



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Motor Listrik AC**

Secara umum, motor listrik berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Motor listrik terbagi menjadi dua bagian yang sangat penting yaitu stator atau bagian yang diam dan rotor atau bagian yang berputar. Pada motor AC, kumparan motor tidak menerima energi listrik secara langsung, tetapi secara induksi. Oleh karena itu, motor AC dikenal dengan motor induksi.

Motor induksi banyak digunakan dalam dunia industri. Hal ini dikarenakan motor induksi memiliki kelebihan sebagai berikut :

1. Bentuknya yang sederhana dan memiliki konstruksi yang kuat dan hampir tidak pernah mengalami kerusakan yang berarti.
2. Harga relatif murah dan dapat diandalkan.
3. Efisiensi tinggi, pada keadaan berputar normal, tidak memerlukan sikat sehingga rugi-rugi daya yang diakibatkan dari gesekan dapat dikurangi.
4. Perawatan yang minimum.
5. Pada waktu mulai beroperasi tidak memerlukan starting tambahan khusus dan tidak harus sinkron.

Namun disamping hal tersebut diatas, terdapat pula faktor-faktor kerugian yang tidak menguntungkan dari motor induksi yaitu sebagai berikut :

1. Pengaturan kecepatan dari motor induksi sangat mempengaruhi efisiensinya.
2. Kecepatan motor induksi akan menurun seiring dengan bertambahnya beban, tidak seperti motor DC.
3. Kopel awal mutunya lebih rendah dari pada motor DC parallel.

#### **2.2 Klasifikasi Motor Listrik AC**

Motor listrik AC dapat di klasifikasikan berdasarkan beberapa faktor antara lain berdasarkan prinsip kerja, macam arus, dan kecepatan.



### **2.2.1 Berdasarkan Pinsip Kerja**

Berdasarkan prinsip kerja motor listrik terbagi menjadi :

#### **2.2.1.1 Motor Sinkron**

Motor Sinkron adalah mesin sinkron yang digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Mesin sinkron mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada rotor. Kumparan jangkarnya berbentuk sama dengan mesin induksi, sedangkan kumparan medan mesin sinkron dapat berbentuk kutub sepatu (salient) atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder). Arus searah (DC) untuk menghasilkan fluks pada kumparan medan dialirkan ke rotor melalui cincin dan sikat. Jadi konstruksi motor sinkron ini adalah sama dengan generator sinkron, bedanya hanya bahwa generator sinkron rotornya diputar untuk menghasilkan tegangan, sedangkan motor sinkron statornya diberi tegangan agar rotornya berputar.

#### **2.2.1.2 Motor Induksi**

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (ac) yang paling banyak digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke statornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator.

Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3-fase dan motor induksi 1-fase. Motor induksi 3-fase dioperasikan pada sistem tenaga 3-fase dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar. Motor induksi 1-fase dioperasikan pada sistem tenaga 1-fase dan banyak digunakan terutama untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, mesin cuci dan sebagainya karena motor induksi 1-fase mempunyai daya keluaran yang rendah.



## **2.2.2 Berdasarkan Macam Arus**

Klasifikasi berdasarkan macam arus terdiri dari :

### **2.2.2.1 Satu fasa**

Motor induksi terdiri atas kumparan-kumparan stator dan rotor yang berfungsi membangkitkan gaya gerak listrik akibat dari adanya arus listrik bolak-balik satu fasa yang melewati kumparan-kumparan tersebut sehingga terjadi suatu interaksi induksi medan magnet antara stator dan rotor. Apabila kumparan kumparan motor induksi satu fasa dialiri arus bolak-balik satu fasa, maka pada celah udara akan dibangkitkan medan yang berputar.

Medan magnet berputar bergerak memotong lilitan rotor sehingga menginduksikan tegangan listrik pada kumparan-kumparan tersebut. Biasanya lilitan rotor berada dalam hubung singkat. Akibatnya lilitan rotor akan mengalir arus listrik yang besarnya tergantung pada besarnya tegangan induksi dan impedansi rotor. Arus listrik yang mengalir pada rotor akan mengakibatkan medan magnet rotor dengan kecepatan sama dengan kecepatan medan putar stator (ns). Interaksi medan stator dan rotor akan membangkitkan torsi yang menggerakkan rotor berputar searah dengan arah medan putar stator. Interaksi medan stator dan rotor juga menyebabkan terjasinya gaya gerak listrik induksi yang disebabkan oleh kumparan-kumparan stator dan rotor.

### **2.2.2.2 Tiga fasa**

Motor induksi 3 fasa adalah alat penggerak yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Hal ini dikarenakan motor induksi mempunyai konstruksi yang sederhana, kokoh, harganya relatif murah, serta perawatannya yang mudah, sehingga motor induksi mulai menggeser penggunaan motor DC pada industri. Motor induksi memiliki beberapa parameter yang bersifat non-linier, terutama resistansi rotor, yang memiliki nilai bervariasi untuk kondisi operasi yang berbeda. Hal ini yang menyebabkan pengaturan pada motor induksi lebih rumit dibandingkan dengan motor DC.

Salah satu kelemahan dari motor induksi adalah tidak mampu mempertahankan kecepatannya dengan konstan bila terjadi perubahan beban.

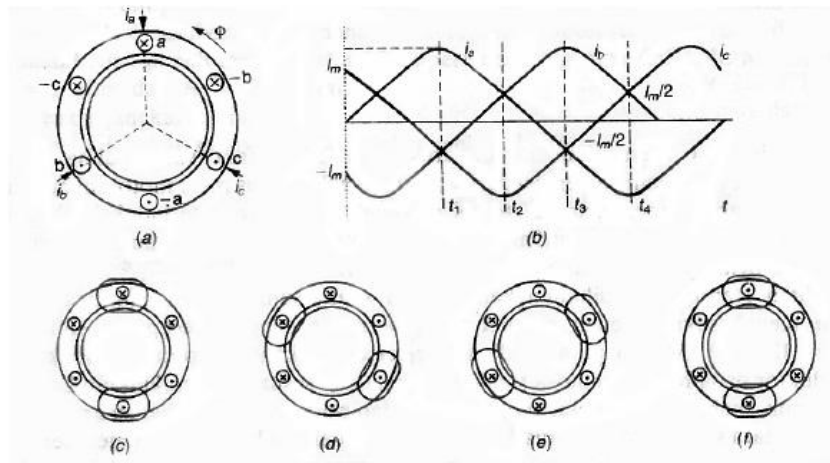


Apabila terjadi perubahan beban maka kecepatan motor induksi akan menurun. Untuk mendapatkan kecepatan konstan serta memperbaiki kinerja motor induksi terhadap perubahan beban, maka dibutuhkan suatu pengontrol. Penggunaan motor induksi tiga fasa di beberapa industri membutuhkan performansi yang tinggi dari motor induksi untuk dapat mempertahankan kecepatannya walaupun terjadi perubahan beban.

