



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Listrik

Mesin-mesin listrik digunakan untuk mengubah suatu bentuk energi ke energi yang lain, misalnya mesin yang mengubah energi mekanis ke energi listrik disebut generator, dan sebaliknya energi listrik menjadi energi mekanis disebut motor. Masing-masing mesin mempunyai bagian yang diam dan bagian yang bergerak. Bagian yang bergerak dan diam terdiri dari inti besi, dipisahkan oleh celah udara dan membentuk rangkaian magnetik dimana fluksi dihasilkan oleh aliran arus melalui kumparan/belitan yang terletak didalam kedua bagian tersebut.

Pada umumnya mesin-mesin penggerak yang digunakan di Industri mempunyai daya keluaran lebih besar dari 1 HP dan menggunakan motor Induksi Tiga Fasa. Motor ini memiliki banyak keuntungan, tetapi juga memiliki beberapa kelemahan. Penggunaan motor induksi yang banyak dipakai di kalangan industri mempunyai keuntungan sebagai berikut :

1. Mempunyai konstruksi yang sederhana.
2. Relatif lebih murah harganya bila dibandingkan dengan jenis motor yang
3. lainnya.
4. Menghasilkan putaran yang konstan.
5. Mudah perawatannya.
6. Untuk pengasutan tidak memerlukan motor lain sebagai penggerak mula.
7. Tidak membutuhkan sikat-sikat, sehingga rugi gesekan bisa dikurangi.

Namun selain memiliki beberapa keunggulan, motor induksi sendiri juga memiliki kelemahan diantaranya yaitu sebagai berikut :

1. Putarannya sulit diatur.
2. Arus asut yang cukup tinggi, berkisar antara 5 s/d 6 kali arus nominal motor.⁽¹⁾

⁽¹⁾ Sumardjati, Prih. 2008. Teknik Pemanfaatan Tenaaga Listrik Jilid 3. Hal : 408



2.2 Jenis – Jenis Motor Induksi Tiga Fasa

Ada dua jenis motor induksi tiga fasa berdasarkan rotornya yaitu:

1. motor induksi tiga fasa sangkar tupai (squirrel-cage motor)
2. motor induksi tiga fasa rotor belitan (wound-rotor motor)

kedua motor ini bekerja pada prinsip yang sama dan mempunyai konstruksi stator yang sama tetapi berbeda dalam konstruksi rotor.

2.2.1 Motor Induksi Tiga Fasa Sangkar Tupai (Squirrel-Cage Motor)

Penampang motor sangkar tupai memiliki konstruksi yang sederhana. Inti stator pada motor sangkar tupai tiga fasa terbuat dari lapisan – lapisan pelat baja beralur yang didukung dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau pelat baja 9 yang dipabrikasi. Lilitan – lilitan kumparan stator diletakkan dalam alur stator yang terpisah 120 derajat listrik. Lilitan fasa ini dapat tersambung dalam hubungan delta (Δ) ataupun bintang (Y). Rotor jenis rotor sangkar ditunjukkan pada gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Rotor Sangkar Tupai⁽²⁾

Batang rotor dan cincin ujung motor sangkar tupai yang lebih kecil adalah coran tembaga atau aluminium dalam satu lempeng pada inti rotor. Dalam motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan ditenamkan ke dalam alur rotor dan kemudian dilas dengan kuat ke cincin ujung. Batang rotor motor sangkar tupai tidak selalu ditempatkan paralel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan. Hal ini akan

⁽²⁾Rachmat, Asep dan Ade Ruhama. Perancangan dan Pembuatan Alat Uji Motor Listrik Induksi AC 3 Fasa Menggunakan Dinamometer Tali (*Rope Brake Dynamometer*). Indonesia : Fakultas Teknik, Universitas Majalengka.



menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau dengung magnetik sewaktu motor sedang berputar. Pada ujung cincin penutup dilekatkan sirip yang berfungsi sebagai pendingin. Rotor jenis rotor sangkar standar tidak terisolasi, karena batangan membawa arus yang besar pada tegangan rendah.

2.2.2 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan (Wound-Rotor Motor)

Motor rotor belitan (motor cincin slip) berbeda dengan motor sangkar tupai dalam hal konstruksi rotornya. Seperti namanya, rotor dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor dihubungkan secara Y dan masing – masing fasa ujung terbuka yang dikeluarkan ke cincin slip yang terpasang pada poros rotor.

Pada motor ini, cincin slip yang terhubung ke sebuah tahanan variabel eksternal yang berfungsi membatasi arus pengasutan dan yang bertanggung jawab terhadap pemanasan rotor. Selama pengasutan, penambahan tahanan eksternal pada rangkaian rotor belitan menghasilkan torsi pengasutan yang lebih besar dengan arus pengasutan yang lebih kecil dibanding dengan rotor sangkar. Konstruksi motor tiga fasa rotor belitan ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.2 Rotor Belitan⁽²⁾



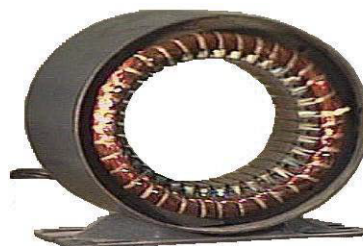
2.3 Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa

Sebagaimana mesin pada umumnya menunjukkan bahwa motor induksi juga memiliki konstruksi yang sama baik motor DC maupun AC. Konstruksi dimaksud terdiri dari 2 bagian utama yaitu stator dan rotor. Inti besi stator dan rotor terbuat dari lapisan baja silikon yang tebalnya berkisar antara 0,35 mm - 1 mm yang tersusun secara rapi dan masing-masing terisolasi secara listrik dan diikat pada ujungujungnya.

