

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dasar Motor Listrik²

Motor adalah alat penggerak benda dengan suatu sumber energi. Motor listrik adalah motor yang bekerja oleh tenaga listrik. Bergeraknya sebuah motor disebabkan karena adanya gaya dan torsi yang diberikan oleh energi utama tersebut. Motor listrik berputar karena adanya gaya dan torsi elektromagnetik di celah udara di dalam mesin tersebut.

2.2. Motor Induksi¹

Motor Induksi (AC) telah digunakan secara luas, di pemukiman, kawasan perdagangan, industri, maupun di bidang lain. Motor AC mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor AC ditemukan dalam berbagai aplikasi dari yang memerlukan motor tunggal sampai aplikasi yang memerlukan gabungan beberapa motor.

2.3. Medan Putar⁵

Perputaran motor pada arus bolak-balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan oleh kumparan statornya. Medan terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dalam fasa yang banyak umumnya fasa 3. Hubungan dapat berupa hubungan bintang atau delta.

2.4. Keuntungan dan Kerugian Motor Induksi³

Secara umum, motor listrik berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Pada motor AC kumparan rotor tidak menerima energi listrik langsung, tetapi secara induksi seperti yang terjadi pada energi kumparan sekunder transformator.

2.4.1. Keuntungan Motor Induksi

1. Sangat sederhana dan daya tahan kuat
2. Harga relatif murah dan perawatan mudah

² Yakob Liklikwatil, Mesin-mesin Listrik Untuk D3 (Yogyakarta: CV Budi Utama, 2014), hal.11

¹ Irwan Iftadi, Kelistrikan Industri (Yogyakarta: Graha Ilmu, 201), hal.185

⁵ Zuhail, Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya (Jakarta: Gramedia, 1988), hal. 102.

³ Yon Rijono, Dasar Teknik Tenaga Listrik (Yogyakarta: Andi, 2002), hal. 310-311

3. Efisiensi tinggi. Pada kondisi berputar normal, tidak dibutuhkan sikat dan kerennanya rugi daya yang diakibatkannya dapat dikurangi
4. Tidak memerlukan starting tambahan dan tidak harus sinkron.

2.4.2. Kekurangan Motor Induksi

1. Kecepatan tidak dapat berubah tanpa pengorbanan efisiensi
2. Tidak seperti motor DC atau motor shunt, kecepatannya menurun seiring dengan tambahan beban
3. Kopel awal mutunya rendah dibanding dengan motor DC Shunt.

2.5. Motor Induksi Berdasarkan Macam Arusnya

Pada umumnya klasifikasi pada Motor Induksi dengan berdasarkan arusnya ada 2, diantara lain :

2.5.1. Motor Induksi 1 Fasa

Motor induksi 1 fasa adalah motor induksi (Motor AC) yang mempunyai pasokan arusnya hanya satu fasa atau fasa tunggal. Pada motor induksi 1 fasa ini mempunyai pemulaian torsi awal yang rendah karena dimana pasokan hanya satu fasa atau fasa tunggal, disamping itu juga ke efisienan pada motor induksi satu fasa ini kurang dan faktor kekuatannya juga rendah.

2.5.2. Motor Induksi 3 Fasa

Motor Induksi 3 Fasa adalah motor induksi (Motor AC) yang mempunyai pasokan arusnya 3 Fasa. Pada motor induksi 3 fasa ini mempunyai pemulaian torsi awal yang tinggi karena pada motor induksi 3 fasa ini pasokan arusnya 3 fasa hal ini tentu membuat torsi awal yang tinggi, disamping itu juga ke efisienan pada motor induksi 3 fasa ini dan faktor daya nya juga tinggi.

2.6. Motor Induksi Tiga Fasa Berdasarkan Karakteristik Kelasnya

2.6.1. Kelas A

Motor Induksi 3 Fasa Kelas A memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a) Torsi awal normal (150 – 170%) dari nilai ratingnya) dan torsi *breakdown* nya tinggi
- b) Arus awal relatif tinggi dan Slip rendah ($0.0015 < \text{Slip} < 0.005$)
- c) Tahanan rotor kecil sehingga efisiensi tinggi
- d) Baik digunakan untuk torsi beban kecil saat start dan cepat mencapai putaran penuhnya

2.6.2. Kelas B

Motor Induksi 3 Fasa Kelas B memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a) Torsi awal normal hampir sama seperti kelas A
- b) Arus awal rendah (lebih rendah 75% dari kelas A) dan Slip rendah ($\text{slip} < 0.005$)
- c) Arus awal dapat diturunkan karena rotor mempunyai reaktansi tinggi
- d) Rotor terbuat dari plat atau saklar ganda
- e) Efisiensi dan faktor dayanya pada saat terbeban penuh tinggi

2.6.3. Kelas C

Motor Induksi 3 Fasa Kelas C memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a) Torsi awal lebih tinggi (200 % dari nilai ratingnya)
- b) Arus awal rendah dan Slip rendah ($\text{slip} < 0.005$)
- c) Reaktansi rotor lebih tinggi dari kelas B
- d) Rotor menggunakan sankar rendah