### **2.3 Konsep Perputaran Motor Induksi/Medan Putar**

Perputaran motor pada mesin arus bolak-balik ditimbulkan oleh adanya medan putar yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dalam fase banyak, umumnya fasa 3. Hubungan dapat berupa hubungan bintang atau segitiga. Disini akan dijelaskan bagaimana terjadinya medan putar itu. Perhatikan Gambar 2.1 a sampai f. Misalkan kumparan a-a; b-b; c-c dihubungkan 3 fasa, dengan beda fasa masing-masing  $120^\circ$  (gambar 2.1a) dan dialiri arus sinusoid. Distribusi arus  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  sebagai fungsi waktu adalah seperti gambar 2.1b. Pada keadaan  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  dan  $t_4$ , fluks. Resultan yang ditimbulkan oleh kumparan tersebut masing-masing adalah seperti gambar 2.1 c, d, e, dan f.

Pada  $t_1$  fluks resultan mempunyai arah sama dengan arah fluks yang dihasilkan oleh kumparan a-a; sedangkan pada  $t_2$ , fluks resultannya mempunyai arah yang sama dengan arah fluks yang dihasilkan oleh kumparan c-c; dan untuk  $t_3$ , fluks resultan mempunyai arah yang sama dengan fluks yang dihasilkan oleh kumparan b-b. Untuk  $t_4$ , fluks resultannya berlawanan arah dengan fluks resultan yang dihasilkan pada saat  $t_1$ . Keterangan ini akan lebih jelas pada analisa vektor.



Gambar 2.1 Konsep perputaran motor induksi

Dari gambar c, d, e, dan f tersebut dapat terlihat fluks resultan ini akan berputar satu kali. Oleh karena itu untuk mesin dengan jumlah kutub lebih dari dua, kecepatan sinkron dapat diturunkan sebagai berikut :

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{p} \dots\dots\dots(2.1)$$

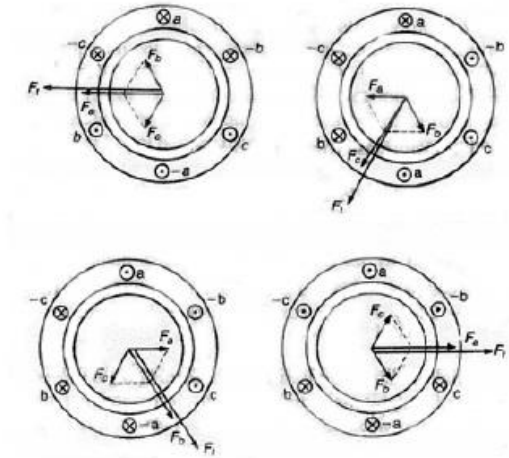
Keterangan :

$N_s$  = kecepatan sinkron

$f$  = Frekuensi

$p$  = jumlah kutub

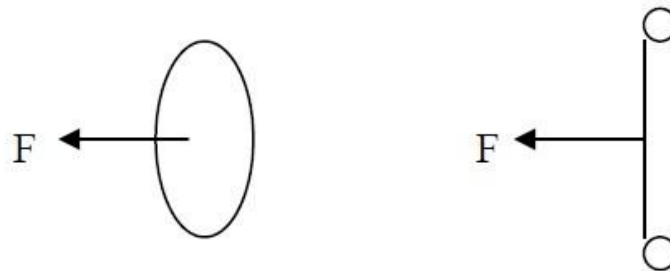
### 2.3.1 Analisa Secara Vektor



Gambar 2.2 Analisa secara vektor

Analisa secara vektor didapatkan atas dasar :

1. Arah fluks yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir dalam suatu lingkaran sesuai dengan perputaran sekrup (gambar 2.3).



Gambar 2.3 Arah fluks

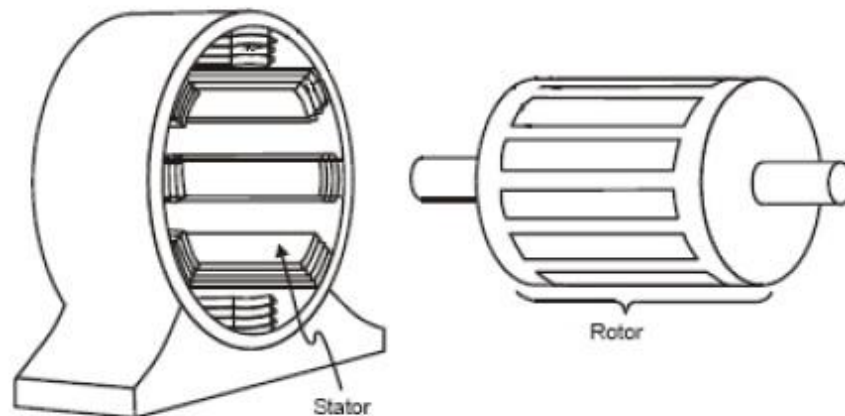
2. Besaran fluks yang ditimbulkan ini sebanding dengan arah yang mengalir.

Tanda yang digunakan untuk menyatakan negatif dan positifnya arus yang mengalir pada kumparan a-a, b-b, dan c-c, adalah harga positif dengan tanda silang (x) yang terletak pada pangkal konduktor (titik a, b, c), sedangkan negatif dengan titik (.) yang terletak pada ujung konduktor. Sehingga diagram vektor

pada fluksi total pada keadaan  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ , dan  $t_4$  dapat dilihat pada gambar 2.2. Pada diagram vektor diatas dapat dilihat bahwa fluksi resultan berjalan berputar.

## 2.4 Konstruksi Motor Induksi

Sebuah motor induksi tiga fasa memiliki konstruksi yang hampir sama dengan motor listrik jenis lainnya. Motor ini memiliki dua bagian utama, yaitu stator yang merupakan bagian yang diam, dan rotor sebagai bagian yang berputar sebagaimana diperlihatkan pada gambar 2.4. Antara bagian stator dan rotor dipisahkan oleh celah udara yang sempit, dengan jarak berkisar dari 0,4 mm sampai 4 mm.

