



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Motor Listrik

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan di industri untuk, misalnya, memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dan lain sebagainya. Motor listrik digunakan juga di rumah sebagai penggerak *mixer*, bor listrik, *fan* atau kipas angin dan di industri. Motor listrik dalam dunia industri kadangkala disebut dengan istilah “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri.

Motor listrik dibedakan menjadi 2 yaitu motor AC dan motor DC. Motor AC merupakan motor arus bolak balik yang dapat membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu sedangkan motor arus searah(DC), sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung/ *direct-undirectional*. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana pada penyalan torque yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.<sup>1</sup>



**Gambar 2.1. Motor Induksi 3 Fasa**

(Sumber: <http://www.insinyoer.com/prinsip-kerja-motor-induksi-3-fasa/>)

---

<sup>1</sup> Daryanto. 2016. *Konsep dasar teknik elektronika kelistrikan*. Bandung. Alfabeta. Hal 91, 95-96.



## 2.2 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa

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

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator, timbulah medan putar dengan kecepatan:

$$N_s = \frac{120 \times f}{P} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

$N_s$  = Kecepatan medan putar stator (rpm).

$f$  = Frekuensi sumber daya (Hz).

$P$  = Jumlah kutub stator.

2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.

3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul induksi (ggl) sebesar :

$$E_2 = 4,44.f_2.N_2 \dots\dots\dots (2.2)$$

$$f_2 = S.f_1 \dots\dots\dots (2.3)$$

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 :

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.4)$$



Dimana :

$S$  = Slip atau selisih putaran rotor dan stator pada motor induksi

$N_s$  = Kecepatan medan Putar stator (rpm)

$N_r$  = Kecepatan medan putar rotor (rpm)

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  $N_s$ .

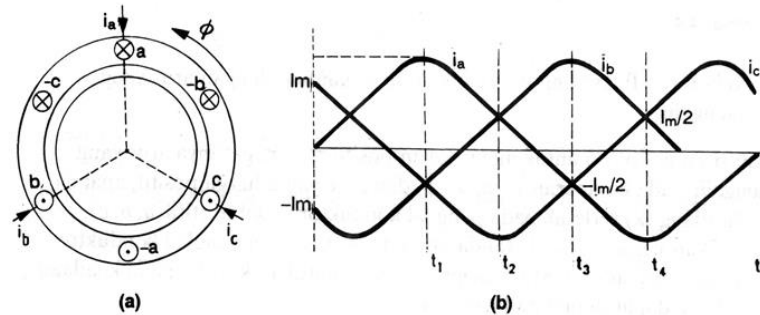
10. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron.<sup>2</sup>

### 2.3. Medan Putar Motor Induksi

Perputaran motor pada mesin arus bolak-balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dalam fasa banyak, umumnya fasa 3. Hubungan dapat berupa hubungan bintang atau delta. Misalkan kumparan  $a$  - $a$ ;  $b$  - $b$ ;  $c$  - $c$  dihubungkan 3 fasa, dengan beda fasa masing – masing  $120^\circ$  (gambar 2.2a) dan dialiri arus sinusoid. Distribusi arus  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  sebagai fungsi waktu adalah seperti gambar 2.2b. Pada keadaan  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ , dan  $t_4$ , fluks resultan yang ditimbulkan oleh kumparan tersebut masing-masing adalah seperti gambar  $c$ ,  $d$ ,  $e$ , dan  $f$ .

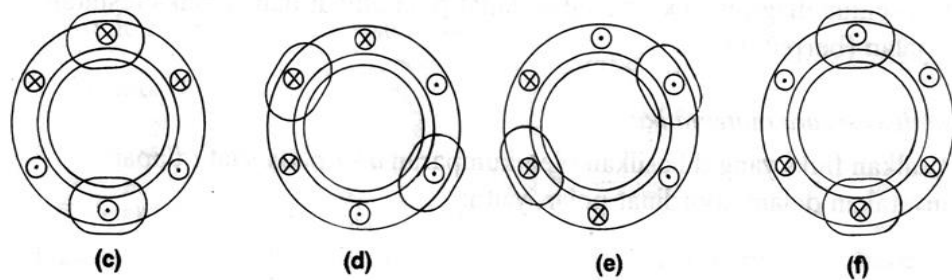
Pada  $t_1$  fluks resultan mempunyai arah sama dengan arah fluks yang dihasilkan oleh kumparan  $a$  - $a$ ; sedangkan pada  $t_2$ , fluks resultannya mempunyai arah sama dengan arah fluks yang dihasilkan oleh kumparan  $c$  - $c$ ; dan untuk  $t_3$  fluks resultan mempunyai arah sama dengan fluks yang 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.

<sup>2</sup> Zuhail. 1991. *Dasar tenaga listrik*. Bandung: ITB. Hal 68-69.



**Gambar 2.2. (a) Diagram Phasor Fluksi 3 Fasa; (b) Arus 3 Fasa Setimbang.**

(Sumber: <http://ariestarligh.blogspot.com/2011/04/perinsip-medan-putar.html?m=1>)



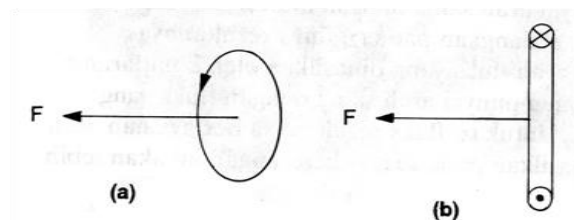
**Gambar 2.3. Medan Putar Pada Motor Induksi 3 Fasa.**

(Sumber: : <http://ariestarligh.blogspot.com/2011/04/perinsip-medan-putar.html?m=1>)

Dari gambar 2.3. c, d, e, dan f tersebut terlihat fluks resultan ini akan berputar satu kali.

Analisis secara vector di dapatkan atas dasar :

1. Arah fluks yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir dalam suatu lingkaran sesuai dengan perputaran sekrup lihat pada gambar 2.4. dibawah ini.

