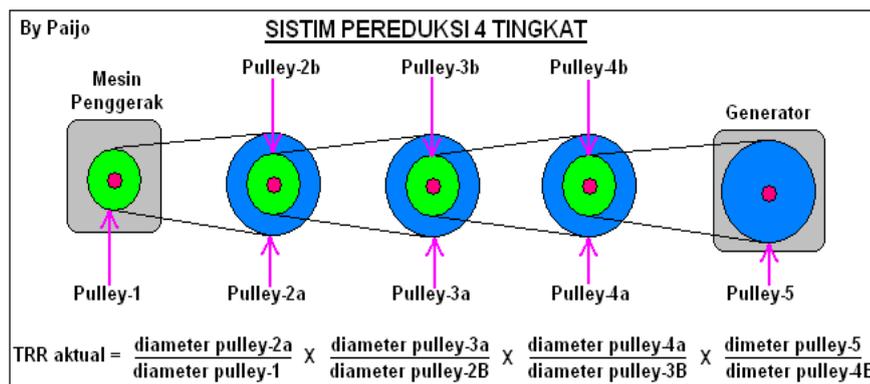
(Sumber: Paijo, 2007)

Alternatif kedua, dapat digunakan direct couple seperti yang digunakan pada mesin pemotong rumput. Alternatif ketiga, dapat digunakan sambungan tidak langsung yaitu sistim *pulley-belt* atau sistim gear-rantai atau sistim gear to gear (diameter kedua *pulley* atau jumlah gigi kedua gir musti sama) Dapat di lihat pada Gambar 13.

2. Kecepatan putar mesin penggerak lebih rendah daripada kecepatan putar generator.

Untuk keadaan ini, diperlukan sistim multiplikasi putaran sebagai penghubung. Jika perbedaan kecepatan putar tersebut tidak terlalu jauh (lebih dari 1 : 3), dapat digunakan sistim multiplikasi tunggal yang cukup sederhana. Adapun sistim multiplikasi tersebut dapat berupa sistim *pulley-belt* yang terdiri dari sebuah pulley besar pada shaft mesin penggerak dan sebuah pulley kecil pada shaft generator yang dihubungkan oleh sebuah belt. Alternatif kedua, dapat berupa sistim gear-rantai yang terdiri dari sebuah gear (sproket) besar pada shaft mesin penggerak dan sebuah gear (sproket) kecil pada shaft generator yang dihubungkan oleh sebuah rantai. Alternatif ketiga, dapat berupa sistim gear to gear yang terdiri dari sebuah gear besar pada shaft mesin penggerak dan sebuah gear kecil pada shaft generator yang saling bersinggungan. Jika perbedaan kecepatan putar tersebut cukup jauh (kurang dari 1 : 3), perlu digunakan sistim multiplikasi bertingkat yang cukup rumit. Untuk keperluan itu, dapat digunakan gear box type HELICAL sebagai salah

satu alternatif yang banyak dipakai. Sedangkan gear box type WORM tidak dapat dipakai untuk sistim multiplikasi karena bersifat irreversibel (tidak dapat dibalik). Alternatif lain, dapat juga digunakan sistim pulley-belt bertingkat atau sistim gear-rantai bertingkat. Adapun banyaknya tingkat, tergantung dari Total Multiplication Ratio (TMR) yang diperlukan Dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 13. Sistem Pereduksi Bertingkat

(Sumber: Paijo, 2007)

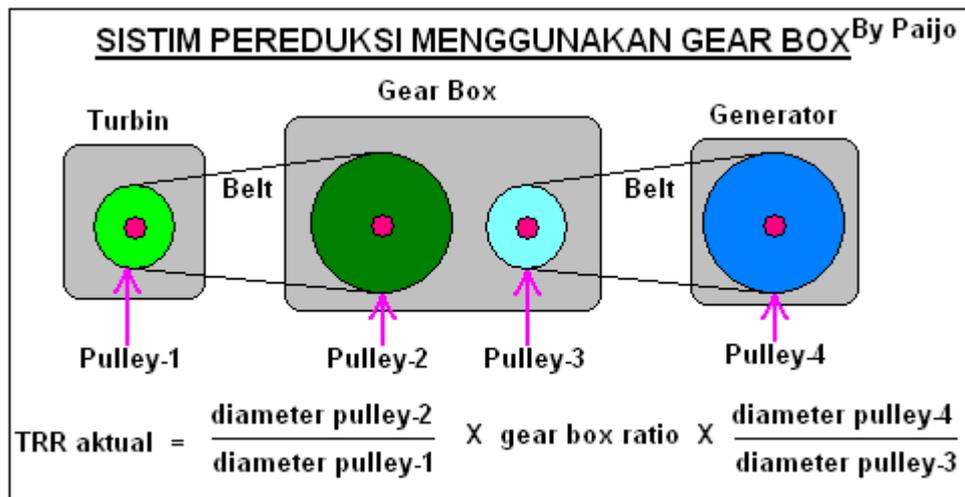
3. Kecepatan putar mesin penggerak lebih tinggi daripada kecepatan putar generator.