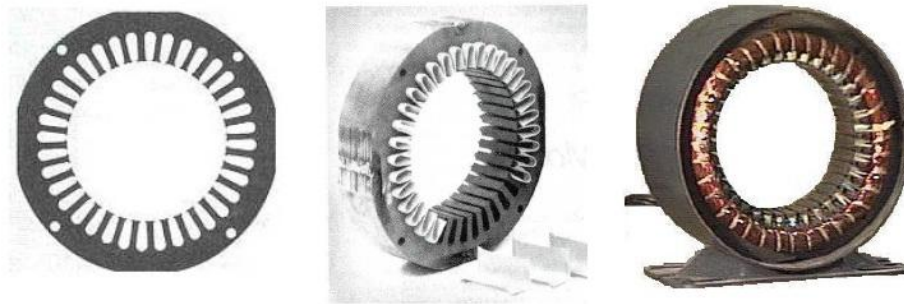


Gambar 2.4 Penampang stator dan rotor motor induksi 3 fasa

### 2.4.1 Stator

Stator terdiri atas tumpukan laminasi inti yang memiliki alur yang menjadi tempat kumparan dililitkan yang berbentuk silindris. Alur pada tumpukan laminasi inti diisolasi dengan kertas (Gambar 2.5.(b)). Tiap elemen laminasi inti dibentuk dari lempengan besi (Gambar 2.5.(a)). Tiap lempengan besi tersebut memiliki beberapa alur dan beberapa lubang pengikat untuk menyatukan inti. Tiap kumparan tersebar dalam alur yang disebut belitan fasa dimana untuk motor tiga fasa, belitan tersebut terpisah secara listrik sebesar  $120^\circ$ . Kawat kumparan yang digunakan terbuat dari tembaga yang dilapis dengan isolasi tipis. Kemudian tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang silindris (Gambar

2.5.(c)). Berikut ini contoh lempengan laminasi inti, lempengan inti yang telah disatukan, belitan stator yang telah dilekatkan pada cangkang luar untuk motor induksi tiga fasa.



( a )

( b )

( c )

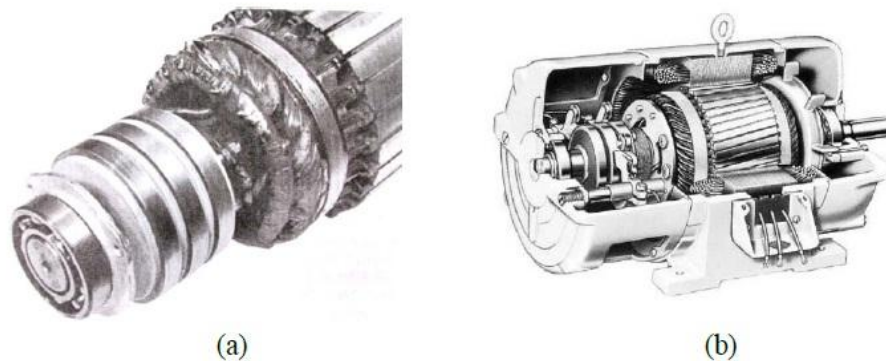
Gambar 2.5 Komponen stator motor induksi 3 fasa

#### 2.4.2 Rotor

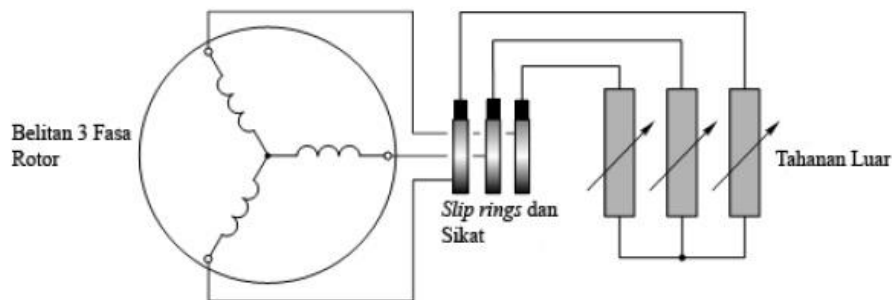
Berdasarkan jenis rotornya, motor induksi tiga fasa dapat dibedakan menjadi dua jenis, yang juga akan menjadi penamaan untuk motor tersebut, yaitu rotor belitan (wound rotor) dan rotor sangkar tupai (squirrel cage rotor).

Jenis rotor belitan terdiri dari satu set lengkap belitan tiga fasa yang merupakan bayangan dari belitan pada statornya. Belitan tiga fasa pada rotor belitan biasanya terhubung Y, dan masing-masing ujung dari tiga kawat belitan fasa rotor tersebut dihubungkan pada slip ring yang terdapat pada poros rotor (gambar 2.6(a)). Belitan-belitan rotor ini kemudian dihubungkan singkatkan melalui sikat (brush) yang menempel pada slip ring (perhatikan gambar 2.7), dengan menggunakan sebuah perpanjangan kawat untuk tahanan luar.





Gambar 2.6 (a) Tampilan close-up bagian slip ring rotor belitan.  
(b) Motor induksi 3 fasa rotor belitan.

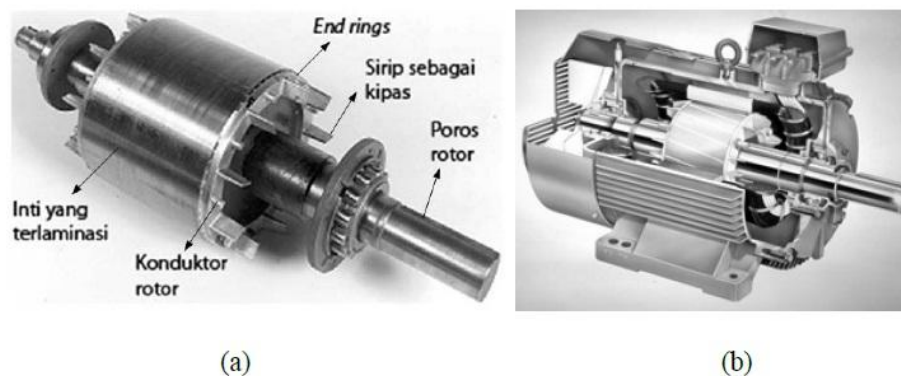


Gambar 2.7 Skematika diagram motor induksi rotor belitan.

Dari gambar 2.7 dapat dilihat bahwa semata-mata keberadaan slip ring dan sikat hanyalah sebagai penghubung belitan rotor ke tahanan luar (external resistance). Keberadaan tahanan luar disini berfungsi pada saat pengasutan yang berguna untuk membatasi arus mula yang besar. Tahanan luar ini kemudian secara perlahan dikurangi sampai resistansinya nol sebagaimana kecepatan motor bertambah mencapai kecepatan nominalnya. Ketika motor telah mencapai kecepatan nominalnya, maka tiga buah sikat akan terhubung singkat tanpa tahanan luar sehingga rotor belitan akan bekerja seperti halnya rotor sangkar tupai.

Rotor sangkar mempunyai kumparan yang terdiri atas beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa hingga menyerupai sangkar tupai. Rotor terdiri dari tumpukan lempengan besi tipis yang dilaminasi dan batang konduktor

yang mengitarinya (perhatikan gambar 2.8(a)). Tumpukan besi yang dilaminasi disatukan untuk membentuk inti rotor. Aluminium (sebagai batang konduktor) dimasukan ke dalam slot dari inti rotor untuk membentuk serangkaian konduktor yang mengelilingi inti rotor. Rotor yang terdiri dari sederetan batang-batang konduktor yang terletak pada alur-alur sekitar permukaan rotor, ujung-ujungnya dihubungkan singkat dengan menggunakan cincin hubung singkat (shorting ring) atau disebut juga dengan end ring.