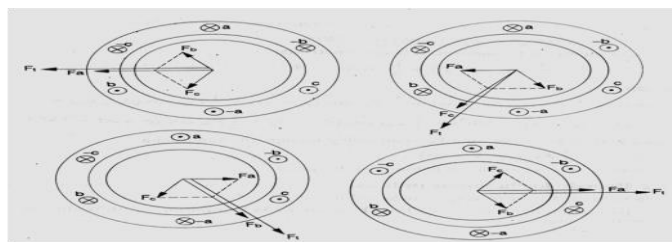


**Gambar 2.4. Arah Fluks Yang Ditimbulkan Oleh Arus Yang Mengalir Dalam Suatu Lingkaran.**

(Sumber: : <http://ariestarligh.blogspot.com/2011/04/perinsip-medan-putar.html?m=1>)



2. Kebesaran fluks yang ditimbulkan ini sebanding dengan arus yang mengalir. Notasi yang dipakai untuk menyatakan positif atau negatifnya arus yang mengalir pada kumparan  $a$   $-a$ ,  $b$   $-b$ , dan  $c$   $-c$  yaitu: harga positif, apabila tanda silang (x) terletak pada pangkal konduktor tersebut (titik  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ), sedangkan negatif apabila tanda titik (.) terletak pada pangkal konduktor tersebut (gambar 2.5). Maka diagram vektor untuk fluks total pada keadaan  $t1$ ,  $t2$ ,  $t3$ ,  $t4$ , dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah ini.<sup>3</sup>



**Gambar 2.5. Diagram Vektor Untuk Fluks Total Pada Keadaan  $t1$ ,  $t2$ ,  $t3$ ,  $t4$ .**

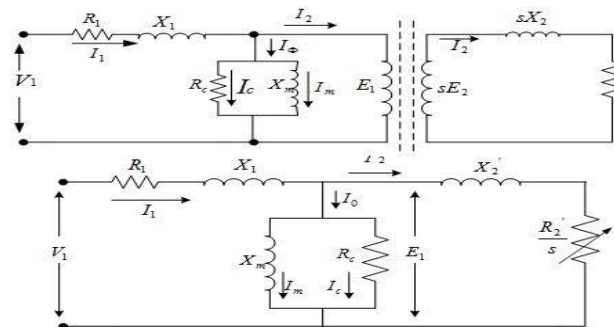
(Sumber: <http://ariestarlight.blogspot.com/2011/04/perinsip-medan-putar.html?m=1>)

Dari semua diagram vektor di atas dapat pula dilihat bahwa fluks resultan berjalan (berputar).

#### 2.4. Rangkaian Ekivalen Motor Induksi

Kerja motor induksi seperti juga kerja transformator adalah berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Kerja motor induksi tergantung pada tegangan dan arus induksi pada rangkaian rotor dari rangkaian stator. Rangkaian ekivalen motor induksi mirip dengan rangkaian ekivalen trafo. Rangkaian tersebut dapat dilihat pada gambar 2.6. dibawah ini :

<sup>3</sup> Zuhail. 2000. *Dasar teknik tenaga listrik dan elektronika daya*. Jakarta. PT. Gramedia pustaka utama. Hal 102-104.



**Gambar 2.6. Rangkaian Ekivalen Motor Induksi.**

(Sumber: : <http://ariestarlight.blogspot.com/2011/04/perinsip-medan-putar.html?m=1>)

Dimana :

$X_2$  : Reaktansi kumparan rotor

$R_c$  : Tahanan inti besi

$X_m$  : Reaktansi rangkaian penguat

$I$  : Arus yang mengalir pada kumparan stator bila motor tidak berbeban ( beban nol )

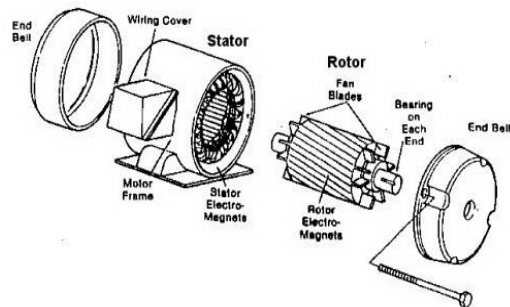
$I_2$  : Arus rotor yang berpatokan pada stator

$E_1$  : Tegangan induksi pada kumparan stator<sup>4</sup>

## 2.5. Komponen Motor Induksi

Komponen dalam motor listrik sangatlah banyak, akan tetapi komponen-komponen tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu bagian komponen utama dan bagian komponen pelengkap. Komponen utama terdiri dari stator dan rotor, sedangkan komponen pelengkap terdiri dari celah udara, terminal, bearing, badan motor, slip ring, kipas atau baling-baling, dan tutup motor atau *cover* motor.

<sup>4</sup> Zuhail. 2000. *Dasar teknik tenaga listrik dan elektronika daya*. Jakarta. PT. Gramedia pustaka utama. Hal 108.



**Gambar 2.7. Konstruksi Motor Induksi**

(Sumber: <https://ilmulistrikzar.blogspot.com/2015/07/motor-induksi-induction-motor.html?m=1>)

### 2.5.1. Stator



**Gambar 2.8. Stator Pada Motor Induksi**

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

Pada bagian stator terdapat beberapa *slot* yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga kumparan yang masing – masing berbeda dan menerima arus dari tiap fasa tersebut yang disebut kumparan stator. Stator terdiri dari plat – plat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyak alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi. Jika kumparan stator mendapatkan suplai arus tiga fasa maka pada kumparan tersebut akan timbul *flux* magnet putar. Karena adanya *flux* magnet putar pada kumparan stator, mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator. Kecepatan ini disebut kecepatan sinkron dalam arti kecepatan stator tidak berubah namun kecepatan rotor yang akan berubah, yang ditentukan dengan persamaan 2.1, Stator mempunyai bagian :



➤ Bodi motor (gandar)

Fungsi utama dari bodi atau gandar motor adalah sebagai bagian dari tempat mengalirnya fluks magnet yang dihasilkan kutub – kutub magnet, karena itu beban motor dibuat dari bahan ferromagnetik. Disamping itu badan motor ini berfungsi untuk meletakkan alat – alat tertentu dan melindungi bagian – bagian mesin lainnya. Biasanya pada motor terdapat papan nama atau *nameplate* yang bertuliskan spesifikasi umum dari motor.

➤ Inti Kutub Magnet dan Lilitan Penguat Magnet

Sebagaimana diketahui bahwa fluks magnet yang terdapat pada motor arus searah dihasilkan oleh kutub magnet buatan yang dibuat dengan prinsip elektromagnetis. Lilitan penguat magnet berfungsi untuk mengalirkan arus listrik agar terjadi proses elektromagnetis.

➤ Sikat-sikat dan Pemegang Sikat

Fungsi dari sikat adalah sebagai jembatan bagi aliran arus dari sumber dan biasanya terbuat dari bahan arang.<sup>5</sup>

### 2.5.2. Rotor

Rotor dari motor induksi ada dua macam, yaitu rotor sangkar tupai (*squirrel cage rotor*) dan rotor lilit (*wound rotor*). Rotor motor induksi tidak berputar pada kecepatan sinkron tetapi sedikit ketinggalan atau terjadi selisih jumlah putaran antara putaran stator dan putaran rotor. Ketinggalan atau selisih tersebut biasanya dinyatakan sebagai persentase kecepatan sinkron yang disebut slip, dan dirumuskan dengan persamaan 2.4. Rotor adalah bagian yang berputar pada motor induksi yang konstruksinya terdiri dari :

<sup>5</sup> Sunitra, Al ambari. 2014. Efisisensi motor sirkulasi yang digunakan sebagai pompa sirkulasi [Laporan akhir]. Palembang (ID): Politeknik Negeri Sriwijaya.