2.6.4. Kelas D

Motor Induksi 3 Fasa Kelas D memiliki karakteristik sebagai berikut:

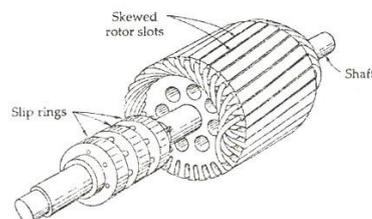
- a) Torsi awal yang paling tinggi dari kelas lainnya
- b) Arus awal rendah dan Slip tinggi
- c) motor ini cocok untuk aplikasi dengan perubahan beban dan perubahan kecepatan secara mendadak pada motor
- d) Ketika torsi maksimum slip mencapai harga 0.5 atau lebih, sedangkan ketika beban penuh slip antara 8% hingga 15% sehingga efisiensinya rendah

2.7. Jenis – jenis Motor Induksi Tiga Fasa Berdasarkan Bentuk Rotor nya¹²

Berdasarkan jenis – jenis bentuk rotornya, motor induksi tiga fasa ini mempunyai 2 jenis, yaitu :

2.7.1. Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan (Motor cincin Slip)

Rotor belitan Fasa juga disebut sebagai Slip Ring Rotor. Ini terdiri dari inti silinder yang dilaminasi. Pinggiran luar rotor memiliki slot setengah tertutup yang membawa belitan terisolasi 3 fase. Gulungan rotor terhubung dalam bintang. Motor induksi slip ring ditunjukkan pada gambar di bawah.



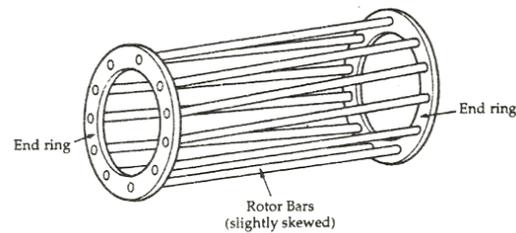
Gambar 2.1 Konstruksi Motor Rotor Belitan

2.7.2. Motor Induksi Tiga Fasa Sangkar Tupai

Sebuah rotor sangkar tupai terdiri dari inti silinder laminasi. Slot melingkar di bagian luar setengah tertutup. Setiap slot berisi

¹² Plcdroid.2019. *Motor Induksi*. (online). <https://www.plcdroid.com/2019/03/motor-induksi.html> (Diakses 2 April 2022 pukul 15.52 WIB)

konduktor batang aluminium atau tembaga tanpa insulasi. Pada ujung rotor konduktor mengalami hubungan pendek oleh cincin tembaga atau aluminium yang berat. Diagram rotor sangkar ditunjukkan di bawah ini.



Gambar 2.2 Kontruksi Motor Sangkar Tupai

2.8. Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa¹⁰

Sama seperti mesin-mesin listrik pada umumnya, motor 3 fasa memiliki 2 komponen penting, yaitu: *stator* dan *rotor*.

2.8.1. Stator

Stator merupakan komponen yang tidak berputar pada mesin. Pada komponen ini dipasang stator winding berupa kumparan. *Stator* ini dihubungkan dengan suplai 3 fasa untuk memutar rotor. *Stator* sendiri memiliki 3 bagian penting:



Gambar 2.3 Frame Stator

- a. *Frame* merupakan bagian terluar dari *stator*. Berfungsi sebagai tempat untuk memasang inti stator (*stator core*) dan juga melindungi keseluruhan komponen dari gangguan benda benda dari luar (seperti batu yang dilemparkan ke motor atau

¹⁰ Electrical4u.com. 2020. (online). <https://www.electrical4u.com/construction-of-three-phase-induction-motor/>. (Diakses 2 April 2022 pukul 16.10 WIB)

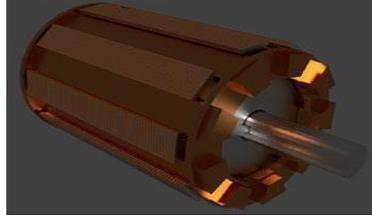
semacamnya). Umumnya frame dibuat dari besi agar *frame* menjadi kuat. Dalam konstruksinya, air gap (celah udara) pada motor haruslah sangat kecil agar *rotor* dan stator konsentris dan mencegah induksi yang tidak merata. Air gap yang dimaksud disini ialah celah yang mungkin terbentuk pada permukaan *frame* bukan lingkaran besar seperti pada gambar, karena lingkaran tersebut akan diisi oleh inti stator dan rotor. Inti *stator* merupakan tempat dimana *stator winding* dipasang. Inti *stator* bertugas untuk menghasilkan *fluks*. *Fluks* ini dihasilkan oleh kumparan pada *stator winding* dan dialiri oleh arus 3 fasa dari suplai 3 fasa. Untuk mencegah arus *eddy* yang besar pada *stator winding* umumnya inti *stator* dilapisi oleh lamina. Lamina sendiri terbuat oleh campuran besi silikon untuk mencegah rugi-rugi *histerisis*. Pada inti *stator* juga dipasang kutub-kutub magnet untuk menghasilkan *fluks*

- b. *Stator winding* merupakan kumparan yang masing-masing kumparannya dihubungkan menjadi rangkaian *star* atau *delta*, tergantung dari bagaimana metode untuk memutar mesin yang digunakan dan jenis *rotor* yang digunakan. Untuk *rotor* jenis sarang tupai umumnya menggunakan rangkaian *delta* sedangkan rotor jenis *slip ring* bisa menggunakan salah satu dari keduanya. *Stator winding* dipasang pada sela-sela inti *stator* dan berfungsi untuk menghasilkan *fluks*. *Stator winding* juga dikenal sebagai kumparan medan.