Celah udara antara stator dan rotor pada motor yg berukuran kecil 0,25 mm, 0,75 mm, sedangkan pada motor yang berukuran besar bisa mencapai 10 mm. Celah udara yang besar ini disediakan untuk mengantisipasi terjadinya pelengkungan pada sumbu sebagai akibat pembebanan. Tarikan pada pita (belt) atau beban yang tergantung akan menyebabkan sumbu motor melengkung.

2.3.1 Stator

Pada dasarnya belitan stator motor induksi tiga fasa sama dengan belitan motor sinkron. Konstruksi statornya belapis-lapis dan mempunyai alur untuk melilitkan kumparan. Stator mempunyai tiga buah kumparan, ujung-ujung belitan kumparan dihubungkan melalui terminal untuk memudahkan penyambungan dengan sumber tegangan. Masing-masing kumparan stator mempunyai beberapa buah kutub, jumlah kutub ini menentukan kecepatan motor tersebut. Semakin banyak jumlah kutubnya maka putaran yang terjadi semakin rendah⁽¹⁾.



Gambar 2.3 Konstruksi stator dengan alur-alurnya⁽³⁾

⁽³⁾ Eko Prasetyo : Analisis Pengaruh Jatuh Tegangan Jala-Jala Terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar Tupai, 2009



Dalam alur-alur stator diletakkan belitan stator yang posisinya saling berbeda satu dengan lainnya, sesuai dengan fase derajat listrik yaitu 120° antara fase (motor 3 fase). Jumlah gulungan pada stator dibuat sesuai dengan jumlah kutub dan jumlah putaran yang diinginkan atau ditentukan. Khusus untuk Stator pada motor-motor listrik dengan ukuran kecil dibentuk dalam potongan utuh. Sedangkan untuk motor-motor dengan ukuran besar adalah tersusun dari sejumlah besar segmen-segmen laminasi⁽³⁾.

2.3.2 Rotor

Rotor adalah bagian yang berputar dari motor. Seperti pada stator diatas, rotor terdiri dari satu set laminasi baja beralur ditekan bersama dalam bentuk jalur magnetik silinder dan sirkuit listrik. Menurut jenis rotor pada motor induksi dibagi menjadi 2 (dua) bagian, yaitu:

a) Rotor Sangkar Tupai (Squirrel Cage Rotor)

Rotor sangkar tupai terdiri dari satu set batang penghantar tembaga atau aluminium yang diletakkan dalam alur slot paralel. Batang – batang tersebut dihubungkan pendek pada kedua ujungnya dengan cincin hubungan pendek. Dengan konstruksinya yang menyerupai sangkar tupai, rotor ini disebut rotor sangkar tupai. Rotor sangkar tupai ini merupakan merupakan jenis rotor yang banyak digunakan.

b) Rotor Belitan (Wound Rotor)

Rotor yang memiliki gulungan tiga fasa, lapisan ganda dan terdistribusi secara merata. Dibat melingkar sebanyak kutub stator.

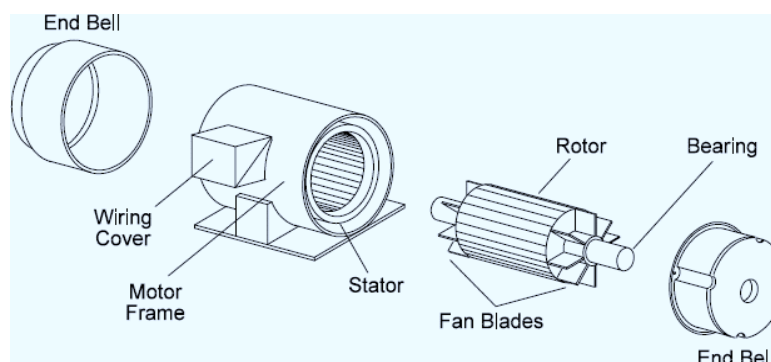
2.3.3 Bagaian Pelengkap

Bagian lain, yang dibutuhkan untuk melengkapi motor induksi adalah:

1. Dua flensa di ujung untuk mendukung dua bantalan, satu di drive-end (DE) dan yang lainnya di non drive-end (NDE).
2. Dua bantalan untuk mendukung berputarnya poros, pada DE dan NDE.



3. Poros baja untuk transmisi torsi ke beban.
4. Kipas pendingin yang terletak di NDE untuk memberi pendinginan yang kuat untuk stator dan rotor.
5. Kotak terminal di atas atau kedua sisi untuk menerima sambungan listrik eksternal.



Gambar 2.4 Komponen lainnya pada motor induksi⁽⁴⁾

2.4 Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa

Jika pada belitan stator diberi tegangan tiga fasa, maka pada stator akan dihasilkan arus tiga fasa, arus ini menghasilkan medan magnetik yang berputar dengan kecepatan sinkron. Ketika medan melewati konduktor rotor, dalam konduktor ini diinduksikan ggl yang sama seperti ggl yang diinduksikan dalam belitan sekunder transformator oleh fluksi arus primer. Rangkaian rotor merupakan rangkaian tertutup, baik melalui cincin ujung atau tahanan luar, ggl induksi menyebabkan arus mengalir dalam konduktor rotor. Jadi arus yang mengalir pada konduktor rotor dalam medan magnet yang dihasilkan stator akan menghasilkan gaya (F) yang bekerja pada rotor.