➤ Inti Kutub

Pada bagian inti kutub terdapat poros dan inti rotor yang memiliki fungsi sebagai jalan atau jalur fluks magnet yang dibangkitkan oleh kumparan medan.

➤ Kumparan Medan

Pada kumparan medan memiliki dua bagian yaitu bagian penghantar sebagai jalur untuk arus pemacuan dan bagian isolasi yang harus benar-benar baik dalam hal kekuatan mekanismenya untuk ketahanan suhu yang tinggi.

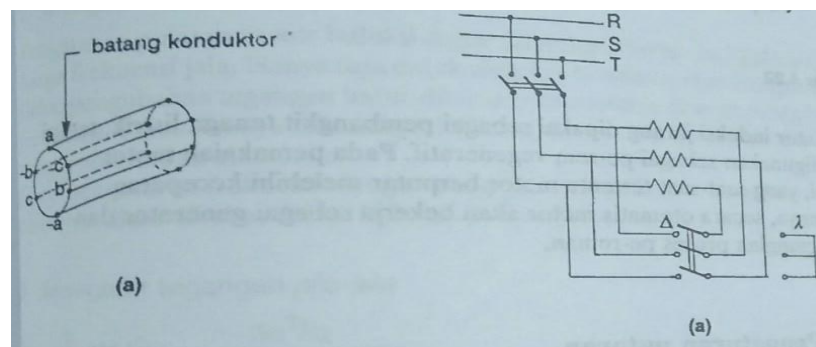
### 1. Motor Induksi Jenis Rotor Sangkar



**Gambar 2.9. Rotor Sangkar motor induksi**

(Sumber: <https://www.kelistrikanku.com/2016/06/memeriksa-motor-listrik.html?m=1>)

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri dari beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa hingga menyerupai sangkar tupai. Konstruksi rotor seperti ini sangat sederhana bila dibandingkan dengan rotor mesin listrik lainnya. Dengan demikian harganya pun murah karena konstruksinya yang demikian, padanya tidak mungkin diberikan pengaturan tahanan luar seperti pengaturan motor induksi dengan motor belitan. Untuk membatasi arus mula yang besar, tegangan sumber harus dikurangi dan biasanya digunakan autotransformator atau saklar  $\lambda - \Delta$ . Tetapi berkurangnya arus akan berakibat berkurang kopel mula. Untuk mengatasi hal ini dapat digunakan rotor jenis sangkar ganda.

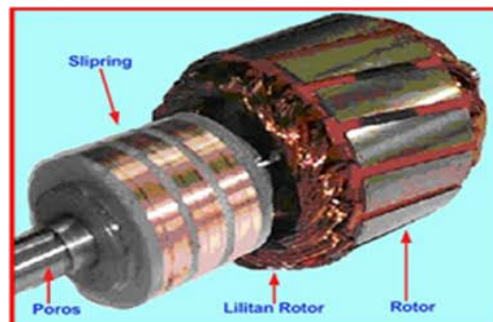


**Gambar 2.10. Batang Konduktor Dan Saklar Y-D**

(Sumber: Dokumentasi pribadi dari buku Zuhail. 1991. *Dasar tenaga listrik*. Bandung: ITB.

Hal 82)

## 2. Motor Induksi Jenis Rotor Belitan



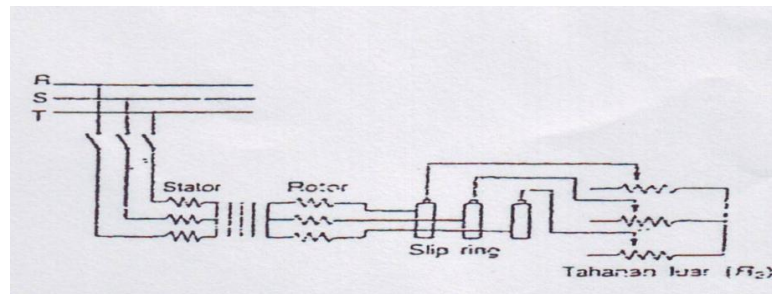
**Gambar 2.11. Rotor Belitan Pada Motor Induksi**

(Sumber: <https://circuitbooks.files.wordpress.com/2012/10/picture6.png>)

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan belitan kumparan tiga fasa sama seperti kumparan stator. Kumparan stator dan rotor juga mempunyai jumlah kutub yang sama. penambahan tahanan luar sampai harga tertentu, dapat membuat kopel mula mencapai harga kopel maksimumnya. Kopel mula yang besar memang diperlukan pada waktu *start*. Motor induksi dengan rotor belitan memungkinkan penambahan(pengaturan) tahanan luar yang dapat diatur ini dihubungkan ke rotor melalui cincin (gambar 2.12). Selain untuk menghasilkan kopel mula yang besar, tahanan luar tadi diperlukan untuk



membatasi arus mula yang besar pada saat start. Disamping itu dengan mengubah-ubah tahanan luar, kecepatan motor dapat diatur.



**Gambar 2.12. Rangkaian Rotor Belitan<sup>6</sup>**

(Sumber: docplayer.info/docs-images/66/56225543/images/9-1.jpg)

### 2.5.3. Main Shaft (Poros Utama)



**Gambar 2.13. Main Shaft Pada Motor**

(Sumber : [www.builder.id/wp-content/uploads/2018/07/Main-shaft.jpg](http://www.builder.id/wp-content/uploads/2018/07/Main-shaft.jpg))

Poros utama adalah komponen logam yang memanjang sebagai tempat menempelnya beberapa komponen. Selain rotor *coil*, komponen yang menempel pada poros ini adalah *drivepulley*. Umumnya poros utama terbuat dari bahan aluminium yang anti karat. Selain itu komponen ini juga harus stabil pada putaran dan suhu tinggi.

<sup>6</sup> Zuhail. 1991. *Dasar tenaga listrik*. Bandung: ITB. Hal 82-83.



#### 2.5.4. Bearing



**Gambar 2.14. Bearing Pada Motor**

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

Pada stator akan menghasilkan putaran pada rotor, maka diperlukan komponen khusus yang akan dijadikan bantalan agar putaran berlangsung dengan mulus. Inilah fungsi dari bearing, sebagai bantalan antara permukaan poros dengan motor *housing*. Bearing umumnya berbahan aluminium yang memiliki gaya gesek ringan. Sehingga tidak menghambat putaran motor.