Untuk keadaan ini, diperlukan sistim pereduksi putaran sebagai penghubung. Jika perbedaan kecepatan putar tersebut tidak terlalu jauh (kurang dari 3 : 1), dapat digunakan sistim pereduksi tunggal yang cukup sederhana. Adapun sistim pereduksi tersebut dapat berupa sistim *pulley-belt* yang terdiri dari sebuah *pulley* kecil pada *shaft* mesin penggerak dan sebuah *pulley* besar pada *shaft* generator yang dihubungkan oleh sebuah *belt*. Alternatif kedua, dapat berupa sistim *gear-rantai* yang terdiri dari sebuah *gear* (*sproket*) kecil pada *shaft* mesin penggerak dan sebuah *gear* (*sproket*) besar pada *shaft* generator yang dihubungkan oleh sebuah rantai. Alternatif ketiga, dapat berupa sistim *gear to gear* yang terdiri dari sebuah *gear* kecil pada *shaft* mesin penggerak dan sebuah *gear* besar pada *shaft* generator yang saling bersinggungan dapat di lihat pada Gambar 15. Jika perbedaan kecepatan putar tersebut cukup jauh (lebih dari 3 : 1), perlu digunakan sistim pereduksi bertingkat yang cukup

rumit. Untuk keperluan itu, dapat digunakan *gear box* baik yang *type HELICAL* maupun *type WORM* sebagai salah satu alternatif yang banyak dipakai. Alternatif lain, dapat juga digunakan sistem *pulley-belt* bertingkat atau sistem *gear-rantai* bertingkat. Adapun banyaknya tingkat, tergantung dari *Total Reduction Ratio* (TRR) yang diperlukan. Pada sebagian besar pembangkit listrik, kecepatan putar mesin penggerak tidak sama dengan kecepatan putar generator. Oleh karena itu, salah satu hal yang harus dilakukan dalam perencanaan sistem pembangkit listrik adalah menjembatani perbedaan kecepatan putar (rpm) ideal antara shaft generator dengan shaft turbin. Untuk itu, perlu dibuat desain suatu sistem pereduksi atau sistem multiplikasi yang berfungsi mentransformasi kecepatan putar ideal *shaft* turbin menjadi kecepatan ideal *shaft* generator tanpa banyak kehilangan daya. Secara prinsip, sistem pereduksi atau sistem multiplikasi adalah semua sistem mekanik mulai dari *pulley* atau *gear* yang terpasang pada *shaft* turbin, kemudian *gear box* (jika ada), sampai dengan *pulley* atau *gear* yang terpasang pada generator. Jadi bukan hanya *gear box* saja yang merupakan bagian dari sistem pereduksi atau sistem multiplikasi putaran. Demikian juga sebaliknya, sistem pereduksi atau sistem multiplikasi putaran tidak selalu berupa *gear box*.

Adapun perbedaan antara sistem pereduksi dan sistem multiplikasi adalah pada transformasi kecepatan yang dihasilkannya. Sistem pereduksi mentransformasikan kecepatan putar tinggi menjadi kecepatan putar yang lebih rendah. Sedangkan sistem multiplikasi mentransformasikan kecepatan putar rendah menjadi kecepatan putar yang lebih tinggi. Sistem pereduksi digunakan jika kecepatan putar mesin penggerak (termasuk turbin) lebih tinggi daripada kecepatan putar generator. Situasi seperti itu lazim ditemui pada PLTA, PLTU, PLTGU, dan PLTP. Sedangkan sistem multiplikasi digunakan jika kecepatan putar mesin penggerak lebih rendah daripada kecepatan putar generator. Situasi seperti itu lazim ditemui pada PLTMH yang menggunakan kincir lintasan sebagai tenaga penggerak. Dalam artikel ini hanya akan dibahas tentang sistem pereduksi saja. Adapun sistem

multiplikasi akan dibahas dalam artikel tersendiri jika ada yang request.