2.8.2. Rotor

Rotor merupakan bagian yang dapat berputar dari motor. *Rotor* dihubungkan dengan beban yang akan diputar dengan sebuah *shaft* yang terpasang pada pusat *rotor*. Berdasarkan konstruksinya, rotor dibagi menjadi 2 macam:

a. Sangkar Tupai



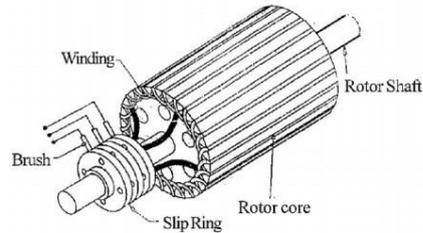
Gambar 2.4 Rotor Tipe Sangkar Tupai

Rotor tipe ini memiliki bentuk seperti roda *gear*, berbentuk tabung dan diberi beberapa slot dipermukaannya. Slot ini tidak dibuat lurus namun sedikit miring untuk memperhalus kerja motor dan membuat “konduktor” pada *rotor*. Dikedua ujung *rotor* dipasang cincin aluminium. Umumnya *rotor* jenis ini terbuat dari aluminium atau tembaga. *Rotor* jenis ini sangat sering digunakan karena mudah dibuat dan dapat digunakan berapapun kutub pada stator. *Rotor* jenis ini dapat ditemui pada kipas angin dan *blower*.

b. *Slip Ring*

Rotor tipe ini memiliki rangkaian kumparan pada ujungnya dan memiliki sejumlah slip ring di belakangnya. Tiap kumparan terhubung dengan salah satu slip ring dimana masing-masing slip ring juga terhubung dengan rangkaian yang sama dengan rangkaian kumparannya. Semisal rangkaian kumparannya berbentuk star maka rangkaian slip ring juga berbentuk star. Umumnya di tiap *slip ring* dipasang rheostat sehingga kecepatan putaran motor dapat diatur dengan mudah. Umumnya *rotor* jenis ini digunakan untuk beban-beban besar seperti untuk menggerakkan *elevator* atau *lift*. *Rotor* tipe ini memiliki rangkaian kumparan pada ujungnya dan memiliki sejumlah slip ring di belakangnya.

Tiap kumparan terhubung dengan salah satu slip ring dimana masing-masing slip ring juga terhubung dengan rangkaian yang sama dengan rangkaian kumparannya.



Gambar 2.5 *Slip Ring*¹¹

Semisal rangkaian kumparannya berbentuk star maka rangkaian slip ring juga berbentuk star. Umumnya ditiap *slip ring* dipasang rheostat sehingga kecepatan putaran motor dapat diatur dengan mudah. Umumnya *rotor* jenis ini digunakan untuk beban-beban besar seperti untuk menggerakkan *elevator* atau *lift*.

2.9. 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, timbul lah medan putar dengan kecepatan.
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul induksi (ggl) sebesar :

$$E_2 = 4,44 \cdot f_2 \cdot N_2 \cdot \phi_m \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

E_2 = Tegangan Induksi

f_2 = frekuensi jala-jala

N_2 = banyaknya lilitan

ϕ_m = fluks magnet

¹¹ Elprocus.com. 2013. (online). <https://www.elprocus.com/what-is-slip-ring-induction-motor-and-its-working/>. (Diakses 2 April 2022 pukul 16.17 WIB)

4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I).
5. Adanya arus (I) didalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada motor.
6. Bila torsi mula dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul torsi beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. Tegangan magnet 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

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana : S = Slip motor (%)

N_s = Medan putar stator (Rpm)

N_r = 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 maka motor tak serempak disebut juga motor induksi atau motor asinkron.

2.10. Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Pada saat belitan stator diberi tegangan tiga fasa, maka pada stator akan dihasilkan arus tiga fasa, arus ini kemudian akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron.

2.11. Karakteristik Motor Induksi

Secara umum motor induksi yang baik mempunyai standar bentuk karakteristik tertentu. Tiap-tiap motor mempunyai karakteristik sendiri-sendiri. Dibawah ini disebutkan beberapa karakteristik yang menggambarkan hubungan antara suatu parameter dan mesin yang lain, yaitu:

1. Karakteristik Beban Nol

Karakteristik beban nol adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara tegangan ke motor dengan arus daya $\cos \phi$ motor pada keadaan tanpa beban, jadi putaran mendekati sinkron atau sama.