#### 2.5.5. Drive Pulley



**Gambar 2.15. Drive Pulley**

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

Komponen ini terletak diujung bagian luar poros utama. Fungsinya untuk mentransfer putaran motor menuju komponen lain. Komponen ini umumnya



berbentuk *gear* atau *pulley*, yang siap dihubungkan dengan komponen yang perlu digerakan dengan motor ini.<sup>7</sup>

### 2.5.6. Tutup (Cover)



**Gambar 2.16. Cover Motor**

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

*Cover* pada motor merupakan pelindung motor dari gangguan lingkungan sekitar serta sebagai pelindung makhluk hidup sekitar dari bahaya yang ditimbulkan motor ketika beroperasi.

### 2.5.7. Kipas



**Gambar 2.17. Kipas (Fan) Pada Motor**

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

Kipas pada motor berfungsi sebagai media pendingin saat motor beroperasi sehingga motor dapat terhindar dari temperature yang tinggi.

---

<sup>7</sup> <https://www.autoexpose.org/2017/05/komponen-motor-listrik.html?m=1> (Diakses pada tanggal 10 juni 2019 pukul 14.30 WIB).



### 2.5.8. Terminal



**Gambar 2.18. Terminal pada motor**

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

Terminal adalah titik penyambungan sumber tenaga dengan ujung ujung kumparan motor.

### 2.6. Reaktansi

Reaktansi induktif menyebabkan arus tertinggal di belakang tegangan yang digunakan, sedangkan rangkaian kapasitif menyebabkan arus mendahului tegangan. Oleh sebab itu, jika reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif dihubungkan secara seri, pengaruhnya saling menetralkan dan pengaruh gabungannya adalah selisihnya. Pengaruh gabungan antara reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif disebut reaktansi dan ditentukan dengan menggunakan reaktansi kapasitif dari reaktansi induktif, atau dalam persamaan sebagai berikut:

$$X = X_L - X_C \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$X$  = Reaktansi ( $\Omega$ )

$X_L$  = Reaktansi induktif ( $\Omega$ )

$X_C$  = Reaktansi kapasitif ( $\Omega$ )



## 2.7. Impedansi

Impedansi adalah total perlawanan yang diberikan oleh rangkaian terhadap aliran arus. Ini merupakan pengaruh gabungan tahanan dan reaktansi dari suatu rangkaian. Simbol impedansi adalah  $Z$ , dan diukur dalam satuan ohm. Impedansi rangkaian AC sama dengan tegangan efektif yang dikenakan dibagi dengan arus efektif yang mengalir, atau

$$Z = \frac{V}{I} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dan

$$R = Z \cos \vartheta \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

$Z$  = Impedansi ( $\Omega$ )

$V$  = Tegangan ( $V$ )

$I$  = Arus ( $A$ )

Dalam rangkaian yang hanya mengandung tahanan, penurunan  $IR$  sefase dengan arus. Dalam rangkaian yang mengandung reaktansi induktif saja, penurunan  $IX_L$  mendahului arus  $90^\circ$ , yang tentu saja ekuivalen dengan mengatakan arus tertinggal  $90^\circ$  dari penurunan  $IX_L$ . Demikian juga halnya dalam rangkaian kapasitif penurunan  $IX_C$  tertinggal  $90^\circ$  dari arus. Dalam rangkaian yang mengandung baik tahanan maupun reaktansi, penurunan tegangan totalnya, atau penurunan  $IZ$  adalah sama dengan jumlah dari penurunan  $IR$  dan  $IX$ . Oleh karena penurunan  $IR$  dan  $IX$  berbeda fasa  $90^\circ$ , maka perbedaan fasa ini harus diperhitungkan jika keduanya dijumlah. Jumlah dari dua besara fasor seperti  $IR$  dan  $IX$  yang berbeda fasa  $90^\circ$  adalah :

$\sqrt{(IR)^2 + (IX)^2}$ , maka :

$$IZ = \sqrt{(IR)^2 + (IX)^2} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dan dengan membagi kedua belah sisi dengan  $I$ , hasilnya :

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \dots\dots\dots(2.9)$$

Karena pengaruhnya berbeda, maka tahanan dan reaktansi tidak dapat dijumlahkan secara aritmatik tetapi harus digabungkan sesuai dengan hubungan yang diberikan dalam persamaan (2.8).



Oleh karena reaktansi telah didefinisikan sebagai  $X_L - X_C$ , pernyataan lengkap untuk impedansi dari suatu rangkaian seri adalah :

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Jika rangkaian mengandung  $X_C$  yang dapat diabaikan dibandingkan dengan  $R$  dan  $X_L$ , pernyataan diatas menjadi :

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - 0)^2} = \sqrt{R^2 + X_L^2} \dots\dots\dots(2.11)$$

Demikian juga, jika rangkaian mengandung  $X_L$  yang dapat diabaikan, impedansi menjadi :

$$Z = \sqrt{R^2 + (0 - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + (-X_C)^2} \dots\dots\dots(2.12)$$

Tanda minus tidak mempengaruhi besarnya harga  $Z$ , karena kuadrat dari minus sama dengan bilangan positif.

## 2.8. Daya Pada Motor Induksi 3 Fasa

Pada motor induksi 3 fasa, terdapat macam – macam daya dan tentunya memiliki cara perhitungan masing – masing yang berbeda, adapun macam – macam daya tersebut yaitu :

### 2.8.1. Daya Semu

Daya semu (S) adalah jumlah secara vektoris daya aktif dan daya reaktif yang memiliki satuan volt ampere (VA). Perkalian tegangan  $V$  dengan arus  $I$  dalam kedua besaran ini dalam bentuk bilangan kompleks adalah  $VI$  yang dinamakan daya kompleks dengan simbol  $S$ , dalam satuan *Volt Amper (VA)*, *kilo Volt Amper (kVA)*, *Mega Volt Amper (MVA)*. Jadi,

$$S = \sqrt{3}.V.I \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana,  $S$  = Daya Kompleks dalam satuan VA (*Volt Amper*)

$V$  = Tegangan dalam satuan V (*Volt*)

$I$  = Arus dalam satuan A (*Amper*)





### 2.8.2. Daya Aktif

Daya aktif (P) adalah daya yang diubah menjadi energi, persatuan waktu atau dengan kata lain daya aktif adalah daya yang benar – benar terpakai yang dihasilkan oleh komponen resistif, satuannya adalah watt (W). Daya aktif atau daya nyata dirumuskan dengan  $S \cos \theta$  atau  $\sqrt{3}.V.I \cos \theta$  dengan symbol P, dalam satuan *Watt (W)*, *kilo Watt (kW)*, *Mega Watt (MW)*. Jadi,

$$P = S \cos \theta = \sqrt{3}.V.I. \cos \theta \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana, P = Daya Aktif atau Daya Nyata dalam satuan (*Watt*)