Untuk arah fluksi dan gerak yang ditunjukkan, penggunaan aturan tangan kanan Fleming menunjukkan bahwa arah arus induksi dalam konduktor rotor menuju pembaca. Pada kondisi seperti itu, dengan konduktor pengalir arus berada dalam medan magnet seperti yang ditunjukkan, gaya pada konduktor mengarah ke atas karena medan magnet di bawah konduktor lebih kuat daripada medan di

⁽⁴⁾ Ramadhan, Ardiansyah Ilyas. Perbandingan Daya Motor Mill 1700 (45-ML-01) Saat Kondisi Tanpa Beban Dan Berbeban Di PT Semen Baturaja (Persero) Tbk Palembang. 2018.



atasnya. Tetapi, konduktor-konduktor rotor yang berdekatan lainnya dalam medan stator juga mengalirkan arus dalam arah seperti pada konduktor yang ditunjukkan, dan juga mempunyai suatu gaya ke arah atas yang dikerahkan pada mereka.

Pada setengah siklus berikutnya, arah medan stator akan dibalik, tetapi arus rotor juga akan dibalik, sehingga gaya pada rotor tetap ke atas. Demikian pula konduktor rotor di bawah kutub-kutub medan stator lain akan mempunyai gaya yang semuanya cenderung memutar rotor searah jarum jam. Jika kopel yang dihasilkan cukup besar untuk mengatasi kopel beban yang menahan, motor akan melakukan percepatan searah jarum jam atau dalam arah yang sama dengan perputaran medan magnet stator⁽⁴⁾. Adapun prinsip kerja motor induksi (tiga fasa) dapat disimpulkan dengan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

1. Apabila catu daya arus bolak-balik tiga fasa dihubungkan pada kumparan stator (jangkar) maka akan timbul medan putar dengan kecepatan :

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{P} \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan :

N_s : Putaran stator

f : Frekuensi

P : Jumlah kutub

2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor
3. Akibatnya pada kumparan rotor akan timbul tegangan induksi (GGL) sebesar :

$$E_s^2 = 4,44 \cdot f^2 \cdot N^2 \cdot \phi_m \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan :

E_s^2 : Tegangan induksi pada saat rotor berputar

4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup maka E_s^2 akan menghasilkan arus .
5. Adanya arus di dalam medan magnet menimbulkan gaya pada rotor.
6. Bila kopel (torque) mula yang dihasilkan oleh gaya tersebut pada rotor



cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.

7. Dari pernyataan (2) dan (3) terlihat, bahwa syarat terbentuknya tegangan induksi haruslah ada perbedaan kecepatan relatif (disebut sebagai “slip”) antara kecepatan medan putar stator (N_s) dan kecepatan putar rotor (N_r).

Kecepatan relatif dapat dituliskan sebagai berikut:

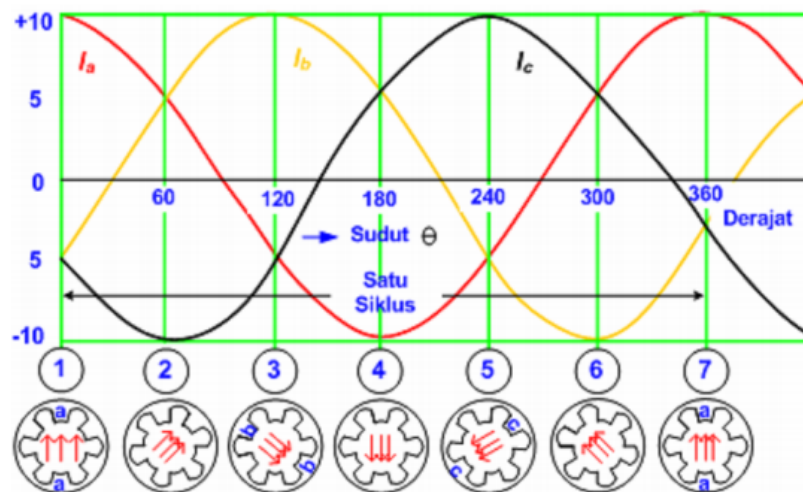
$$S = \frac{(N_s - N_r)}{N_s} \times 100\% \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana :

S = Slip (dalam persentase)

Karena $N_s \neq N_r$, maka motor induksi disebut pula sebagai motor tak serempak (asinkron).⁽⁵⁾

2.5 Medan Putar



Gambar 2.5 Nilai Arus Sesaat dan Posisi Flux⁽¹⁾

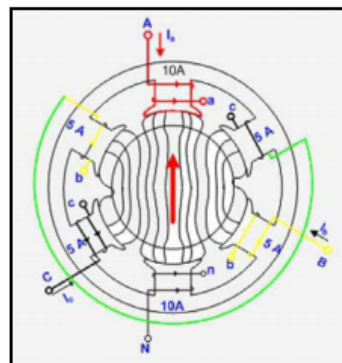
Putaran motor pada mesin arus bolak-balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluksi yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar ini timbul bila kumparan stator dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa. Hubungannya dapat berupa hubungan bintang atau segitiga. Pada gambar 2.5

⁽⁵⁾ Wijaya, Mochtar. “Dasar-Dasar Mesin Listrik”. Penerbit Djambatan. Jakarta. 2001

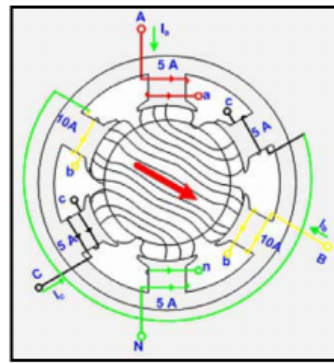


diperlihatkan bagaimana terjadinya medan putar pada motor induksi tiga fasa. Perhatikan gambar 2.6 a s/d f :

