



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Sinkron

Motor sinkron tiga fasa adalah motor listrik arus bolak-balik (AC) yang putaran rotornya sinkron/serempak dengan kecepatan medan putar statornya. Motor ini beroperasi pada sumber tegangan tiga fasa yang dihubungkan dengan kumparan jangkar di stator. Selain mendapat suplai tegangan tiga fasa, motor sinkron juga mendapat arus eksitasi/arus medan dari sumber arus searah (DC) pada kumparan medan di rotornya.

Motor sinkron pada pengoperasiannya tidak dapat melakukan start awal (*self starting*). Oleh karena itu, motor sinkron tiga fasa membutuhkan penggerak mula (*prime mover*) untuk memutar rotor sampai pada kecepatan putar medan putar stator.

Perubahan beban pada motor sinkron tidak mempengaruhi kecepatan putar motor karena ketika motor bekerja, rotor akan selalu terikat atau terkopel secara magnetis dengan medan putar dan dipaksa untuk berputar dengan kecepatan sinkronnya sehingga motor sinkron biasanya digunakan pada sistem operasi yang membutuhkan kecepatan konstan dengan beban yang berubah-ubah.

Keuntungan lain dari motor sinkron adalah dapat digunakan untuk memperbaiki faktor daya sistem karena karakteristiknya pada saat eksitasi lebih. Stator akan menarik arus yang bersifat kapasitif dari jala-jala dan sehingga motor bekerja pada faktor daya leading. Hal ini akan dapat memperbaiki faktor daya pada sistem.

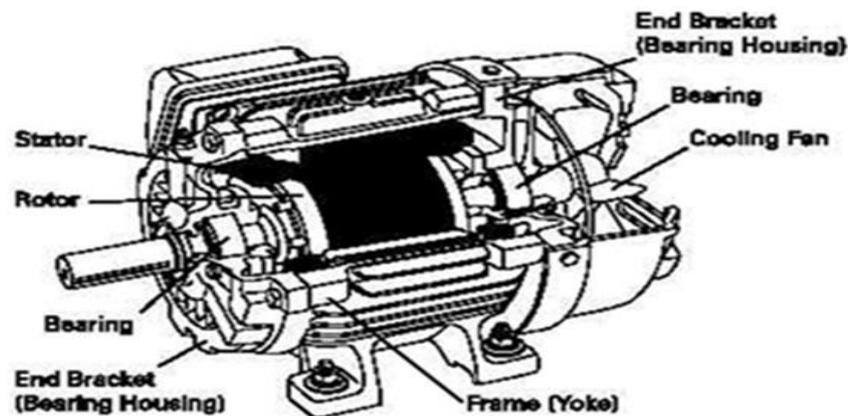
2.2. Konstruksi Motor Sinkron Tiga Fasa

Konstruksi motor sinkron pada prinsipnya adalah sama dengan generator sinkron. Kalaupun ada perbedaan secara fisik yaitu adanya kumparan peredam (*Damper Winding*) yang ditanamkan pada muka kutub rotor yang berfungsi untuk



start awal pada motor sinkron. Secara umum, konstruksi dari sebuah motor sinkron terdiri dari :

1. Stator adalah bagian dari motor yang diam
2. Rotor adalah bagian dari motor yang berputar
3. Celah udara adalah ruang antara stator dan rotor



Gambar 2.1 Konstruksi motor sinkron

2.2.1. Stator

Stator merupakan bagian yang diam dan mempunyai alur atau slot memanjang yang di dalamnya terdapat belitan yang disebut dengan belitan jangkar (*Armature Winding*).

Secara umum stator terdiri dari kerangka stator, inti stator, belitan stator dan slot.

1. Rangka Stator

Rangka stator berfungsi sebagai tempat melekatnya kumparan jangkar. Pada rangka stator terdapat lubang pendingin dimana udara dan gas pendingin disirkulasikan. Rangka stator biasanya dibuat dari besi campuran baja atau plat baja giling yang dibentuk sedemikian rupa sehingga diperoleh rangka yang sesuai dengan kebutuhan.