Gambar 14. Sistem Pereduksi Menggunakan *Gear Box*

(Sumber: Paijo, 2007)

2.2. Sistim Pereduksi Putaran

Sistim pereduksi putaran yang dibahas di bawah ini dapat diterapkan pada semua jenis pembangkit listrik maupun pada proyek lainnya yang memerlukan sistim pereduksi putaran secara umum. Untuk dapat menentukan jenis pereduksi yang paling tepat dengan kebutuhan, perlu diketahui dulu data teknis dari mesin penggerak dan generator yaitu antara lain:

1. Kecepatan putar mesin penggerak (rpm) yang memberikan efisiensi konversi tertinggi (peak speed). Kalau diinginkan, boleh juga bukan peak speed (biasanya diatasnya peak speed) dengan maksud untuk memperoleh output daya yang lebih besar namun harus rela mengorbankan sedikit efisiensi.
2. Kecepatan putar generator (rpm) yang direkomendasikan oleh pabrik. Kecepatan putar generator musti mengikuti standar dengan toleransi sekitar 2-5 % saja. Jika terlalu tinggi atau terlalu rendah melewati batas toleransinya, maka kualitas listrik yang dihasilkan akan berkualitas rendah (tegangan dan frekuensinya tidak sesuai standar).
3. Daya yang dihasilkan mesin penggerak (watt atau HP) pada kecepatan

kerja yang ditetapkan pada bagian a di atas.

4. Daya dari generator (watt atau HP) pada kecepatan kerja yang direkomendasikan pabrik pada bagian b di atas.

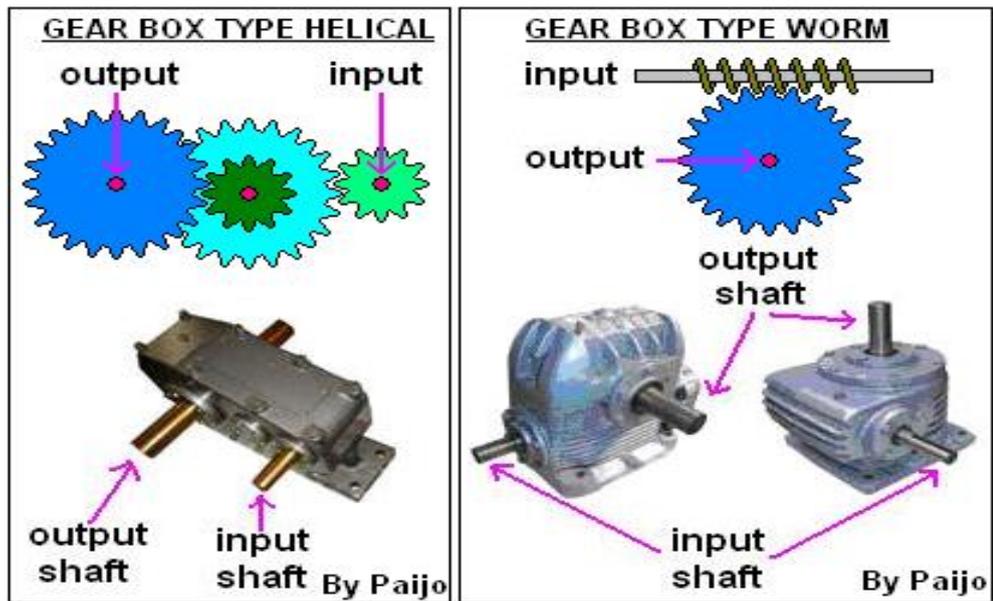
Setelah semua data bagian a-b-c-d tersebut di atas telah lengkap, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dan kalkulasi dengan mengikuti langkah-langkah berikut :