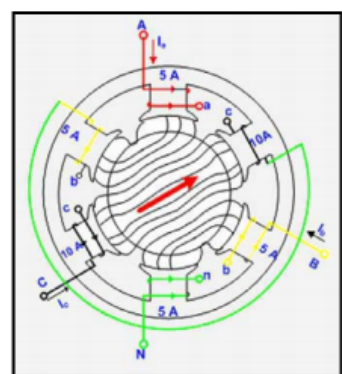
1. Pada posisi pertama atau a, fluks resultan mempunyai arah yang sama dengan arah fluks yang dihasilkan oleh kumparan a - a. x
2. Pada posisi kedua atau b, fluks resultan mempunyai arah yang sama dengan arah fluks yang dihasilkan oleh kumparan c - c. (a) (c) x
3. Pada posisi ketiga atau c, fluks resultannya mempunyai arah yang sama dengan fluks yang dihasilkan oleh kumparan b - b. x
4. Pada posisi keempat s/d keenam terlihat fluks resultan yang terjadi arahnya akan berlawanan dengan arah fluks sebelumnya pada masingmasing kumparan.



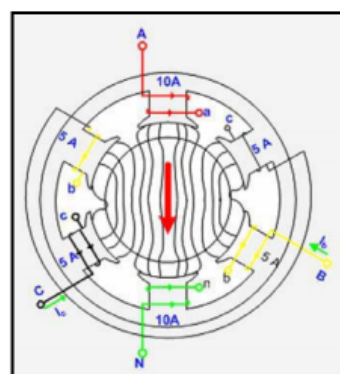
(a)



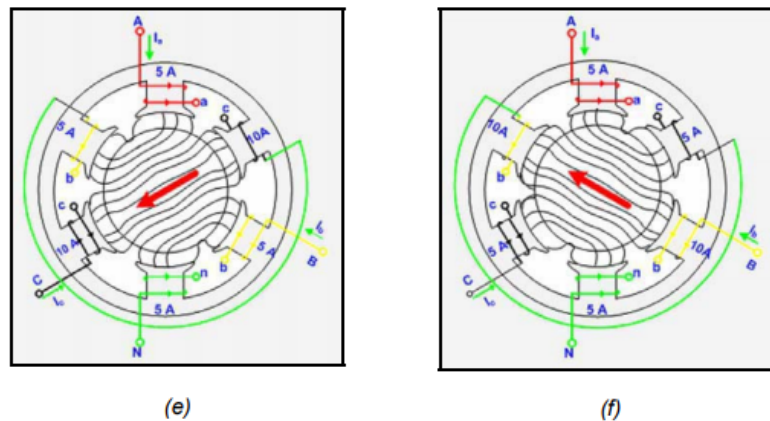
(b)



(c)



(d)



Gambar 2.6 Proses Terjadinya Medan Putar⁽¹⁾

Dari gambar diatas terlihat bahwa fluks resultan akan berputar, dan jumlah putarannya bisa ditentukan berdasarkan persamaan : $N_s = \frac{120.f}{P}$ Rpm

2.6 Frekuensi dan Slip Motor

Kumparan stator motor induksi tiga fasa bila dihubungkan dengan suplai tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron sesuai dengan persamaan $N_s = \frac{120.f}{P}$. Medan putar yang terjadi pada stator ini akan memotong penghantar- penghantar yang ada pada bagian rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan dengan Hukum Lentz, sehingga rotor akan berputar mengikuti putaran medan stator. Perbedaan kecepatan medan putar stator dengan putaran rotor biasa disebut slip.

Apabila terjadi penambahan beban, maka akan mengakibatkan naiknya kopel motor dan selanjutnya akan memperbesar arus induksi pada bagian rotor. Frekuensi rotor saat motor belum berputar nilainya akan sama dengan frekuensi yang terjadi pada belitan stator, dan apabila sudah berputar frekuensi rotornya akan sebanding dengan perubahan slip yang terjadi pada motor tersebut.

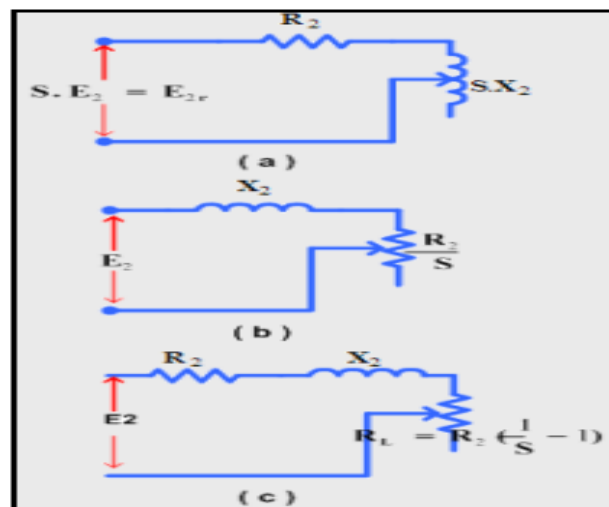
2.7 Rangkaian Ekuivalen

Dalam beberapa hal mesin Induksi menyerupai mesin sinkron, tetapi pada dasarnya mesin induksi ini hampir sama dengan transformator, terutama saat



belum berputar. Energi yang “dipindahkan” dari stator ke rotor dilakukan berdasarkan azas imbas electromagnet (induksi) dengan bantuan fluksi bersama, karena itu rangkaian ekuivalen motor induksi digambarkan seperti rangkaian ekuivalen transformator. Bagian stator membentuk sisi primer dan rotor sebagai sisi sekunder.