2. Karakteristik Rotor Yang Diblok

Karakteristik motor yang diblok adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara tegangan masuk dan arus yang masuk, $\cos \phi$, dan daya masuk.

3. Karakteristik Start

Karakteristik start ini dipakai untuk menggambarkan hubungan antara waktu dan arus. Putaran untuk macam-macam beban pada tegangan masuk konstan dapat dijelaskan bahwa:

- a. Jika waktu start dari motor induksi makin lama, maka pemanas pada belitan akan lebih besar pula pada elemen pengaman. Hal ini akan berpengaruh terhadap *life time* dari motor.
- b. Arus akhir ke motor lebih tinggi.
- c. Putaran akhir motor akan lebih rendah.

4. Karakteristik Kopel dan Putaran

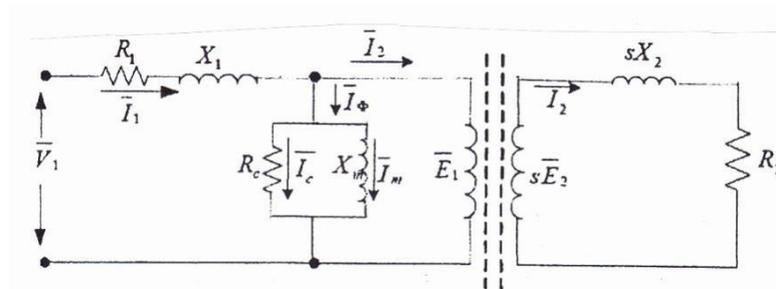
Daerah kerja motor terletak pada daerah perputaran mendekati n_s . Kopel lawan beban 1 dan 2 pada waktu start $< T_s$ maka motor dapat distart, masing-masing dengan titik kerja 1 (kopel kerja = T_1 dan

putaran kerja n_1) dan titik kerja 2. Bila kopel lawan beban pada saat $\text{start} > T_s$ maka motor tidak dapat Distart. Selama motor belum berputar, arus motor tinggi.

2.12. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Motor Induksi 3-fasa ini dapat dianalisa berdasarkan rangkaian ekuivalen tanpa harus mengoperasikan motor.

Kerja motor induksi seperti juga kerja transformator adalah berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Oleh karena itu, motor induksi dapat dianggap transformator dengan rangkaian sekunder yang berputar. Rangkaian pengganti motor induksi dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.6 Rangkaian Pengganti Motor Induksi

Untuk menentukan rangkaian ekuivalen dari motor 3 fasa pertama-tama perhatikan keadaan pada stator. Gelombang fluks pada celah udara yang berputar sinkron membangkitkan GGL lawan 3 fasa yang seimbang di dalam fasa-fasa stator. Besarnya tegangan terminal stator berbeda dengan GGL lawan sebesar jatuh tegangan pada Impedansi (Z) bocor stator, sehingga dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\bar{V}_1 = \bar{E}_1 + \bar{I}_1 (R_1 + jX) \text{ Volt} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana,

\bar{V}_1 = Tegangan terminal stator (Volt)

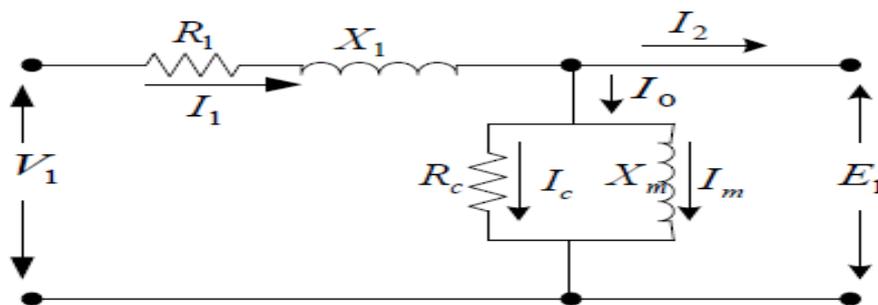
\bar{E}_1 = Ggl lawan yang dihasilkan oleh fluks celah udara resultan (Volt)

\bar{I}_1 = Arus stator (Ampere)

R_1 = Resistansi efektif stator (Ohm) X_1 = Reaktansi bocor stator (Ohm)

Seperti halnya transformator, arus stator dapat dipecah menjadi 2 komponen, yaitu komponen beban dan komponen peneralan. Komponen beban I_2 menghasilkan suatu fluks yang akan melawan fluks yang diakibatkan arus rotor.