V = Tegangan dalam satuan V (*Volt*)

I = Arus dalam satuan A (*Amper*)

Cos  $\theta$  = Faktor Daya

### 2.8.3. Daya Reaktif

Daya reaktif (Q) adalah daya yang ditimbulkan oleh komponen reaktansi, daya reaktif ditentukan dari reaktansi yang menimbulkannya, dapat berupa reaktansi induktif (XL) atau reaktansi kapasitif (XC), satuannya adalah volt ampere reaktif (VAR). Daya reaktif atau daya khayal yang dirumuskan dengan  $S \sin \theta$  atau  $\sqrt{3}.V.I.\sin \theta$  dengan symbol Q, dalam satuan *Volt Amper Reaktif (VAR)*, *kilo Volt Amper Reaktif (kVAR)*, *Mega Volt Amper Reaktif (MVAR)*. Jadi,

$$Q = S \sin \theta = \sqrt{3}.V. I. \sin \theta \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana, Q = Daya Reaktif

V = Tegangan dalam satuan V (*Volt*)

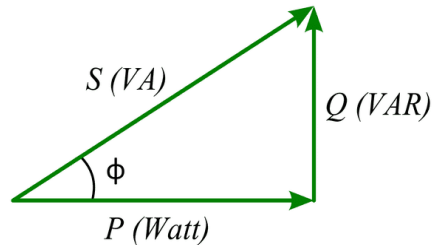
I = Arus dalam satuan A (*Amper*)

Daya reaktif ini ada yang bersifat induktif dan ada yang bersifat kapasitif.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Iskandar, M. fikri. 2015. Perbaikan motor induksi 3 yang digunakan sebagai *fan blower boom hoist fix grab jetty* IIB di pt pupuk sriwidjaja Palembang [Laporan akhir]. Palembang (ID): Politeknik Negeri Sriwijaya.



Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar sistem segi tiga daya berikut ini :



**Gambar 2.19. Sistem Segitiga Daya**

(Sumber: <https://www.google.com/amp/s/mastermepengineering.wordpress.com/2015/03/27/segitiga-daya/amp/>)

## 2.9. Torsi pada motor induksi

Torsi adalah moment putaran dari kopel. Satuan torsi adalah Newton Meter atau biasa ditulis Nm. Hubungan antara torsi ( $\tau$ ) dan daya motor ( $P$ ) adalah

$$P = \tau \cdot \omega \text{ (watt)} \dots \dots \dots (2.16)$$

Kecepatan sudut,  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$  [rad/s] dimana  $n$  adalah kecepatan putar dalam rev/s. Oleh karena itu,

$$P = 2\pi \cdot n \cdot \tau \text{ (watt)} \dots \dots \dots (2.17)$$

Jika  $n$  adalah kecepatan putar dalam rev/menit atau RPM maka persamaan Daya diatas menjadi:

$$P = 2\pi \cdot n \cdot \tau / 60 \text{ (watt)} \dots \dots \dots (2.18)^9$$

<sup>9</sup><https://www.google.com/amp/s/taufiqurrokhman.wordpress.com/2018/04/09/kopel-dan-torsi/amp/?espv=1> ((Diakses pada tanggal 10 juli 2019 pukul 17.20 WIB).



## 2.10. Efisiensi Pada Motor Induksi

Seperti yang kita ketahui bahwa motor – motor listrik adalah suatu alat untuk mengkonversikan energi listrik menjadi energi mekanis. Keadaan ideal dalam sistem konversi energi, yaitu mempunyai daya *output* tepat sama dengan daya *input* yang dapat dikatakan efisiensi 100%. Tetapi pada keadaan yang sebenarnya, tentu ada kerugian energi yang menyebabkan efisiensi dibawah 100%. Dalam sistem konversi energi elektro mekanik, yakni dalam operasi motor – motor listrik terutama pada motor induksi, total daya yang diterima sama dengan daya yang diberikan, ditambah dengan kerugian daya yang terjadi, atau :

$$P_{in} = P_{out} + \sum P_{rugi-rugi} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$P_{out} = \frac{T \cdot \omega}{9,55} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$\sum P_{rugi-rugi} = I^2 \cdot R + \text{Rugi-rugi tetap} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$\sum P_{rugi-rugi} = I^2 \cdot R + (P_{terbaca} - I^2 \cdot R)$$

Dimana :

$P_{in}$  : Total daya yang diterima motor

$P_{out}$  : Daya yang diterima motor untuk melakukan kerja

$\sum P_{rugi-rugi}$  : Total kerugian daya pada motor.

$T$  : Torsi pada motor

$\omega$  : Kecepatan sudut

Motor listrik tidak pernah mengkonversikan semua daya yang diterima menjadi daya mekanik, tetapi selalu timbul kerugian daya yang semuanya berubah menjadi energi panas yang terbuang. Efisiensi motor listrik dapat didefinisikan dari bentuk diatas, sebagai perbandingan dimana :

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.22)$$



Dari persamaan diatas, perlu dipelajari faktor – faktor yang menyebabkan efesiensi selalu dibawah 100%. Untuk itu perlu diketahui kerugian daya apa saja yang timbul selama motor beroperasi.

- a) Belitan dalam motor yang dinamakan rugi – rugi listrik (rugi – rugi belitan).
- b) Kerugian daya yang timbul langsung karena putaran motor, yang dinamakan rugi – rugi rotasi. Rugi – rugi rotasi rugi-rugi ini terbagi menjadi dua jenis yaitu :
  - Rugi – rugi mekanis akibat putaran.
  - Rugi – rugi inti besi akibat kecepatan putaran dan fluks medan.<sup>10</sup>

## 2.11. Hal Yang Harus Diperhatikan Dalam Proses *Rewinding*

### 2.11.1. Meneliti Bentuk Kumparan

Perhatikan dengan teliti, apakah kumparannya termasuk kumparan terpusat atau kumparan keranjang/sisir. Berikut adalah perbedaan dari kumparan terpusat dan kumparan keranjang/sisir:

#### 1. Kumparan Terpusat

Setiap kelompok kumparan, pada kumparan terpusat terdiri (terbuat) atas beberapa kumparan dengan bentuk dan ukuran yang bertingkat. Terlihat pada gambar 2.20.