2.7.1 Rangkaian Ekuivalen Rotor



Gambar 2.7 Rangkaian Ekuivalen Rotor⁽¹⁾

Pada saat rotor berputar tegangan induksi rotor (E_2) dan reaktansi bocor rotor (X_2) dipengaruhi oleh Slip, maka arus rotor menjadi :

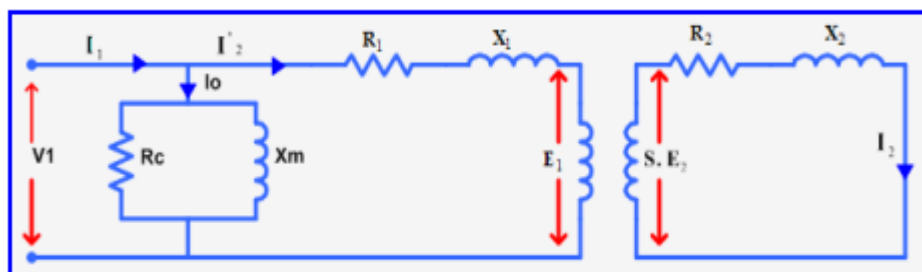
$$\begin{aligned}
 I_2 &= \frac{E_2 S}{\sqrt{R_2^2 + (S X_2)^2}} \\
 &= \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{S}\right)^2 + X_2^2}} \\
 &= \frac{R_2}{S} \\
 &= R_2 + R_2 \left(\frac{1}{S} - 1\right)
 \end{aligned}$$

Dimana R_2 = Resistansi Motor

$R_2 \left(\frac{1}{S} - 1\right)$ = Resistansi Beban

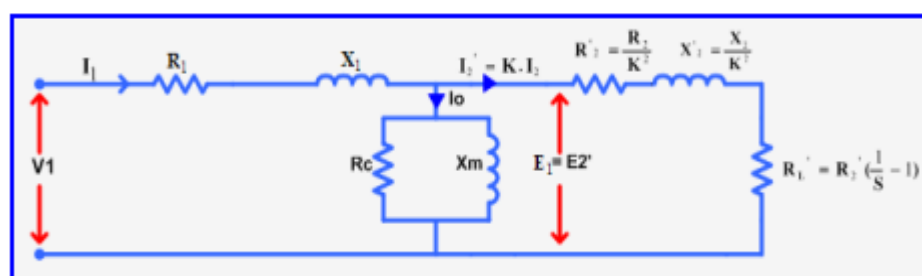


2.7.2 Rangkaian Ekuivalen Motor



Gambar 2.8 Rangkaian Ekuivalen Motor⁽¹⁾

Gambar rangkaian ekuivalen pada gambar 2.8 bisa disederhanakan lagi dengan merefrensikannya pada sisi primer (stator) seperti terlihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Rangkaian Ekuivalen dengan Referensi Primer⁽¹⁾

2.8 Insulation Resistance (IR)

IR merupakan ukuran konduktivitas suatu isolasi. Besar IR dirumuskan sebagai hasil bagi antara tegangan DC yang diberikan dengan arus yang melewati isolasi dan diambil pada waktu tertentu sejak tegangan DC tersebut diberikan. Pemberian tegangan uji biasanya 1 menit (IR_1) atau 10 menit (IR_{10}). Besar tegangan uji yang direkomendasikan oleh IEEE Std. 43-2013 ditunjukkan pada Tabel 2.1, sedangkan besar tahanan minimum untuk 1 menit pengukuran ditunjukkan pada Tabel 2.2. Rekomendasi tersebut berlaku untuk belitan medan dan jangkar dari mesin elektromekanis dengan rating 750 watt (1 hp) atau lebih. Besar tegangan (kV) pada Tabel 2.2 merupakan tegangan antar fase (line to line)



dari rating belitan motor.

Tahanan isolasi yang terukur biasanya meningkat pesat ketika tegangan DC pertama kali diberikan. Selanjutnya, besar tahanan akan mendekati nilai yang relatif stabil seiring waktu pengujian. Akan tetapi, pembacaan tahanan isolasi dari belitan yang kering dan kondisi baik dapat memiliki nilai yang terus meningkat selama berjam-jam seiring dengan pemberian tegangan DC.

Tabel 2.1 Besar Tegangan Uji Yang Direkomendasikan

Rating Tegangan Belitan (V)	Tegangan Uji DC (V)
< 1.000	500
1.000-2.500	500-1.000
2.501-5.000	1.000-2.500
5.001-12.000	2.500-5.000
>12.000	5.000-10.000

Tabel 2.2 Rekomendasi Tahanan Isolasi Minimum Pada Suhu 40°C

Nilai IR Minimum (MΩ)	Isolasi Belitan yang Diuji
$IR_{1 \min} = kV + 1$	Untuk sebagian besar jenis belitan yang dibuat sebelum tahun 1970 dan semua jenis belitan medan.
$IR_{1 \min} = 100$	Untuk sebagian besar belitan jangkar mesin DC dan belitan mesin AC yang dibuat setelah tahun 1970 (jenis stator <i>form-wound coils</i>)
$IR_{1 \min} = 5$	Untuk sebagian besar mesin dengan jenis stator <i>random-wound</i> dan <i>form-wound</i>



	kurang dari 1 kV
--	------------------

Untuk jenis belitan tua, nilai tahanan isolasi yang cukup stabil dicapai dalam waktu 10 hingga 15 menit. Untuk jenis belitan modern, seperti epoxy-mica dan polyester-mica, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai yang cukup stabil adalah 4 menit atau kurang. Untuk belitan yang basah atau kotor, nilai stabil yang rendah dapat dicapai dalam waktu 1 hingga 2 menit setelah tegangan DC diberikan.