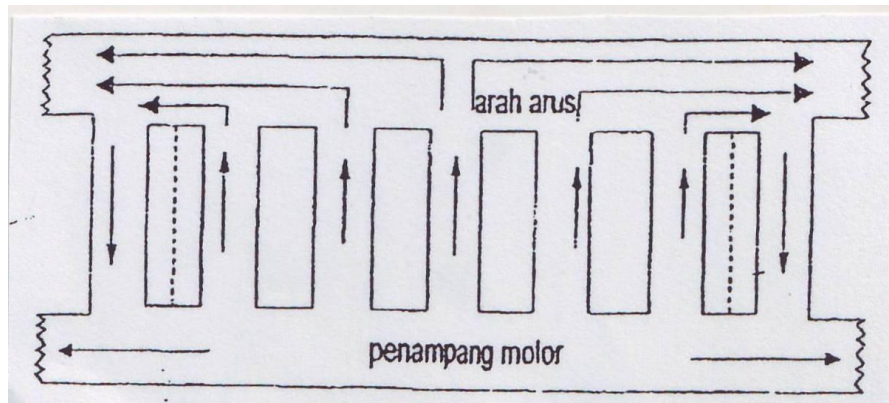
Gambar 2.8 (a) Rotor sangkar tupai dan bagian-bagiannya.  
(b) Motor induksi 3 fasa rotor sangkar tupai.

### 2.4.3 Beda Motor Induksi Rotor Sangkar Dengan Rotor Lilit

Rotor Sangkar dapat dianggap sebagai lilitan – lilitan seri dengan langkah penuh (full pitch). Lilitan – lilitan seri tersebut dibentuk oleh pasangan – pasangan batang konduktor yang ujung – ujungnya disatukan oleh cincin hubung singkat, untuk jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.9.

Jika kita bandingkan antara rotor sangkar dan rotor lilit ada perbedaan-perbedaan sebagai berikut :

1. Karakteristik motor induksi rotor sangkar sudah fixed, sedang pada motor induksi dengan rotor lilit masih dimungkinkan variasi karakteristiknya dengan cara menambahkan rangkaian luar melalui slip ring/sikatnya.
2. Jumlah kutub pada rotor sangkar menyesuaikan terhadap jumlah kutub pada lilitan statornya, sedangkan jumlah kutub pada rotor sudah tertentu.



Gambar 2.9 Arus pada rotor sangkar

Suatu keuntungan dari motor induksi dengan rotor lilit adalah dapat ditambah tahanan luar. Hal ini sangat menguntungkan untuk starting motor pada beban yang berat dan sekaligus sebagai pengatur putaran motor. Rangkaian motor induksi dengan rotor lilit, dilengkapi dengan tahanan luar. Dalam penggunaannya rotor sangkar lebih banyak dipakai sebab harganya murah. Kelemahan pada starting torque diatasi dengan konstruksi double squirrel cage dan deep bar cage.

## 2.5 Prinsip Kerja Motor Induksi

Pada dasarnya ada beberapa prinsip penting pada motor – motor induksi yaitu :

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator, timbullah medan putar dengan kecepatan.
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul induksi (ggl) sebesar :  
$$E_2 = 4,44.f_2.N_2.m$$
4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I).
5. Adanya arus didalam medan magnet menimbulkan gaya pada motor.
6. Bila kopel mula dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.



7. Tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator ( $n_s$ ) dengan kecepatan berputar rotor ( $n_r$ ).
8. Perbedaan kecepatan antara  $n_r$  dan  $n_s$  disebut slip ( $s$ ) dinyatakan dengan :
 
$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$
9. Bila  $n_r = n_s$ , tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila  $n_r$  lebih kecil dari  $n_s$ .
10. Dilihat dari cara kerjanya maka motor tak serempak disebut juga motor induksi atau motor asinkron.

### 2.6 Aliran Daya dan Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa

Pada motor induksi, tidak ada sumber listrik yang langsung terhubung dengan rotor, sehingga daya melewati celah uara sama dengan daya yang diinputkan ke rotor. Daya total yang dimasukkan pada kumparan stator ( $P_{in}$ ) dirumuskan dengan:

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :  $P_{in}$  = Daya Input (watt)

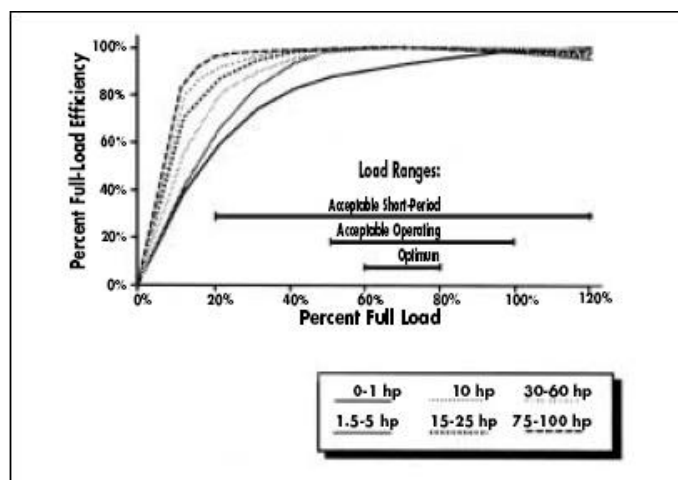
$V$  = Tegangan (volt)

$I$  = Arus (ampere)

$\cos \phi$  = Faktor Kerja

Terdapat hubungan yang jelas antara efisiensi motor dan beban. Pabrik motor membuat rancangan motor untuk beroperasi pada beban 50-100% dan akan paling efisien pada beban 75%. Tetapi, jika beban turun dibawah 50%, efisiensi turun dengan cepat seperti ditunjukkan pada gambar 2.10. Mengoperasikan motor dibawah laju beban 50% memiliki dampak pada faktor dayanya. Efisiensi motor yang tinggi dan faktor daya yang mendekati 1 sangat diinginkan untuk operasi yang efisien dan untuk menjaga biaya rendah untuk seluruh pabrik, tidak hanya untuk motor.

Untuk alasan ini maka dalam mengkaji kinerja motor akan bermanfaat bila menentukan beban dan efisiensinya. Pada hampir kebanyakan negara, merupakan persyaratan bagi pihak pembuat untuk menuliskan efisiensi beban penuh pada plat label motor. Namun demikian, bila motor beroperasi untuk waktu yang cukup lama, kadang-kadang tidak mungkin untuk mengetahui efisiensi tersebut sebab plat label motor kadang kala sudah hilang atau di cat. Untuk mengukur efisiensi motor, maka motor harus dilepaskan sambungannya dari beban dan dibiarkan untuk melalui serangkaian uji coba.



Gambar 2.10 Efisiensi Motor Beban (sebagai Fungsi dari % efisiensi beban penuh)

Persamaan menghitung rugi-rugi motor induksi:

$$\text{Rugi-rugi motor} = P_1 - P_2 \dots\dots\dots(2.4)$$

Persamaan menghitung efisiensi motor induksi:

$$\eta = P_2/P_1 \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

P1 = Daya Input (watt)

P2 = Daya Output (watt)

## 2.7 Kapasitas Motor Induksi

Kapasitas motor adalah batas kemampuan atau batas daya dari penerimaan beban yang terpasang untuk motor itu sendiri.