**Gambar 2.20. Kumparan Terpusat**

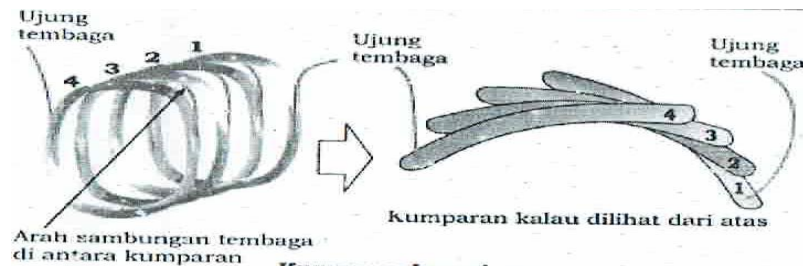
(Sumber: Dokumentasi pribadi dari buku Gunawan, Indra. 2016. Panduan menggulung ulang kumparan motor listrik satu fasa. Yogyakarta. Andi)

<sup>10</sup> Sunitra, Al ambari. 2014. Efisiensi motor sirkulasi yang digunakan sebagai pompa sirkulasi [Laporan akhir]. Palembang (ID): Politeknik Negeri Sriwijaya.



## 2. Kumparan Keranjang/Sisir

Setiap kelompok kumparan, pada kumparan keranjang/sisir terdiri (terbuat) atas beberapa kumparan dengan bentuk dan ukuran yang sama. Terlihat pada gambar 2.21.



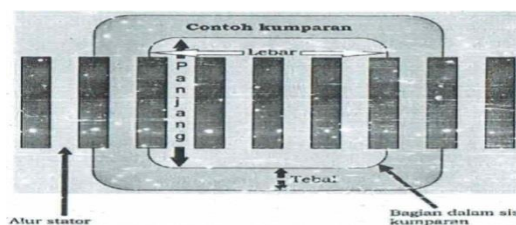
**Gambar 2.21. Kumparan Keranjang/Sisir.**

(Sumber: Dokumentasi pribadi dari buku Gunawan, Indra. 2016. Panduan menggulung ulang kumparan motor listrik satu phasa. Yogyakarta. Andi)

### 2.11.2. Mengukur Kumparan

Ada 3 cara yang bisa digunakan untuk mengetahui ukuran asli setiap kumparan, yaitu :

1. Dengan hanya menebak atau memperkirakan lebar dan panjang setiap kumparan, Cara ini tidak disarankan karena hasil atau besarnya cetakan yang dibuat sering tidak sama dengan ukuran asli kumparan
2. Mengukur secara tepat panjang, lebar, dan tebal kumparan Supaya memperoleh ukuran yang cukup akurat, bagian yang harus kita ukur adalah bagian dalam sisi kumparan ditunjukkan pada gambar 2.22.



**Gambar 2.22. Contoh Bagian Kumparan Yang Harus Diukur**

(Sumber: Dokumentasi pribadi dari buku Gunawan, Indra. 2016. Panduan menggulung ulang kumparan motor listrik satu phasa. Yogyakarta. Andi)



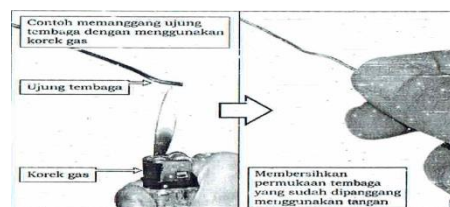
3. Mengambil sehelai tembaga dari setiap kumparan, Cara ini paling disarankan karena paling mudah, praktis, dan hasilnya cukup akurat.

### 2.11.3. Menghitung Jumlah Gulungan atau Lilitan

Hitung jumlah tembaga pada setiap kumparan yang sudah diikat dan dikeluarkan dari alur stator dengan teliti, secara berurutan dari kumparan yang terkecil sampai yang terbesar.

### 2.11.4. Mengukur Diameter Tembaga

Ditunjukkan pada gambar 2.23. Semua tembaga untuk menggulung kumparan pada motor listrik sudah dilapisi dengan bahan *isolator* atau *email* dari pabriknya. Oleh karena itu, agar kita memperoleh ukuran diameter tembaga yang akurat, bahan isolatornya harus dihilangkan dulu. Untuk menghilangkannya, tembaga bisa dipanggang (disemprot) dengan api (bisa menggunakan korek gas). Kalau bahan isolatornya sudah terkelupas, bersihkan permukaan tembaga dengan tangan sampai bahan *isolator* tersebut benar-benar hilang.



**Gambar 2.23. Membersihkan Permukaan Tembaga**

(Sumber: Dokumentasi pribadi dari buku Gunawan, Indra. 2016. Panduan menggulung ulang kumparan motor listrik satu fasa. Yogyakarta. Andi)

Sebelum mulai mengukur, kita harus mengetahui dua alat yang bisa digunakan untuk mengukur diameter suatu benda, ditunjukkan pada gambar 2.24. yaitu :

1. Jangka sorong (sigmat)

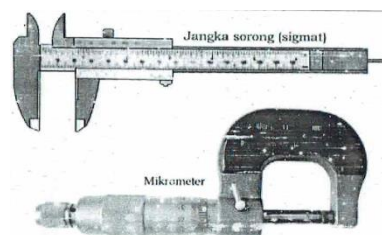
Jangka sorong ini mempunyai ketelitian sampai 0,1 mm. Akan tetapi, alat ini tidak cocok untuk mengukur diameter tembaga karena kedua



rahangnya akan merusak permukaan tembaga yang sedang diukur (diimpit) sehingga hasil pengukurannya sering kurang akurat.

## 2. Mikrometer

Mikrometer adalah alat yang tepat untuk mengukur diameter tembaga karena mempunyai ketelitian (skala terkecil) sampai 0,01 mm. Selain itu, kedua besi penekannya tidak akan merusak permukaan tembaga sehingga hasil pengukurannya lebih akurat daripada jangka sorong. Oleh sebab itu, alat ukur yang diulas disini hanya mikrometer.



**Gambar 2.24. Jangka Sorong Dan Mikrometer<sup>11</sup>**

(Sumber: Dokumentasi dari dari buku Gunawan, Indra. 2016. Panduan menggulung ulang kumparan motor listrik satu phasa. Yogyakarta. Andi)

### 2.12. Rumus-rumus *Rewinding* Pada Motor Induksi 3 Phasa

Ada beberapa macam rumus untuk menjalankan proses *rewinding* motor induksi sebagai berikut:

- Untuk mengetahui arus maksimal yang bisa mengalir pada kawat digunakan rumus :

$$I_{\text{maks}} = \frac{A^2}{0,8^2} \times 3,2 \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan :  $I_{\text{maks}}$  = arus maksimal pada kawat

$A$  = luas penampang kawat

- Untuk mengetahui jumlah kutub atau pasang kutub magnet digunakan rumus :

$$2P = G / ( Q \times m ) \dots\dots\dots (2.24)$$

<sup>11</sup> Gunawan, Indra. 2016. Panduan menggulung ulang kumparan motor listrik satu phasa. Yogyakarta. Andi. Hal 32, 39, 47-48



- Untuk menghitung banyaknya kumparan tiap kelompok (grup) pada motor :

$$q = \frac{G}{2P.m} \dots\dots\dots (2.25)$$

- Untuk menentukan langkah belitan, digunakan rumus :

$$Y_s = G / 2P \dots\dots\dots (2.26)$$

Keterangan :

Q	= banyaknya grup
m	= jumlah phasa
G	= jumlah alur / slot
P	= jumlah kutub
q	= kumparan tiap kelompok (grup)
Y <sub>s</sub>	= langkah belitan <sup>12</sup>

### 2.13. Standarisasi Dalam Penentuan Tahanan Isolasi Minimum

untuk mengetahui standar harga minimal hasil pengukuran tahanan isolasi suatu peralatan dapat dihitung dengan menggunakan rumus pendekatan :

$$R = \frac{1000.U}{Q} . U . 2,5 \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana :

R = Tahanan isolasi minimal.