1. Memastikan bahwa daya mesin penggerak (data c) musti 5-10 % lebih besar dari pada daya generator (data d) agar sistem dapat bekerja normal sesuai harapan. Hal itu disebabkan oleh kehilangan daya akibat adanya slip dan atau gesekan pada sistim mekanik seperti bearing, gear, belt, rantai, dsb. Kehilangan daya tersebut bisa mencapai 5-10 persen dari daya total. Jika ternyata daya mesin penggerak tidak lebih besar daripada daya generator, maka musti dilakukan penggantian / perubahan rencana. Alternatif pertama adalah memperbesar daya mesin penggerak jika memungkinkan. Alternatif kedua adalah mengganti generator dengan daya yang lebih kecil.
2. Menghitung Total Reduction Ratio (TRR) ideal yang diperlukan berdasarkan data a dan b di atas.
3. Setelah mendapatkan TRR ideal, langkah selanjutnya adalah mendesain rangkaian sistim pereduksi yang memiliki TRR aktual yang sama dengan TRR ideal. Jika tidak bisa diperoleh yang betul-betul sama, maka bisa digunakan TRR aktual sedikit di atas TRR ideal dengan toleransi maksimal 5%.

Adapun pemilihan jenis sistim pereduksi yang akan digunakan, perlu mempertimbangan besar kecilnya TRR dengan pedoman sebagai berikut :

- Jika TRR kurang dari 3, dapat digunakan sistim pereduksi sederhana (lihat Gambar 13). Adapun sistim pereduksi tersebut dapat berupa sistim pulley-belt yang terdiri dari sebuah pulley kecil pada shaft mesin penggerak dan sebuah pulley besar pada shaft generator yang dihubungkan oleh belt. Alternatif kedua, dapat berupa sistim gear-rantai yang terdiri dari sebuah gear (sproket) kecil pada shaft mesin penggerak dan sebuah gear (sproket) besar pada shaft generator yang dihubungkan oleh rantai.

- Jika TRR lebih dari 3, perlu digunakan sistem pereduksi bertingkat yang lebih rumit. Untuk keperluan itu, dapat digunakan sistem pereduksi bertingkat baik sistem pulley-belt maupun sistem gear-rantai. Adapun banyaknya tingkat, tergantung dari TRR yang diperlukan. Jika TRR kurang dari 3, cukup satu tingkat. Jika TRR antara 3 dan 9, bisa 2 tingkat. Jika TRR antara 9 dan 27, bisa 3 tingkat. Dan jika TRR lebih dari 9, perlu dipertimbangkan penggunaan gear box agar tidak terlalu rumit. Adapun gear box yang dapat digunakan dapat dipilih yang type HELICAL maupun type WORM (dapat dilihat pada Gambar 16). Selain harus memilih rasio yang tepat, pemilihan gear box juga wajib memperhitungkan kekuatan yang harus dipikulnya agar tahan lama dan efisien. Gear box yang terlalu kecil, akan cepat rusak. Kalau terlalu besar, boros biaya dan tidak efisien karena banyak kehilangan daya. Mengenai type gear box, yang type HELICAL relatif lebih aman dari pada type WORM jika digunakan untuk memutar beban yang mempunyai momentum anguler yang besar seperti generator. Karena bersifat irreversibel, gear box type WORM bisa rontok jika belt penghubung turbin dan gear box putus ketika sedang berputar kencang. Hal itu disebabkan oleh momentum anguler generator yang akan memaksa bagian output gear box untuk tetap berputar selama beberapa saat sebelum momentumnya habis dan berhenti. Hal itu tidak akan terjadi pada gear box type HELICAL jika belt tersebut putus karena bersifat reversible. Sifat irreversible pada gear box type WORM disebabkan oleh konstruksi gearnya yang berbentuk seperti mekanik pemutar senar gitar. Dengan konstruksi seperti itu, pemutar dapat menggerakkan penggulung senar, tapi penggulung senar tidak bisa menggerakkan pemutar dan jika dipaksa bisa rontok. Gear box pada mobil apapun, semuanya type HELICAL, jadi pasti aman dipakai untuk dinamo. Tetapi dapat dipakai hanya jika rasionya cocok. Sedangkan rasio gear box type WORM lebih mudah dihitung karena rasionya sama dengan jumlah gigi pada gear outputnya. Dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 15. Gear Box Type Helial Dan Worm

(Sumber: Paijo, 2007)