Hal-hal yang mempengaruhi kapasitas motor :

1. Faktor beban atau jenis beban
2. Faktor kondisi atau keadaan motor
3. Faktor rugi-rugi pada motor
4. Faktor Usia motor

Pada sebuah mesin listrik yang digunakan sebagai motor pompa daya listrik yang dihasilkan ditentukan oleh beberapa faktor antara lain :

A = Luas penampang pipa (m)

P = Massa jenis cairan ( $\text{kg/m}^3$ )

Q = Debit aliran ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

V = Kecepatan aliran (m/s)

## 2.8 Pompa

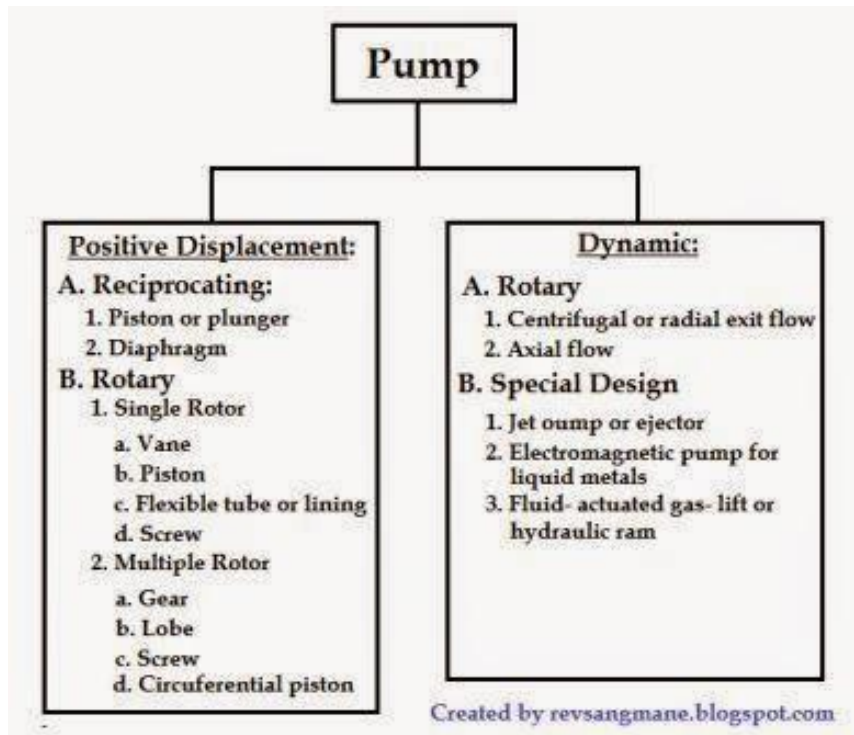
Pompa adalah suatu alat pengangkut untuk memindahkan zat cair dari suatu tempat ke tempat lain dengan memberikan gaya tekan terhadap zat yang akan dipindahkan, seperti misalnya pemindahan crude oil dari tanki penambungan bahan baku yang akan dialirkan ke kolom Destilasi. Pada dasarnya gaya tekan yang diberikan untuk mengatasi friksi yang timbul karena mengalirnya cairan di dalam pipa saluran karena beda elevasi (ketinggian) dan adanya tekanan yang harus dilawan.

Perpindahan zat cair dapat terjadi menurut arah horizontal maupun vertical, seperti zat cair yang berpindah secara mendatar akan mendapatkan hambatan berupa gesekan dan turbulensi, sedangkan zat. Pada zat cair dengan perpindahan ke arah vertical, hambatan yang timbul terdiri dari hambatan-hambatan yang diakibatkan dengan adanya perbedaan tinggi antara permukaan isap (suction) dan permukaan tekan (discharge).

## 2.9 Jenis-Jenis Pompa

Adapun Fluida cair yang dialirkan dalam pipa dengan menggunakan alat bantu berupa pompa seperti yang telah dijabarkan di atas yaitu minyak mentah. Pada bagian ini akan dijelaskan tentang jenis-jenis pompa, karena pompa hadir

dengan berbagai jenis serta fungsinya masing-masing. Pompa juga digolongkan sesuai dengan prinsip operasi dasarnya seperti pompa perpindahan positif dan pompa dinamik.



Gambar 2.11 Jenis-jenis pompa

### 2.9.1 Pompa Perpindahan Positif

Pompa ini dikenal sesuai dengan caranya beroperasi yaitu, cairan diambil dari ujung dan dipindahkan ke ujung lain yang dialirkan secara positif, pompa ini digunakan di berbagai macam sektor untuk memindahkan air maupun fluida yang kental. Pompa perpindahan positif digolongkan berdasarkan cara pemindahannya:

#### 2.9.1.1 Pompa Reciprocating

Yaitu dimana energi mekanis dari penggerak pompa dikonversikan menjadi energi dinamis/potensial pada cairan yang dipindahkan dengan cara melalui elemen pemindah yang bergerak secara bolak-balik di dalam silinder. Elemen pemindah yang bergerak bolak-balik disebut pompa (piston) dan plunyer. Torak biasanya ukuran diameter relatif lebih besar dari panjangnya, sedangkan



plunyer diameternya jauh lebih kecil dibanding panjangnya. Prinsip dari pompa Reciprocating yaitu, perpindahan dilakukan oleh maju mundurnya jarum poston, pompa ini hanya digunakan untuk pemompaan cairan kental misalnya saja dari sumur minyak.

### **2.9.1.2 Pompa Rotary**

Pompa jenis ini memiliki prinsip kerja yang tidak jauh berbeda dengan pompa reciprocating, tetapi elemen pemindahannya tidak bergerak secara translasi melainkan bergerak secara rotasi di dalam casing (housing). Perpindahan dilakukan oleh gaya putaran sebuah gear, cam dan baling-baling didalam sebuah ruang bersekat pada casing yang tetap, pompa rotary selanjutnya digolongkan sebagai gear dalam, gear luar, lobe dan baling-baling dorong. Pompa ini digunakan untuk layanan khusus dengan kondisi khusus yang terdapat di lokasi industri.

### **2.9.2 Pompa Dinamik**

Pompa dinamik juga dikarakteristikan oleh cara pompa tersebut beroperasi yaitu, impeler yang berputar akan mengubah energi kinetik menjadi tekanan ataupun kecepatan yang diperlukan untuk memompa fluida. Terdapat dua jenis pompa dinamik, yaitu:

#### **2.9.2.1 Pompa Desain khusus**

Pompa jenis ini dirancang untuk suatu kondisi khusus di dalam berbagai bidang sesuai dengan kebutuhannya, misalnya saja jet pump atau ejector, pompa jenis ini adalah pompa yang terdiri dari sebuah tabung pancar, nozel kovergen dan ventury yang berbentuk diffuser. Cara kerjanya ialah, pada bagian kovergen dihubungkan dengan pipa yang berfungsi sebagai pengisap cairan, fluida dapat terisap oleh pompa karena adanya daya penggerak dalam bentuk energi tekanan fluida yang selanjutnya dialirkan melalui nozel dan masuk kedalam tabung dengan kecepatan yang tinggi sehingga menyebabkan kevakuman di dalam tabung pompa. maka fluida akan terisap dan bercampur dengan fluida penggerak.