U = Tegangan kerja.

Q = Tegangan Megger.

1000 = Bilangan tetap.<sup>13</sup>

<sup>12</sup> Iskandar, Fikri. Pebaikan motor induksi 3 yang digunakan sebagai fan blower boom hoist fix grab jetty IIB di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang [Laporan akhir]. Palembang (ID): Politeknik Negeri Sriwijaya.

<sup>13</sup> <http://evimuzayana.blogspot.com/2015/12/megger-mega-ohm-meter-html?m=1> (diakses pada tanggal 10 jul 2019 pukul 17.00 WIB).





Berikut adalah panduan pengujian *insulation tester* untuk tegangan DC yang diterapkan dan rating tegangan peralatan berdasarkan standar IEEE No. 43.<sup>14</sup>

<b>Rating tegangan peralatanyang akan diuji</b>	<b>Tegangan yang diterapkan pada pengujian <i>insulation resistance</i></b>
< 1000 V	500 V
1000 - 2500 V	500 V - 1000 V
2501 V - 5000 V	1000 V - 2500 V
5001 V - 12000 V	2500V - 5000 V
>12000 V	5000 V - 10000 V

**Tabel 2.1. Rating Tegangan Injek Pada Insulation Tester Berdasarkan Tegangan Kerja Peralatan.**

#### 2.14. Gangguan-Gangguan Pada Motor Induksi 3 Phasa

Kebanyakan kerusakan dari motor listrik disebabkan oleh beberapa faktor seperti : Panas, Kotor, Lembab, Vibrasi, dan Kualitas dari sumber listrik. Dengan mengetahui beberapa faktor penyebab kerusakan motor tersebut kita dapat mengurangi atau mengeliminir jumlah kerusakan, kerugian, dan ongkos perbaikan. Sehingga menurunkan biaya (costdown) operasional tentunya dalam hal maintain motor/mesin itu sendiri.

Faktor kerusakan dapat dibagi menurut beberpa faktor seperti :

A. Dibagi menurut asal sebab munculnya faktor

1. kerusakan kerusakan dari luar motor : kualitas sumber tenaga listrik, kondisi lingkungan panas/lembab/tidak ada ventilasi, kondisi beban

<sup>14</sup> <https://direktorilistrik.blogspot.com/2013/03/pengujian-tahanan-isolasi-insulation.html?m=1>  
(diakses pada tanggal 10 juli 2019 pukul 17.10 WIB)



2. kerusakan dari dalam motor : *aging*/penuaan, *lifetime* seperti dari *bearing*, rotor atau dari stator itu sendiri
- B. Dibagi menurut jenis faktor kerusakan
1. Kerusakan Karena Listrik (Kualitas Listrik)
    - Hilangnya salah satu tegangan/voltage tidak *balance*, kebanyakan lilitan motor akan terbakar karena motor akan mengalami panas yang berlebihan (*over heating*) yang disebabkan oleh *over current* karena hilangnya salah satu tegangan. untuk mengatasi faktor kerusakan ini bisa memakai *protector relay* seperti TOR/OCR (*Over Current Relay*) untuk mematikan sistem. Untuk kasus yang ini tidak akan berpengaruh pada motor yang sistem kontrolnya memakai *inverter* karena *inverter* juga bisa menjadi *protector* pada motor namun juga dapat memperpendek umur/*lifetime* dari *inverter* itu sendiri.
    - *under/over voltage*, Dapat menimbulkan *overheating* didalam *winding*, berakibat umur motor menjadi pendek. *Voltagespike* akibat *powerswitching* atau serangan halilintar (*lightningstrikes*) juga menyebabkan kerusakan isolasi *winding*. Kualitas *suply* tenaga sangat menentukan umur motor listrik, maka hal-hal diatas memang harus dihindari dengan cara menjaga kualitas listrik/mematikan sistem dari motor listrik tersebut.
  2. Kerusakan Mekanis
    - Panas /*over-heating*: Penyebab terbesar kerusakan motor sehingga motor tidak dapat mencapai umur pakai yang seharusnya ialah “*over-heating* atau panas berlebihan”, Setiap mengalami Kenaikan *temperature* 10 derajat, dari *temperature* normalnya, berakibat memotong umur motor 50% , meskipun kenaikan terjadi hanya sementara.



Sebab *over-heating*:

- Memilih motor terlalu kecil, sehingga motor harus menderita *over-current*, berarti kondisi seoperasinya lebih panas. Tetapi jika memilih motor terlalu besar berakibat pemakaian listrik tidak efisien berarti pemborosan.
  - Sistem *starting*, kebanyakan motor dipasang dengan “*directstarting*” . sistem ini menimbulkan arus *Starting-current* terlampau besar (3 kali lebih), sehingga menimbulkan panas yang besar jika sering *start-stop*. Untuk itu perlu dipasang sistem *star-delta*, *fluid-couplig*, pengubah-*frekuensi*, dll
  - *Start-stop* terlalu sering tanpa memperhartikan jeda antar waktu *start* sangat menimbulkan kerusakan.
  - *Environment – ambient temperature* tinggi, mengakibatkan *operating temperture* motor lebih tinggi dari seharusnya.
  - Ventilasi ruang kurang bagus menimbulkan sistem pendinginan motor tidak baik. Mengakibatkan *operating temperature* motor naik.
  - Kondisi motor: *fan* rusak, *body* motor kotor, saluran pendingin buntu/kotor dll.
  - Kondisi beban : kopling *misalignment*, beban terlalu besar, beban tidak normal.
- Kotor, debu / Kotoran yg terakumulasi akan merusak komponen listrik maupun mekanikal. Umumnya terakumulasi pada permukaan badan motor, saluran pendinginan, dan *fan* yang mengakibatkan pendinginan terganggu sehingga panas motor berlebih dan kotoran debu masuk lalu terkumpul kedalam *winding* yang akan menimbulkan kerusakan isolasi / *winding*.
- *Moisture* / lembab, Lembab atau embun juga merusak komponen listrik dan mekanikal, yang mengakibatkan pengkaratan pada poros, *bearing*, rotor, stator, laminasi. Jika penetrasi ke isolasi mengkaibatkan degradasi isolasi dan rusak.