Dalam kasus lainnya, nilai tahanan isolasi dapat sedikit menurun seiring pemberian tegangan DC. Penurunan nilai tahanan secara signifikan seiring dengan pemberian tegangan uji mengindikasikan adanya masalah pada isolasi. Permasalahan tersebut dapat disebabkan oleh ketidaksempurnaan (imperfection) atau keretakan (fracture) pada isolasi yang diperburuk oleh kelembapan atau kontaminasi.

2.9 Indeks Polarisasi

Pada umumnya, PI diperoleh dengan membandingkan IR pada waktu 10 menit (IR_{10}) dengan 1 menit (IR_1). Untuk mendapatkan nilai akurasi PI yang lebih baik, pengukuran dapat dilakukan dengan pembacaan menurut interval-interval tertentu, seperti 15 detik, 30 detik, 45 detik, 1 menit, 2 menit, 3 menit, 4 menit, hingga 10 menit. Sama halnya dengan IR, PI memiliki nilai minimum yang direkomendasikan menurut IEEE Std. 43-2013, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

Untuk mesin elektromekanis dengan rating 10.000 kVA atau kurang, pengoperasian atau pengujian tegangan lebih dapat diperbolehkan hanya jika salah satu hasil pengukuran IR_1 atau PI berada di atas nilai minimum, sedangkan untuk mesin dengan rating di atas 10.000 kVA, nilai keduanya harus berada di atas nilai minimum yang direkomendasikan.

Dengan hasil pembacaan IR atau PI yang rendah, maka penyelidikan secara fisik terhadap kondisi isolasi perlu dilakukan. Penurunan yang signifikan pada



pengukuran IR dan PI dibandingkan dengan pembacaan sebelumnya mengindikasikan bahwa permukaan isolasi belitan terkena kontaminasi, lembap, atau beberapa kerusakan isolasi, seperti retakan. Apabila hasil pengukuran bernilai rendah karena kotoran atau lembap yang berlebihan, upaya pembersihan dan pengeringan dapat dilakukan untuk mengembalikan nilai yang dapat diterima.

Tabel 2.3 Definisi Nilai PI Yang Terukur

Nilai PI	Kondisi Isolasi
< 1,0	Sangat Buruk (Berbahaya)
1,0 - 2,0	Buruk
2,0 - 4,0	Baik
> 4,0	Sangat Baik

Tabel 2.4 Nilai PI Minimum Menurut Kelas Termal Isolasi

<i>Rating</i> Kelas Termal Isolasi	Nilai Minimum PI
Kelas A	1,5
Kelas B	2,0
Kelas F	2,0
Kelas H	2,0

Pada pengukuran tahanan isolasi (IR1 yang telah dikoreksi terhadap temperatur 40o C) dapat ditemui hasil yang lebih besar dari 5.000 MΩ. Apabila kondisi tersebut terjadi, maka nilai PI yang diperoleh tidak dapat digunakan sebagai acuan dalam penilaian kelayakan isolasi. Hal ini disebabkan oleh arus resultan yang terukur berada dalam kisaran submicroampere. Pada tingkatan ini, sensitivitas instrumen pengukuran, sedikit perubahan pada sumber tegangan uji,



pengaruh kelembapan lingkungan, sambungan-sambungan dalam pengukuran, dan komponen-komponen lain yang tak berhubungan dapat memberikan pengaruh yang besar terhadap arus resultan yang terukur.⁽⁶⁾

2.10 Jenis dan Penyebab – Penyebab Kerusakan Motor Induksi

Motor induksi secara konstruksi merupakan kombinasi dari peralatan elektrik dan mekanik. Sehingga penyebab kerusakan yang paling utama adalah kegagalan mekanik dan elektrik dari motor induksi itu sendiri, berikut beberapa penyebab yang sering terjadi :

2.10.1 Gangguan dari sumber daya listrik

a. Tegangan transien

Sering terjadi karena peralatan tambahan yang digunakan untuk mendukung kualitas daya listrik seperti kapasitor bank ataupun sambaran petir. Tegangan transien dapat merusak kehalusan sistem kelistrikan 3 fasa, sehingga menimbulkan kegagalan isolasi pada winding motor.

b. Tegangan Tidak Seimbang (*Unbalance Voltage*)

Dalam sistem 3 fasa, tegangan tak seimbang merupakan besar nilai tegangan antar fasa tak sama atau sudut antar fasa nya tidak 120 derajat. Unbalance voltage mengakibatkan arus yang mengalir pada tiap – tiap fasa menjadi tidak seimbang, sehingga meningkatkan arus dan temperature (overheating) pada winding, sehingga membuat winding terbakar. Untuk mendapatkan persentase unbalance voltage :

$$\bullet \quad V_{\text{RATA - RATA}} = \frac{V_{\text{RS}} + V_{\text{RT}} + V_{\text{ST}}}{3} \dots \text{pers (2.13)}$$

$$\bullet \quad \text{Deviasi} = (\text{tegangan tertinggi} - V_{\text{RATA - RATA}}) \dots \text{pers (2.14)}$$

⁽⁶⁾ Wahyudi, Mochammad, Dimas Anton Asfani, I Made Yulistya Negara, Daniar Fahmi, I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda. Evaluasi Degradasi Isolasi Motor akibat Multi-factor Aging berdasarkan Indeks Polarisasi dan SEM-EDX. JNTETI, Vol. 8, No. 1, Februari 2019



$$\bullet \quad \% \text{ UnVoltage} = \frac{100 \times (\text{selisih tegangan tertinggi} - V_{\text{RATA - RATA}})}{V_{\text{RATA - RATA}}} \text{ pers}$$

(2.15)

$$\bullet \quad \% T_{\text{rise}} = 2 \times (\% \text{ Un Voltage})^2 \dots\dots\dots \text{pers (2.16)}$$

$$\bullet \quad \text{Suhu gangguan} = T_{\text{normal}} \times (100 \% + \% T_{\text{rise}}) \dots\dots \text{pers (2.17)}$$

Berdasarkan peratran NEMA, % unbalance voltage tidak boleh melebihi 1 % karena akan meningkatkan suhu motor.