Pompa jenis ini dapat digunakan untuk mencampur dua jenis zat cair, seperti misalnya pencampuran air dengan liquid foam pada pemadam kebakaran.

### 2.9.2.2 Pompa Sentrifugal

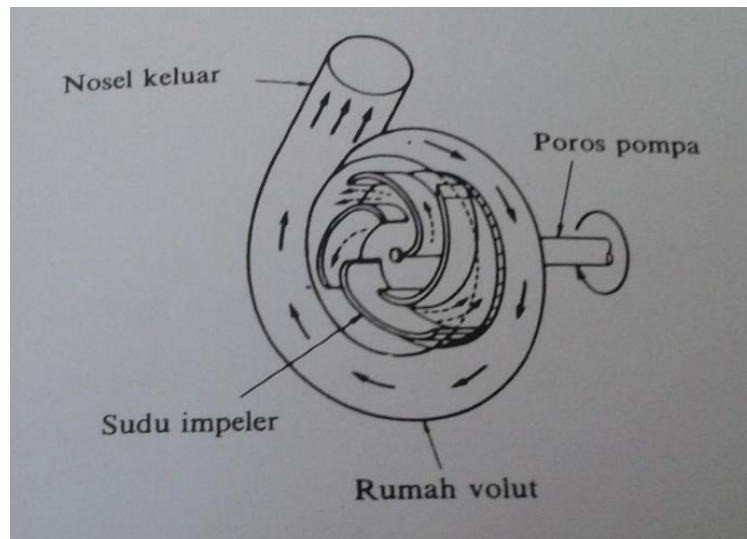
Pompa ini merupakan pompa yang sangat umum didalam suatu industri, biasanya sekitar 70% pompa yang digunakan dalam suatu industri ialah pompa sentrifugal. Pompa Sentrifugal adalah pompa dengan prinsip kerja merubah energi kinetis (kecepatan) cairan menjadi energi potensial (tekanan) melalui suatu impeler yang berputar dalam suatu casing. Pompa ini terdiri dari komponen utama berupa kipas (impeler) yang dapat berputar dalam sebuah casing (rumah pompa), casing tersebut dihubungkan dengan saluran isap dan saluran tekan. Untuk menjaga agar didalam casing selalu terisi cairan, maka ada saluran isap yang harus dilengkapi dengan katup kaki (foot valve). Impeler yang berputar akan memberikan gaya sentrifugal sehingga cairan yang ada pada bagian pusat impeler akan terlempar keluar dari impeler yang kemudian ditahan casing sehingga menimbulkan tekanan alir.



Gambar 2.12 Pompa Sentrifugal

### 2.10 Prinsip Kerja Pompa

Pompa sentrifugal seperti diperlihatkan dalam gambar mempunyai sebuah impeler (baling – baling) untuk mendapatkan zat cair dari tempat yang lebih rendah ketempat yang lebih tinggi.



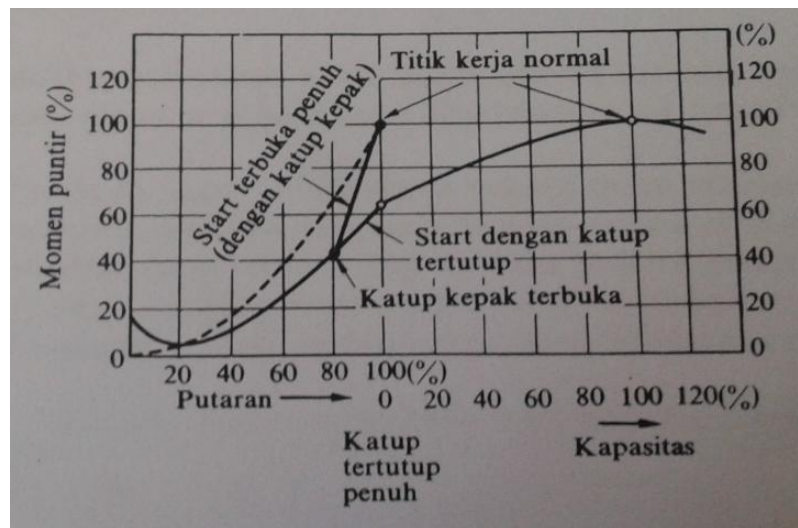
Gambar 2.13 Bagan Aliran Fluida di dalam Pompa Sentrifugal

Daya dari luar diberikan kepada poros pompa untuk memutar impeler di dalam zat cair. Maka zat cair yang ada di dalam impeler oleh dorongan sudu – sudu ikut berputar, karena timbul gaya sentrifugal maka zat cair mengalir dari tengah impeler ke luar melalui saluran diantara sudu – sudu. Disini pula head kekecepatannya bertambah besar karena zat cair mengalami percepatan. Zat cair yang keluar dari impeler ditampung oleh saluran berbentuk spiral di keliling impeler dan disalurkan ke luar pompa melalui nosel. Di dalam nosel ini sebagian head kecepatan aliran diubah menjadi head tekanan.

Jadi impeler pompa berfungsi memberikan kerja kepada zat cair sehingga energi yang dikandungnya menjadi bertambah besar. Selisih energi persatuan berat atau head total zat cair antara flens isap dan flens keluar pompa disebut head total pompa. Dari uraian di atas jelas bahwa pompa sentrifugal dapat mengubah energi mekanik dalam bentuk kerja poros menjadi energi fluida. Energi inilah yang mengakibatkan pertambahan head tekanan, head kecepatan dan head potensial pada zat cair yang mengalir secara kontinu.

## 2.11 Momen Awal

Pada waktu pompa mulai dijalankan, maka besarnya tahanan karena beban zat cair yang terpompa adalah berbanding lurus dengan kuadrat putarannya. Namun untuk dapat mulai berputar dari keadaan berhenti diperlukan momen permulaan yang sedikit lebih besar untuk melawan gesekan statis pada bantalan dan paking.



Gambar 2.14 Kurva Moment Puntir Awal (Start) dari Pompa Sentrifugal

Keadaan di atas digambarkan dalam gambar 2.14. Besarnya putaran dinyatakan pada skala absis sebelah kiri diagram untuk menunjukkan hubungan dengan momen pada saat percepatan putaran. Di sebelah kanan diagram, skala absis menyatakan besarnya kapasitas untuk menunjukkan hubungan dengan momen yang terjadi setelah putaran normal tercapai dan zat cair mulai dialirkan dengan membuka katup penutup.