Komponen peneralan $I\Phi$ merupakan arus stator tambahan yang diperlukan untuk menghasilkan fluks celah udara resultan. Arus peneralan dapat dipecah menjadi komponen rugi-rugi inti I_c yang se-fasa dengan E_1 dan komponen magnetisasi I_m yang tertinggal dari E_1 sebesar 90° . Sehingga dapat dibuat rangkaian ekivalen pada stator seperti gambar dibawah ini :



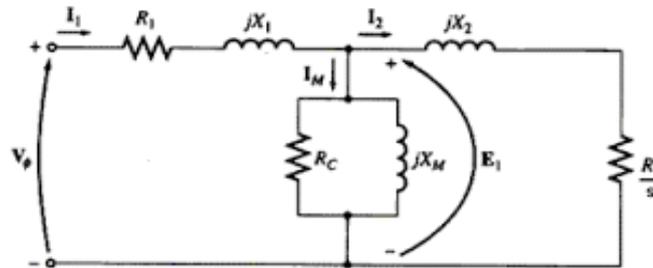
Gambar 2.7 Rangkaian Ekivalen Stator

Pada rotor belitan, belitan yang dililit sama banyaknya dengan jumlah kutub dan fasa stator. Jumlah lilitan efektif tiap fasa pada lilitan stator banyaknya a x jumlah lilitan rotor. Bandingkan efek magnetis rotor ini dengan yang terdapat pada rotor ekivalen magnetic yang mempunyai jumlah lilitan yang sama seperti stator. Untuk kecepatan dan fluks yang sama, hubungan antara tegangan E_{rotor} yang diimbaskan pada rotor yang sebenarnya dan tegangan E_{2s} yang diimbaskan pada rotor ekivalen adalah sebagai berikut :

$$\overline{E_{2s}} = a E_{rotor} \dots \dots \dots (2.6)$$

Bila rotor-rotor akan diganti secara magnetis, lilitan ampere masing-masing harus sama dan hubungan antara arus rotor sebenarnya I_{rotor} dan arus I_{2s} pada rotor ekivalen haruslah :

$$\overline{I_{2s}} = \frac{I_{rotor}}{\alpha} \dots\dots\dots(2.7)$$



Gambar 2.8 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi

Dari rangkaian ekivalen (Gambar 2.8) dibawah ini I_1 merupakan arus yang mengalir pada kumparan stator yang terbagi arus I_m dan I_2 , dimana untuk mencari besarnya arus yang mengalir pada saat pembebanan.

Dimana,

V_ϕ = Tegangan sumber perfasa pada kumparan stator

R_1 = Resistansi kumparan stator

jX_1 = Reaktansi Induktif kumparan stator

R_c = Tahanan Inti Besi

R_2 = Resistansi kumparan rotor dilihat dari sisi stator

jX_2 = Reaktansi Induktir rotor dilihat dari sisi stator

jX_m = Reaktansi magnet pada Motor

I_1 = Arus kumparan stator

I_2 = Arus pada kumparan rotor dilihat dari sisi stator saat motor distart.

2.13. Pengasutan Motor Induksi⁴

Pengasutan motor induksi adalah cara menjalankan pertama kali motor, tujuannya agar starting kecil dan drop tegangan masih dalam batas toleransi. Dibawah ini beberapa macam pengasutan motor induksi :

⁴ Siswoyo, Teknik Listrik Industri (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008), jilid 2, hal. 5-11.

2.13.1. Pengasutan Hubungan Langsung (DOL)

Jala-jala tegangan rendah 380 V melalui pemutus rangkaian atau kontaktor Q1 langsung terhubung dengan motor induksi. Sekering berfungsi sebagai pengaman hubungsingkat, jika terjadi beban lebih diamankan oleh relay pengaman beban lebih (overload relay). Saat pemutus rangkaian/ kontaktor di ON kan motor induksi akan menarik arus starting antara 5 sampai 6 kali arus nominal motor. Untuk motor induksi dengan daya kecil 5 KW, hubungan langsung bisa dipakai. Arus starting yang besar akan menyebabkan drop tegangan disisi suply.

2.13.2. Pengasutan Segitiga-Bintang⁹

Metode starting Y – Δ banyak digunakan untuk menjalankan motor induksi rotor sangkar yang mempunyai daya di atas 5 kW (atau sekitar 7 HP). Untuk menjalankan motor dapat dipilih starter yang umum dipakai antara lain : saklar rotari Y – Δ , saklar khusus Y- Δ atau dapat juga menggunakan beberapa kontaktor magnet beserta kelengkapannya yang dirancang khusus untuk rangkaian starter Y – Δ . Arus starting sekitar 1,8 sampai 2,6 kali arus nominal. Dan torsi awal sekitar 0,5 torsi nominal.

2.13.3. Tahanan Depan Stator (*Primary Resistor*)

Starting dengan menggunakan tahanan primer adalah suatu cara menurunkan tegangan yang masuk ke motor melalui tahanan yang disebut tahanan primer karena tahanan ini terhubung pada sisi stator. Hal ini menggunakan prinsip tegangan jatuh.

2.13.4. Autotransformator

Prinsipnya sama dengan menggunakan tahanan primer namun digantikan dengan trafo otomatis yang akan mengatur tegangan start dari motor. Setelah beberapa saat motor dipercepat,

⁹ Cahyo. 2015. (online). <http://blog.unnes.ac.id/crowds/pengasutan-motor-listrik/>. (Diakses 2 April 2022 pukul 20.00 WIB)

transformator diputuskan dari rangkaian dan motor terhubung langsung pada tegangan penuh.