2.10.2 Masalah Mekanik

a. Misalignment Motor

Misalignment merupakan suatu kondisi dimana shaft motor induksi tidak sejajar (*alignment*) dengan drive shaft load yang digerakkan oleh motor induksi. Hal ini dapat mengakibatkan vibrasi ketika motor induksi berputar menggerakkan load tersebut. Vibrasi dapat memperpendek usia pemakaian bearing dan merusak inner part mekanikal pada motor induksi seperti housing bearing, dan shaft. Misalignment ada beberapa jenis yaitu angular misalignment, paralel misalignment dan coumpond misalignment.

- poros tidak seimbang (*Shaft Imbalance*)

Shaft imbalance merupakan sebuah kondisi dimana posisi rotor dan load telah alignment atau sejajar namun ketika motor dan load berputar,putarannya tidak seimbang dikarenakan coupling yang telah aus. Hal ini mengakibatkan vibrasi,dan lama kelamaan akan merusak bagian bagian yang bergerak seperti bearing, housing bearing dan rotor.

- Bearing yang telah aus

Bearng berfungsi untuk menjaga agar rotor yang berputar stabil dan tidak terjadi gesekan antar komponen statis (yang diam) dan komponen yang dinamis. Jika bearing telah aus dapat menyebabkan motor induksi menjadi panas karena gesekan yang



ditimbulkan dan menimbulkan vibrasi, bahkan bisa mengakibatkan short circuit.

2.10.3 Masalah Instalasi Pemasangan

Kesalahan instalasi pemasangan motor induksi di lapangan dapat mengakibatkan gangguan yang berarti pada motor induksi, misalnya seperti soft foot, yaitu suatu kondisi dimana antara permukaan baseplate motor induksi dan kaki-kaki motor induksi tidak rata. Hal tersebut dapat menimbulkan vibrasi yang tinggi pada motor ketika motor berputar dan menimbulkan vibrasi yang berimbas pada kerusakan bearing dan housing bearing.

2.10.4 Masalah Beban Lebih (*OverLoad*)

secara umum besar arus tidak boleh lebih dari yg tercantum di nameplate motor I_n atau $I_{full\ load}$. Jika ada tertulis $S_f=1,15$ artinya besar arus full-load boleh sebesar $1,15 \times I_n$ dalam waktu lama. Panas yang timbul dalam winding adalah fungsi kwadrat arus, jadi I_n bertambah sedikit saja mengakibatkan peningkatan panas besar. Ini juga sangat dipengaruhi oleh faktor ruang tempat motor, ventilasi panas matahari dan pendinginan juga tinggi dari permukaan laut.

2.10.5 Terlalu Sering Melakukan Start-Stop

Ketika motor distart, motor memerlukan arus start yang sangat tinggi, mungkin dapat mencapai beberapa kali atau lebih dari 5 kali. Arus tinggi menimbulkan panas dan thermal shock, sehingga jika ini dilakukan berkali-kali dan tanpa ada jeda waktu, maka berakibat sangat buruk terhadap winding motor, overheating.⁽⁴⁾

2.11 Pengaman Motor Induksi Tiga Fasa

Selain melakukan pemeliharaan untuk motor-motor listrik di lokasi, unit



kerja dibagian PPU juga memberikan alat pengaman khusus untuk motor-motor listik, yaitu:

1. Circuit Breaker

Circuit breaker adalah alat penghubung tenaga listrik yang mempunyai kemampuan untuk membuka dan menutup rangkaian listrik. Circuit Breaker biasanya dilengkapi dengan alat-alat pengaman, antara lain:

a. Pengaman Beban Lebih

Yaitu circuit breaker yang akan membuka secara otomatis apabila ada arus yang mengalir melebihi arus setting yang telah ditentukan.

b. Pengaman Hubung Singkat

Circuit breaker mempunyai pengaman arus hubung singkat pada setiap kutubnya. Apabila terjadi hubung singkat pada salah satu kutubnya maka semua kutub akan terbuka.

c. Pengaman Tegangan Kurang

Circuit breaker mempunyai pengaman tegangan kurang pada setiap kutubnya. Apabila terjadi tegangan kurang atau tegangan jatuh maka motor akan tercegah untuk beroperasi pada waktu tegangan inputnya kurang dari harga setting tegangan.

d. Oil Circuit Breaker

Pada breaker ini menggunakan minyak untuk memadamkan bunga api pada saat ON tau OFF, yang mana kontak-kontaknya terendam dalam minyak.

e. Air Circuit Breaker

Pada breaker ini untuk memadamkan bunga api nya menggunakan udara bertekanan tinggi yang ditiup ke arah kontaktor.

f. Magnetic Ballast Circuit Breaker

Dimana pada saat breaker ini memadamkan bunga api dilakukan dengan gaya magnetic. Medan magnet yang dihasilkan oleh coil yang dilewati bunga api akan mendorong keluar memanjang dan kemudian keluar.