➤ Vibrasi, Vibrasi merupakan indikasi bahwa kondisi motor sedang mengalami masalah. Besar Vibrasi yang melebihi harga yang diijinkan dapat menyebabkan kerusakan yang lebih parah. Sumber vibrasi dapat dari motor atau dari mesin yang digerakan (*load*) bahkan mungkin juga dari kedua-duanya. Sebab vibrasi antara lain dari kondisi :

- *Misalignment* motor terhadap *load* (mesin yang digerakan/beban),
- Kendor pada pondasi motor atau *load*
- Kondisi *Soft-foot* pada pondasi nya motor atau *load*
- Rotor *unbalance* ( Motor atau *load*)
- Bearing aus atau rusak, meyebabkan poros berputar tidak sentries
- Akumulasi karat atau kotoran pada komponen putar (rotor)
- Sewaktu memasang rotor/bearing motor sehabis *overhaul/rewinding* tidak *alignment*.

3. Beberapa sebab lain:

- Pemilihan pelumas harus sesuai spesifikasi, penggantian/penambahan dilakukan dan terjadwal dengan baik.
- Pemilihan dan pemeliharaan kopling sama pentingnya dengan komponen lain.
- pemasangan bearing dan komponen lain harus sesuai dengan standar.<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> <http://trikueni-desain-sistem.blogspot.com/2013/05/Penyebab-Kerusakan-Motor.html?m=1>  
(Diakses pada tanggal 8 juni 2019 pukul 20.00 WIB).



### 2.15. *Maintenance* (Perawatan) Mesin/Peralatan Kerja

*Maintenance* adalah suatu kegiatan untuk merawat atau memelihara dan menjaga Mesin/peralatan dalam kondisi yang terbaik supaya dapat digunakan untuk melakukan produksi sesuai dengan perencanaan. Dengan kata lain, *Maintenance* adalah kegiatan yang diperlukan untuk mempertahankan (*retaining*) dan mengembalikan (*restoring*) mesin ataupun peralatan kerja ke kondisi yang terbaik sehingga dapat melakukan produksi dengan optimal. Dengan berkurangnya tingkat kerusakan mesin dan peralatan kerja, kualitas, produktivitas dan efisiensi produksi akan meningkat dan menghasilkan profitabilitas yang tinggi bagi perusahaan.

Pada dasarnya *Maintenance* atau Perawatan Mesin/Peralatan kerja memerlukan beberapa kegiatan seperti dibawah ini :

1. Kegiatan Pemeriksaan/Pengecekan
2. Kegiatan Meminyaki (*Lubrication*)
3. Kegiatan Perbaikan/Reparasi pada kerusakan (*Repairing*)
4. Kegiatan Penggantian Suku Cadang (*SparePart*) atau Komponen

### 2.16. Jenis-Jenis *Maintenance* (Perawatan)

*Maintenance* atau Perawatan dapat dibagi menjadi beberapa jenis, diantaranya adalah:

#### 2.16.1. *Breakdown Maintenance* (Perawatan saat terjadi Kerusakan)

*Breakdown Maintenance* adalah perawatan yang dilakukan ketika sudah terjadi kerusakan pada mesin atau peralatan kerja sehingga Mesin tersebut tidak dapat beroperasi secara normal atau terhentinya operasional secara total dalam kondisi mendadak. *Breakdown Maintenance* ini harus dihindari karena akan terjadi kerugian akibat berhentinya Mesin produksi yang menyebabkan tidak tercapai Kualitas ataupun *Output* Produksi.



### **2.16.2. Preventive Maintenance (Perawatan Pencegahan)**

*Preventive Maintenance* adalah jenis *Maintenance* yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada mesin selama operasi berlangsung. Contoh *Preventive maintenance* adalah melakukan penjadwalan untuk pengecekan (*inspection*) dan pembersihan (*cleaning*) atau pergantian suku cadang secara rutin dan berkala. *Preventive Maintenance* terdiri dua jenis, yakni :

#### 1. *Periodic Maintenance* (Perawatan Berkala)

*Periodic Maintenance* ini diantaranya adalah perawatan berkala yang terjadwal dalam melakukan pembersihan mesin, Inspeksi mesin, meminyaki mesin dan juga pergantian suku cadang yang terjadwal untuk mencegah terjadi kerusakan mesin secara mendadak yang dapat mengganggu kelancaran produksi. *Periodic Maintenance* biasanya dilakukan dalam harian, mingguan, bulanan ataupun tahunan.

#### 2. *Predictive Maintenance* (Perawatan Prediktif)

*Predictive Maintenance* adalah perawatan yang dilakukan untuk mengantisipasi kegagalan sebelum terjadi kerusakan total. *Predictive Maintenance* ini akan memprediksi kapan akan terjadinya kerusakan pada komponen tertentu pada mesin dengan cara melakukan analisa *trend* perilaku mesin/peralatan kerja. Berbeda dengan *Periodic maintenance* yang dilakukan berdasarkan waktu (*Time Based*), *Predictive Maintenance* lebih menitikberatkan pada Kondisi Mesin (*Condition Based*).

### **2.16.3. Corrective Maintenance (Perawatan Korektif)**

*Corrective Maintenance* adalah Perawatan yang dilakukan dengan cara mengidentifikasi penyebab kerusakan dan kemudian memperbaikinya sehingga mesin atau peralatan produksi dapat beroperasi normal kembali. *Corrective Maintenance* biasanya dilakukan pada mesin atau peralatan produksi yang sedang beroperasi secara abnormal (mesin masih dapat beroperasi tetapi tidak optimal).



### 2.17. Tujuan *Maintenance* (Perawatan/Pemeliharaan)

Tujuan-tujuan melakukan *maintenance* diantaranya adalah :

1. Mesin dapat menghasilkan *Output* sesuai dengan kebutuhan yang direncanakan.
2. Kualitas produk yang dihasilkan oleh Mesin dapat terjaga dan sesuai dengan harapan.
3. Mencegah terjadinya kerusakan berat yang memerlukan biaya perbaikan yang lebih tinggi.
4. Untuk menjamin keselamatan tenaga kerja yang menggunakan mesin yang bersangkutan.
5. Tingkat Ketersediaan Mesin yang maksimum (berkurangnya *downtime*)
6. Dapat memperpanjang masa pakai mesin atau peralatan kerja.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> <https://ilmumanajemenindustri.com/jenis-maintenance-perawatan-mesin-peralatan-kerja/>  
(Diakses pada tanggal 8 juni 2019 pukul 21.02 WIB).