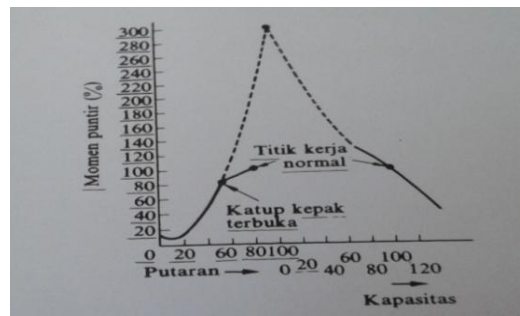
Sebagaimana terlihat dalam diagram, momen mula – mula akan menurun setelah pompa mulai berputar dari keadaan berhenti. Kemudian momen akan naik sebanding dengan kuadrat putarannya, seperti diperlihatkan dengan garis terputus – putus. Namun jika pada sisi keluar dipasang katup sorong dan pompa distart dalam keadaan katup ini tertutup, maka putaran akan mencapai putaran normal dengan momen lawan yang lebih kecil (ditunjukkan dengan garis penuh).



Jika pompa dilengkapi dengan katup kepak (flap valve) pada sisi keluarnya untuk mencegah aliran balik, momen akan naik seperti pada start dengan katup tertutup, sampai katup terbuka oleh tekanan pompa. Setelah katup kepak terbuka zat cair akan mulai mengalir dan momen akan bertambah sampai mencapai titik operasi normal seperti diperlihatkan dalam diagram. Karena berbentuk kurva daya terhadap kapasitas aliran tergantung pada jenis dan ns pompa maka cara start juga harus disesuaikan dengan bentuk kurva tersebut.

Dalam pompa sentrifugal harga minimum pada kurva momen biasanya terjadi pada titik kapasitas aliran sama dengan nol. Dengan demikian, pompa jenis ini dalam banyak hal di start dalam keadaan katup sorong tertutup. Katup dibuka setelah putaran normal tercapai. Untuk pompa aliran aksial, seperti terlihat dalam gambar 2.15 yang mempunyai daya besar pada kapasitas aliran yang rendah, cara tersebut seperti diuraikan di atas adalah kurang ekonomis.

Jika pompa semacam ini di start dengan katup tertutup maka akan diperlukan daya yang lebih besar dibandingkan dengan yang diperlukan pada kapasitas normalnya. Jadi cara start yang terbaik untuk pompa aksial ialah dengan terlebih dahulu membuka katup sorongnya, untuk mencegah aliran balik dapat digunakan katup kepak pada sisi keluarnya, jika pompa distart dengan cara ini, mula – mula momen akan naik sepanjang kurva moment terhadap putaran, seperti halnya pada keadaan katup tertutup. Tekanan keluar juga akan naik hingga melebihi tekanan dari luar yang bekerja pada katup kepak. Dengan demikian katup kepak akan terbuka sebelum putaran normal tercapai. Kurva momen terhadap putaran akan menimpang ke momen pada titik putaran normal. Dengan demikian momen yang berlebihan dapat dicegah dan daya motor penggerak yang diperlukan dapat dikurangi menjadi sebesar daya yang diperlukan pada titik putaran normal.



Gambar 2.15 Kurva Aliran Momen Puntir Awal dari Pompa Aliran Aksial

## 2.12 Spesifikasi Pompa

Dalam memilih suatu pompa untuk suatu maksud tertentu, terlebih dahulu harus diketahui kapasitas aliran serta head yang diperlukan untuk mengalirkan zat cair yang akan di pompa. Selain itu agar pompa dapat bekerja tanpa mengalami kavitasi, perlu ditaksir berapa tekanan minimum yang tersedia pada sisi masuk pompa yang terpasang pada instalasinya. Atas dasar tekanan isap ini maka putaran pompa dapat ditentukan seperti tersebut diatas. Tetapi apabila perubahan kondisi operasi sangat besar khususnya perubahan kapasitas dan head maka putaran dan ukuran pompa yang akan dipilih harus ditentukan dengan memperhitungkan hal tersebut.

Selanjutnya untuk menentukan penggerak mula yang akan dipakai harus lebih dahulu dilakukan penyelidikan tentang jenis sumber tenaga yang dapat dipergunakan di tempat yang bersangkutan. Contoh data yang umumnya diperlukan untuk memilih pompa disajikan dalam tabel 2.1. Cara untuk menentukan spesifikasi pompa seperti harga – harga yang dikemukakan di atas, jenis, diameter pompa dan daya yang diperlukan akan diuraikan seperti berikut ini.

Tabel 2.1 Data yang diperlukan untuk pemeliharaan pompa

No.	Data yang diperlukan	Keterangan
1.	Kapasitas	Diperlukan juga keterangan mengenai kapasitas maksimum dan minimum.
2.	Kondisi isap	Tinggi isap dari permukaan air isap ke level pompa.



		Tinggi fluktuasi permukaan air isap. Tekanan yang bekerja pada permukaan air isap. Kondisi pipa isap.
3.	Kondisi luar	Tinggi permukaan air keluar ke level pompa. Tinggi fluktuasi permukaan air keluar. Besarnya tekanan pada permukaan air keluar. Kondisi pipa keluar.
4.	Head total pompa	Harus ditentukan berdasarkan kondisi – kondisi di atas.
5.	Jenis zat cair	Air tawar, air laut, minyak, zat cair khusus (kimia), temperatur, berat jenis, viskositas, kandungan zat padat,dll.
6.	Jumlah pompa	
7.	Kondisi kerja	Kerja terus – menerus, terputus – putus, jumlah jam kerja seluruhnya dalam setahun.
8.	Penggerak	Motor listrik, motor bakar torak, turbin uap.
9.	Poros tegak atau mendatar	Hal ini kadang – kadang ditentukan oleh pabrik pompa yang bersangkutan berdasarkan instalasinya.
10.	Tempat instalasi	Pembatasan – pembatasan pada ruang instalasi, ketinggian di atas permukaan laut, di luar atau di dalam gedung, fluktuasi temperatur.

### 2.13 Diameter pipa dan kecepatan aliran

Diameter pipa dan kecepatan aliran merupakan dua parameter yang selalu ada dalam system pemompaan. Untuk menghitung dua parameter tersebut digunakan persamaan berikut :

$$D_i = 3,9 \cdot QF^{0,45} \cdot \rho^{0,13} \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana

$D_i$  = diameter dalam pipa mm atau inch,



Q = kapasitas /debit aliran m<sup>3</sup>/jam atau Liter/menit,

ρ = berat jenis fluida dalam kg/m<sup>3</sup>.

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana

V = Kecepatan aliran fluida m/dt

Q = Debit aliran /kapasitas m<sup>3</sup>/jam atau Liter/menit

A = Luas permukaan m<sup>2</sup>.