2. Inti Stator

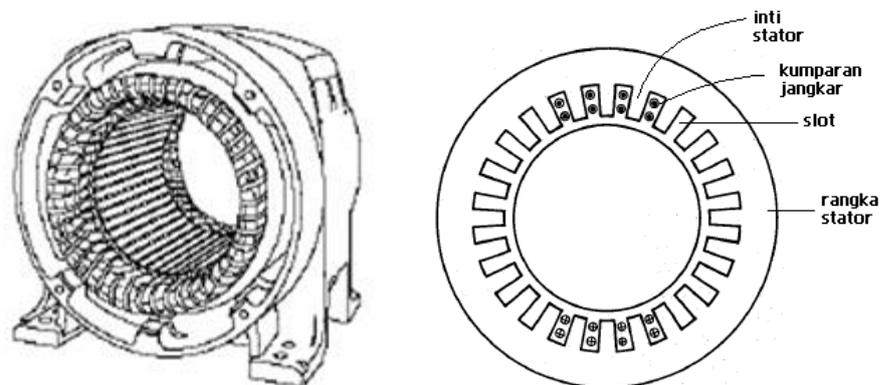
Inti stator melekat pada rangka stator dimana inti ini terbuat dari laminasilaminasi besi khusus atau campuran baja. Hal ini dilakukan



untuk memperkecil rugi arus eddy. Tiap laminasi diberi isolasi dan diantaranya dibentuk celah sebagai tempat aliran udara.

3. Slot

Slot adalah tempat konduktor berada yang letaknya pada bagian dalam sepanjang keliling stator. Bentuk slot ada 3 jenis yaitu slot terbuka, slot setengah terbuka, slot tertutup.



Gambar 2.2. Penampang Stator

2.2.2. Rotor

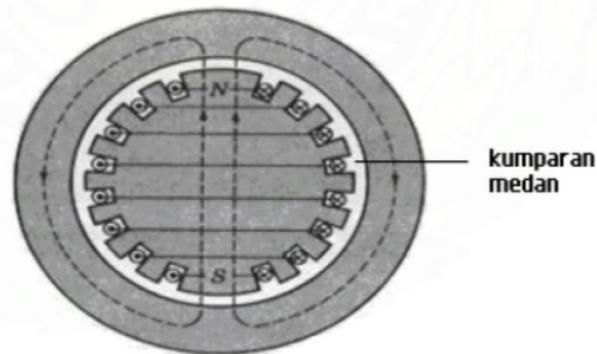
Rotor berfungsi sebagai tempat belitan medan (eksitasi) yang membentuk kemagnetan listrik kutub utara-selatan pada inti rotor. Belitan medan tersebut dihubungkan dengan sumber eksitasi DC. Berdasarkan bentuknya ada 2 jenis rotor pada motor sinkron yaitu kutub silinder dan kutub menonjol.

1. Rotor Kutub Silinder (*Non-Salient Pole Rotor*)

Rotor tipe ini dibuat dari plat baja berbentuk silinder yang mempunyai sejumlah slot sebagai tempat kumparan. Karena adanya slot-slot dan kumparan medan yang terletak pada rotor mengakibatkan jumlah kutub sedikit. Selain itu motor ini memiliki putaran yang tinggi pada frekuensi yang konstan. Tipe rotor biasanya berdiameter kecil dan sumbuinya sangat panjang.



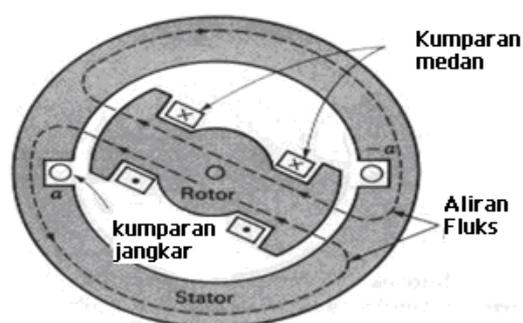
Konstruksinya memberikan keseimbangan mekanis yang lebih baik karena rugi-rugi anginnya lebih kecil dibandingkan rotor kutub menonjol.