2. Protection Earth (PE)

Dilokasi penggunaan motor boiler feed pump ini sangat rentan terhadap debu- debu dari sisa-sisa pembakaran batu bara yang menempel pada permukaan motor-motor listrik, hal ini dapat menyebabkan kelembaban pada motor tersebut, apabila motor dalam keadaan yang lembab maka akan terjadi arus bocor dan mengalir ke body motor tersebut. Untuk mengatasi masalah ini agar tidak membahayakan operator dari tegangan sentuh maka dipasang kawat pentanahan pada tiap-tiap motor.

3. Sekering (Fuse)

Fuse adalah alat pengaman kelistrikan yang berfungsi sebagai pengaman terhadap arus hubung singkat.

4. Thermal Overload Relay

Thermal Overload Relay (TOR) adalah suatu alat pengaman peralatan listrik terhadap arus beban lebih. Pengaman ini bekerja berdasarkan panas yang ditimbulkan oleh adanya arus listrik yang melebihi batas harga nominalnya. Energi panas tersebut akan diubah menjadi energi mekanik oleh logam bimetal untuk melepaskan kontak- kontak akibat arus yang mengalir diatas harga nominalnya maka akan membuka (memutuskan) suatu rangkaian kelistrikan. Sehingga melindungi peralatan listrik tersebut dari kerusakan yang diakibatkan oleh arus lebih tersebut.

Pengamanan motor induksi bertugas mencegah kerusakan motor bila terjadi gangguan, macam – macam gangguan yang sering terjadi yaitu :

- a. Gangguan arus lebih yang terjadi dari arus lebih hubung singkat dan arus beban lebih. Gangguan ini disebabkan oleh overload atau beban lebih.
- b. Gangguan tegangan kurang atau salah satu fasa hilang. Gangguan ini sangat berbahaya sekali karena arus akan naik dengan cepat yang pada akhirnya belitan motor akan terbakar bila tidak diatasi segera.



- c. Gangguan dari komponen mekanis motor. Gangguan ini lebih bersifat kepada gangguan pada bearingnya, fan pendingin dan lain-lain, jika dibiarkan dalam waktu yang lama akan sangat berbahaya bagi motor.

2.12 Perawatan Motor Listrik.

Hampir semua inti motor dibuat dari baja silikon atau baja gulung dingin yang dihilangkan karbonnya, sifat-sifat listriknya tidak berubah dengan usia. Walau begitu, perawatan yang buruk dapat memperburuk efisiensi motor karena umur motor dan operasi yang tidak handal. Sebagai contoh, pelumasan yang tidak benar dapat menyebabkan meningkatnya gesekan pada motor dan penggerak transmisi peralatan. Kehilangan resistansi pada motor, yang meningkat dengan kenaikan suhu. Kondisi ambien dapat juga memiliki pengaruh yang merusak pada kinerja motor. Sebagai contoh, suhu ekstrim, kadar debu yang tinggi, atmosfer yang korosif, dan kelembaban dapat merusak sifat-sifat bahan isolasi; tekanan mekanis karena siklus pembebanan dapat mengakibatkan kesalahan penggabungan. Perawatan yang tepat diperlukan untuk menjaga kinerja motor. Sebuah daftar periksa praktek perawatan yang baik akan meliputi:

1. Pemeriksaan motor secara teratur untuk pemakaian bearings dan rumahnya (untuk mengurangi kehilangan karena gesekan) dan untuk kotoran/debu pada saluran ventilasi motor (untuk menjamin pendinginan motor).
2. Pemeriksaan kondisi beban untuk meyakinkan bahwa motor tidak kelebihan atau kekurangan beban. Perubahan pada beban motor dari pengujian terakhir mengindikasikan suatu perubahan pada beban yang digerakkan, penyebabnya yang harus diketahui.
3. Pemberian pelumas secara teratur. Pihak pembuat biasanya memberi rekomendasi untuk cara dan waktu pelumasan motor. Pelumasan yang tidak cukup dapat menimbulkan masalah, seperti yang telah diterangkan diatas. Pelumasan yang berlebihan dapat juga menimbulkan masalah, misalnya minyak atau gemuk yang berlebihan dari bearing motor dapat masuk ke motor dan menjenuhkan bahan isolasi motor, menyebabkan



kegagalan dini atau mengakibatkan resiko kebakaran.

4. Pemeriksaan secara berkala untuk sambungan motor yang benar dan peralatan yang digerakkan. Sambungan yang tidak benar dapat mengakibatkan sumbu as dan bearings lebih cepat aus, mengakibatkan kerusakan terhadap motor dan peralatan yang digerakkan.
5. Dipastikan bahwa kawat pemasok dan ukuran kotak terminal dan pemasangannya benar. Sambungan-sambungan pada motor dan starter harus diperiksa untuk meyakinkan kebersihan dan kekencangannya.
6. Penyediaan ventilasi yang cukup dan menjaga agar saluran pendingin motor bersih untuk membantu penghilangan panas untuk mengurangi kehilangan yang berlebihan. Umur isolasi pada motor akan lebih lama: untuk setiap kenaikan suhu operasi motor 10oC diatas suhu puncak yang direkomendasikan, waktu pegulungan ulang akan lebih cepat, diperkirakan separuhnya⁽⁷⁾.

⁽⁷⁾ Jayanti, Evi. Analisa Kebutuhan Daya Motor Induksi 3 Fasa Penggerak Belt Conveyer 5853-V Di PT.Pupuk Sriwidjaja Palembang. 2014