### 2.14 Friction Loss Pipa dan Fitting

Friction loss pipa dan fitting terjadi disebabkan gesekan antara air didalam permukaan pipa dan fitting, sehingga menimbulkan gaya gesek, inilah yang menyebabkan hambatan pada tekanan pompa, besarnya friction loss tergantung dari jenis material yang digunakan, diameter pipa dan panjang pipa. Dengan menggunakan pendekatan metode hazen William maka persamaan untuk menentukan besarnya friction loss adalah sebagai berikut :

$$H_F = H_L \times L_{\text{pipa}} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$HL = \left( \frac{3,35 \times 10^6 \times Q}{d^{2,63} \times C} \right) \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana :

Hfpipa = Friction Loss pipa m

Lpipa = Panjang pipa m

HL = Head Loss pipa m/100m

Q = Debit pompa liter/detik

d = Diameter dalam pipa mm, inch

C = Constanta Hazen William

Berikut adalah tabel nilai C untuk inlet diameter pipa.



Tabel 2.2 Nilai C untuk constanta Hazen William inlet diameter pipa min dan max

No	Material Pipa	Inlet Dia. Mm	Nilai C
1	Stainless steel	26,6	130
		303,3	142
2	Galvanized Pipe	27,3	116
		155,3	129
3	Steel Pipe Sch 40	26,6	130
		303,3	142
4	Copper	23,0	141
		223,3	146
5	Ductile cast iron uncoated K12	81,5	118
		326,2	126
6	Polyethilene class 6	21,7	140
		278,0	140
7	PVC class 15	29,0	142
		138,7	151

### 2.15 Total Head Pompa

Total head pompa adalah kemampuan tekanan maksimum pada titik kerja pompa, sehingga pompa tersebut mampu mengalirkan air/fluida dari satu tempat ke tempat lainnya.

Seperti diperhatikan dalam gambar 2.16 head total pompa dapat ditulis sebagai berikut :

$$H = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana :

H : Head total pompa (m)

$h_a$  : Head statis total (m)

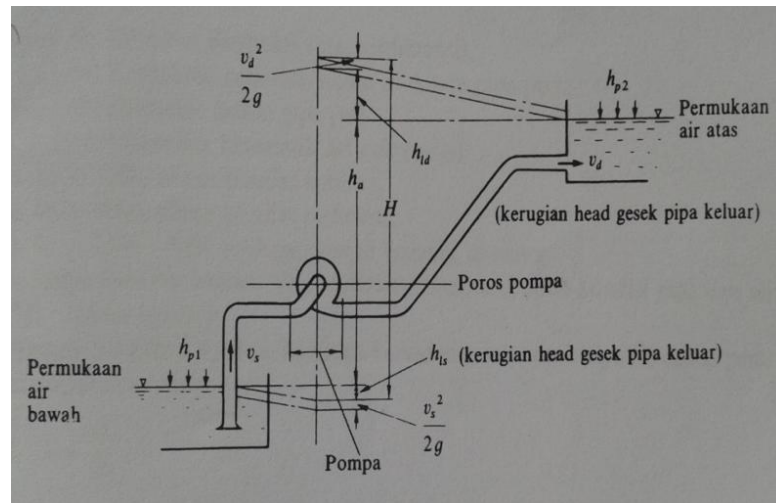
Head ini adalah perbedaan tinggi antara muka air di sisi keluar dan di sisi isap ; tanda positif (+) dipakai apabila muka air di sisi ke luar lebih tinggi dari pada sisi isap.

$\Delta h_p$  : Perbedaan head tekanan yang bekerja pada kedua permukaan air (m)

$$\Delta h_p = h_{p2} - h_{p1} \dots\dots\dots(2.12)$$

$h_l$  : Berbagai kerugian head di pipa, katup, belokan, sambungan dan lain – lain (m)





Gambar 2.16 Head Pompa

$v^2/2g$  : Head kecepatan keluar (m)  
 $g$  : Percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

### 2.15.1 Head Kerugian Gesek

Untuk menghitung kerugian gesek di dalam pipa dapat dipakai salah satu dari dua rumus berikut ini :

$$v = 0,849CR^{0,63}S^{0,54} \dots\dots\dots(2.13)$$

Atau

$$hf = \frac{10,666Q^{1,85}}{C^{1,85}D^{4,85}} \times L \dots\dots\dots(2.14)$$

dimana :

- $v$  = Kecepatan rata-rata di dalam pipa (m/s)
- $C$  = Koefisien, seperti diberikan dalam tabel 2.3
- $R$  = Jari-jari hidrolik (m)
- $S$  = Gradien hidrolik
- $hf$  = Kerugian head (m)
- $Q$  = Laju aliran ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $L$  = Panjang pipa (m)

Tabel 2.3 Kondisi pipa dan harga C (formula Hazen – William)

Jenis Pipa	C
Pipa besi cor baru	130
Pipa besi cor tua	100
Pipa baja baru	120-130
Pipa baja tua	80-100
Pipa dengan lapisan semen	130-140
Pipa dengan lapisan ter arang batu	140

### 2.15.2 Head Kerugian Dalam Jalur Pipa

Dalam aliran melalui jalur pipa, kerugian juga akan terjadi apabila ukuran pipa, bentuk penampang, atau arah aliran berubah. Kerugian head di tempat-tempat transisi yang demikian itu dapat dinyatakan secara umum dengan rumus :

$$hf = f \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$f = 0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R}\right)^{3,5} \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0,5} \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana :

v = Kecepatan rata-rata didalam pipa (m/s)

f = Koefisien kerugian

g = percepatan gravitasi ( 9,8 m/s<sup>2</sup>)

hf = Kerugian head (m)

D = Diameter dalam pipa (m)

R =Jari-jari lengkung sumbu belokan (m)

$\theta$  = Sudut belokan (derajat)

Q = Laju aliran (m<sup>3</sup>/s)



Tabel 2.4 Koefisien Kerugian Dari Berbagai Katup

Jenis Katup	Diameter (mm)				
	100	150	200	250	300
Katup Sorong	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07
Katup Cegah Jenis Ayun			1,2	1,15	1,1
Katup Cegah Tutup			1,2	1,15	1,1
Katup Cegah Jenis Angkat Bebas	1,44	1,39	1,34	1,3	1,2
Katup Cegah Tutup-Cepat Jenis Pegas	7,3	6,6	5,9	5,3	4,6
Katup Isap Dengan Saringan	1,97	1,91	1,84	1,78	1,72

### 2.16 Daya Air (WHP)

Daya air atau Water Horse Power (WHP) adalah energi yang secara efektif diterima oleh air dari pompa per satuan waktu disebut daya air, yang dapat ditulis sebagai:

$$Daya Output (WHP) = Q \times H \times \rho \times G \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana:

WHP = Daya Output (Watt)

Q = Kapasitas air yang dipompakan (m<sup>3</sup>/hour)

H = Head total (m)

ρ = Massa jenis cairan (Kg/m<sup>3</sup>)

g = Gravitasi (9,8 m/s<sup>2</sup>)