2.13.5. Tahanan Rotor Lilit

Metoda lain untuk menurunkan arus starting adalah dengan menggunakan tahanan (R) yang dihubungkan pada rangkaian rotor. Starting ini hanya dapat dipakai untuk motor induksi motor rotor lilit (motor slip ring), sedangkan untuk motor induksi rotor sangkar hal ini tidak bisa dilakukan. Motor induksi rotor lilit juga disebut motor induksi cincin geser (slipring), rotornya mempunyai lilitan yang dihubungkan ke tahanan luar. Pada waktu starting, motor dihubungkan dengan tahanan dengan harga R yang maksimum. Setelah motor running, maka rheostat dihubung singkat.

2.14. Perhitungan Daya

Daya dapat dikatakan sebagai energi yang digunakan tiap waktu. Daya dalam tegangan AC pada setiap saat sama dengan perkalian dari harga arus dan tegangan pada saat itu. Jika arus dan tegangan bolak-balik satu fasa, maka daya dalam satu periode sama dengan perkalian dari arus dan tegangan efektif. Tetapi jika ada reaktansi dalam rangkaian arus dan tegangan tidak satu fasa sehingga selama siklusnya biasa terjadi arus negatif dan tegangan positif. Secara teoritis daya terdiri dari tiga yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu yang pengertiannya adalah sebagai berikut :

1. Daya aktif (P) adalah daya yang diubah menjadi energy, persatuan waktu atau dengan kata lain adalah daya yang benar-benar terpakai yang dihasilkan oleh komponen resistif, satuannya adalah Watt (W).
2. Daya reaktif (Q) adalah daya yang ditimbulkan oleh komponen reaktansi. Daya reaktif ditentukan dari reaktansi yang menimbulkannya, dapat berupa reaktansi induktif (X_L) dan reaktansi kapasitif (X_C) , satuannya adalah Volt Ampere Reaktif (VAR).
3. Daya semu (S) adalah jumlah secara vektoris daya aktif dan daya reaktif yang memiliki satuan Volt Ampere (VA).

$$P = V.I. \cos\phi \dots\dots\dots(2.8)$$

$$S = V.I \dots\dots\dots(2.9)$$

$$Q = V.I. \sin\phi \dots\dots\dots(2.10)$$

Untuk daya tiga phasa rumus daya aktif, daya reaktif, dan daya semu adalah seperti dibawah ini :

$$P = \sqrt{3}. V_l. I_l. \cos\phi \dots\dots\dots(2.11)$$

$$S = \sqrt{3}. V_l. I_l. \sin\phi \dots\dots\dots(2.12)$$

$$Q = \sqrt{3}. V_l. I_l \dots\dots\dots(2.13)$$

4. Daya *Input*

Daya *Input* adalah daya masukan atau total daya yang diterima. Dibawah ini adalah rumus dari perhitungan P_{input} untuk daya masukan 3 phasa :

$$P_{input} = \sqrt{3}. V_l. I_l. \cos\phi \dots\dots\dots(2.14)$$

V_l = Tegangan Phasa – phasa

I_l = Arus Phasa – phasa

5. Daya *Output*

Daya *Output* adalah daya keluaran atau daya yang diterima motor untuk melakukan kerja. Dibawah ini adalah rumus dari perhitungan daya keluaran :

$$P_{output} = V_{output} \times I_{output} \dots\dots\dots(2.15)$$

V_{output} = Tegangan yang diukur atau tegangan keluaran

I_{output} = Arus yang diukur atau arus keluaran

$$P_{output} = P_{in} - P_{rugi-rugi} \dots\dots\dots(2.16)$$

P_{in} = Daya masukan atau total daya yang diterima

$P_{rugi-rugi}$ = Rugi – rugi daya

Daya memiliki hubungan dengan usaha yaitu daya merupakan usaha yang dilakukan dalam satuan waktu, atau dengan kata lain daya berbanding terbalik dengan waktu sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \frac{W}{t} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana,

P = Daya mekanik (W)

W = Usaha (joule)

t = Waktu (s)

2.15. Torsi Motor Induksi

Secara umum torsi merupakan daya yang digunakan untuk menggunakan sesuatu dengan jarak dan arah tertentu. Dari penjelasan tersebut, maka rumusan torsi adalah sebagai berikut:

$$T = \frac{5252 \times hp}{n_r} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana,

T = Torsi (N.m)

hp = horse power (watt)

n_r = Kecepatan Putaran Motor (rpm)

Sedangkan hubungan torsi terhadap daya pada sebuah motor listrik adalah

$$P_{out} = T \times w_r \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana:

P_{out} = Daya keluaran (watt)

T = Torsi (N.m)

w_r = Kecepatan Sudut Rotor (Rad/s)

Untuk motor listrik, kecepatan sudut motor didapatkan berdasarkan persamaan berikut:

$$w_r = \frac{2 \times \pi \times n_r}{60} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana:

w_r = Kecepatan Sudut Rotor (Rad/s)

n_r = Kecepatan Putaran Motor (rpm)

π = 3,14

2.16. Rugi – rugi Daya Pada Motor Induksi

Pada setiap motor tentu ada rugi – rugi pada motor hal ini karena motor dapat mengkonversikan energi 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 :

$$P_{\text{rugi-rugi}} = P_{\text{in}} - P_{\text{out}} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana

P_{in} : Total daya yang diterima motor

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

$P_{\text{rugi-rugi}}$: Total kerugian daya yang dihasilkan oleh motor

$$P_{\text{rugi-rugi}} = \left[\frac{P_{\text{in}}}{P_{\text{in max}}} \right]^2 \cdot P_{\text{rugi-rugi max}} \dots\dots\dots (2.22)$$

P_{in} : Total daya yang diterima motor beban sebenarnya

$P_{\text{in max}}$: Daya Masukan yang diterima motor dengan beban maksimum

$P_{\text{rugi-rugi}}$: Total kerugian daya yang dihasilkan oleh motor

$P_{\text{rugi-rugi max}}$: Total kerugian daya yang dihasilkan oleh motor beban maksimum

2.17. Efisiensi Motor

Efisiensi motor dapat dikatakan sebagai perbandingan keluaran daya motor yang digunakan terhadap keluaran daya totalnya. Pada motor listrik efisiensi motor terdapat hubungan jelas antara motor dan beban. Apabila pada beban 50% - 100% paling efisien pada beban adalah 75%, dan apabila beban turun dibawah 50% efisiensi turun dengan cepat maka akan berdampak pada faktor dayanya. Untuk mengukur efisiensi motor, maka motor harus dilepaskan sambungannya dari beban dan dibiarkan untuk melalui serangkaian uji. Dibawah ini adalah rumus dari efisiensi :

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana :

η = Efisiensi (%)

P_{out} = Daya keluaran (Watt)

P_{in} = Daya masukan (Watt)

2.18. Gangguan – gangguan Yang Terjadi Pada Motor Induksi

Pada motor listrik tentunya terdapat gangguan – gangguan yang mungkin terjadi, gangguan bisa terjadi akibat adanya faktor sendiri yang terdapat pada motor tersebut atau faktor tempat dan faktor kebersihan pada motor tersebut. Berikut ini jenis- jenis gangguan yang sering terjadi pada motor induksi :

2.18.1. Gangguan Fisik

Gangguan fisik adalah gangguan yang terjadi secara langsung kepada motor dan dapat berpengaruh pada motor tersebut. Gangguan fisik yang sering terjadi, yaitu :

- a. Terkena Debu
- b. Motor tertimpa ranting pohon
- c. Terkena pasir
- d. Disekeliling tempat motor banyak rerumputan, dll

Cara mencegah agar tidak terjadi pada gangguan fisik yaitu dengan cara :

- a. Memakai pelindung atau penutup pada motor.
- b. Melakukan perawatan dan pembersihan pada motor secara rutin.

2.18.2. Gangguan Mekanis

Gangguan mekanis adalah gangguan yang paling inti dalam motor tersebut, hal ini sangat mempengaruhi sistem kerja maupun pergerakan pada motor tersebut. Gangguan mekanis yang sering terjadi adalah sebagai berikut :

- a. Pembebanan mekanis yang digerakkan lebih besar dari kemampuan motor.
- b. Pemeliharaan motor yang kurang baik.
- c. Pemakaian bagian motor yang tidak sesuai.

- d. Pelumasan bantal – bantal motor tidak sempurna.
- e. Tidak diberi pelumasan pada bantal – bantal
- f. Pemasangan instalasi kurang teliti.

2.18.3. Gangguan Beban Lebih

Gangguan beban lebih sering terjadi pada motorhal ini disebabkan oleh besarnya beban yang ditanggung motor melebihi kapasitasnya. Akibatnya arus yang lebih besar dapat menimbulkan panas sehingga dapat merusak isolasi pada motor dan mengakibatkan kebakaran pada motor apabila tidak segera ditangani.

2.18.4. Gangguan Tegangan Turun

Turunnya tegangan jala-jala akan mengurangi momen dari motor listrik, sebab momen sebanding dengan kuadrat tegangan. Karena momen beban konstan, maka slip motor bertambah besar, hal ini akan mengakibatkan lebih banyak tenaga reaktif yang diserap motor, sehingga arus yang di perlukan motor juga semakin besar. Untuk itu diperlukan penstabilan tegangan.

2.18.5. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan gubung singkat sering kita jumpai pada peralatan listrik yang lain, dimana hubung singkat adalah suatu hubungan dengan tahanan listrik yang sangat kecil , mengakibatkan aliran listrik yang sangat besar dan apabila tidak ditangani dapat mengakibatkan ledakan dan kebakaran. Hubung singkat yang sering terjadi pada motor, yaitu :

- a. Gangguan hubung singkat pada antara fasa, dapat terjadi pada kabel penghubung jala-jala dengan motor, atau pada ujung kabel dan pada kumparan-kumparan motor (Ground).
- b. Gangguan antara masing - masing lilitan pada salah satu kumparan stator, hal ini akan mengganggu keseimbangan motor dan arus yang mengalir pada kumparan yang bersangkutan akan menjadi lebih

besar. Dalam suatu sistem kelistrikan mustahil untuk mendapatkan kondisi sistem yang sempurna. Oleh karena itu, diperlukan suatu alat proteksi untuk melindungi sistem atau meminimalkan gangguan tersebut.

2.19. *Stacker Reclaimer*

Stacker Reclaimer termasuk dalam alat tambang utama karena alat ini digunakan untuk mencurahkan batubara melalui *belt conveyor* menuju stockpile, maupun mengambil batubara dari stockpile ke pemuat batubara. *Stacker Reclaimer* mirip dengan *Bucket Wheel Excavator* yang membedakannya adalah pada penggerak dan model penggerak maju maupun mundur alat tersebut.



Gambar 2.9 *Stacker Reclaimer*

Alat ini dapat melakukan delapan (6) operasi, yaitu :

1. Operasi *Stacking*, dimana batubara dari *coal conveyor* (CC 10) akan langsung ditimbun di *Stockpile* melalui *stacker/reclaimer*.
2. Operasi *Reclaiming*, yaitu *stacker/reclaimer* akan mengambil kembali batubara yang ditimbun di *Stockpile* ke TLS.
3. Operasi *Through Feeding*. yaitu penyaluran langsung batubara dari CC 10 ke TLS.
4. Operasi *Additional Feeding*, *Stacker* akan melakukan *reclaiming* saat kondisi *through feeding*.
5. Operasi *Through Feeding without Tripper Car*, melakukan *through feeding* tanpa *tripper car* terhubung dengan *stacker*

6. Operasi *Chutes DC Drives Not Interlock*, mode yang digunakan untuk menggerakkan *chutes* secara manual.

2.20. Motor Inti Pada *Stacker Reclaimer*

Stacker Reclaimer adalah alat tambang utama yang dimana *stacker reclaimer* mempunyai beberapa bagian yang kompleks dan bekerja secara sistematis dengan bagian – bagian tertentu. Bagian – bagian tersebut berupa motor listrik yang berfungsi untuk menggerakkan bagian bagian pada *stacker reclaimer*. Berikut ini adalah motor listrik yang ada pada *stacker reclaimer* :

1. Motor Travel

Motor travel merupakan motor yang berfungsi sebagai penggerak maju ataupun mundur pada *stacker reclaimer*. Motor travel terdapat 2 grup yang dimana pada grup 1 terdapat 8 motor dan grup 2 terdapat 6 motor, jadi total motor travel sebanyak 14 motor. Motor travel yang digunakan pada *stacker reclaimer* adalah motor listrik yang berjenis motor DC. Motor travel digerakkan melalui joystick dan pedal oleh operator.

2. Motor *Slewing*

Motor *Slewing* merupakan salah satu motor pada *Stacker Reclaimer* yang difungsikan untuk menggerakkan *Bucket Wheel* ke kiri dan ke kanan. Motor ini terdapat dibagian tengah atau poros gerak *Stacker Reclaimer*. Sama halnya dengan motor travel dibagian ini juga di tuntut untuk bergerak halus agar mengurangi gerakan amplitudo dibagian *bucket wheel* dan *belt conveyor 1*, sehingga dipasang motor dipasang motor *slewing* yang termasuk motor DC yang diharapkan mengurangi timbulnya getaran. Terdapat 2 motor *slewing* yang ada pada *stacker reclaimer*.

3. Motor *Cable Reel*

Motor *cable reel* adalah motor yang berfungsi sebagai penggulung kabel pada *stacker reclaimer*. Terdapat 2 jenis motor *cable reel*, yaitu:

a. Motor *Control Cable Reel*

Motor *control cable reel* adalah motor yang berfungsi sebagai penggulung kabel kontrol yang ada pada *stacker reclaimer*. Motor ini

bekerja apabila motor travel bekerja maka otomatis motor *control cable reel* akan bekerja.

b. Motor *Power Supply Cable Reel*

Motor *power supply cable reel* adalah motor yang berfungsi sebagai penggulung kabel power yang ada *stacker reclaimer*. Motor ini bekerja apabila motor travel bekerja, maka otomatis motor *power supply* akan bekerja.

4. Motor *Bucket wheel*

Motor *Bucket Wheel* adalah motor penggerak yang paling penting untuk melakukan proses *reclaiming* untuk proses mengambil batubara atau mengeruk batubara.

5. Motor *Belt Conveyor*

Belt Conveyor atau roda berjalan merupakan bagian yang digunakan untuk pengangkut material. Pada saat *Stacker Reclaimer conveyor* difungsikan untuk mengangkut material batubara saat proses *stack* maupun *reclaim*. Proses *stacking* yaitu keadaan dimana *stacker* mengambil material batubara menggunakan roda bucket dari *stockpile* menggunakan conveyor menuju langsung *Train Loading Station (TLS)*.