Gambar 2.3. Penampang Rotor Kutub Silinder

2. Rotor Kutub Menonjol (*Salient Pole Rotor*)

Rotor tipe ini mempunyai kutub yang jumlahnya banyak dan putarannya rendah. Kutub menonjol ditandai dengan rotor berdiameter besar dan panjang sumbunya pendek. Kumparan dibelitkan pada tangkai kutub, dimana kutub-kutub diberi laminasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh arus Eddy.

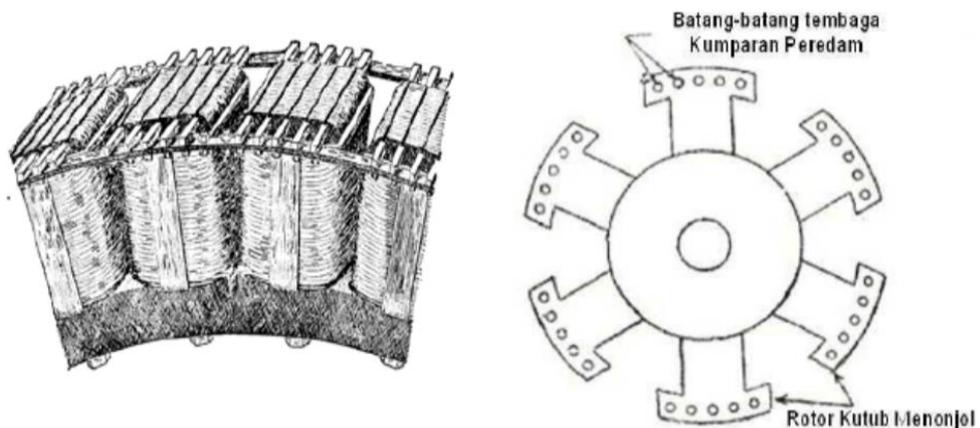


Gambar 2.4. Penampang Rotor Kutub Menonjol



2.3. Kumbaran Peredam (*Damper Winding*)

Kumbaran ini berfungsi untuk membantu motor sinkron melakukan start langsung dan juga memberikan keuntungan pada stabilitas motor karena kumbaran ini mempunyai kecenderungan untuk meredam gejala peralihan (*transient*) pada motor. Kumbaran peredam yang juga sering dikatakan *amortisseur winding*, merupakan pelat kumbaran dengan tonjolan pada bagian muka kumbaran rotor yang ujung-ujungnya dihubungkan-singkatkan dengan cincin logam seperti kumbaran sangkar bajing (*squirrel cage*) pada motor induksi.



Gambar 2.5. Kumbaran Peredam Pada Rotor Jenis Kutub Menonjol

2.4. Reaksi Jangkar

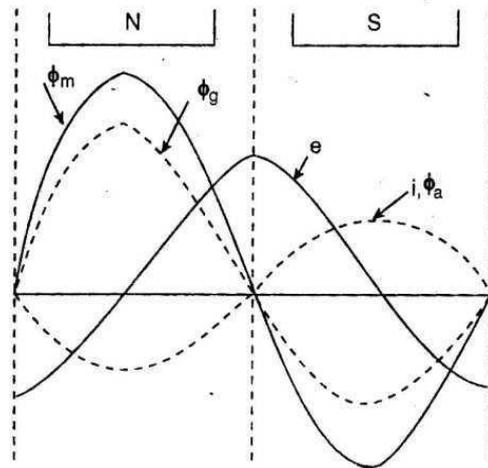
Ketika motor sinkron dioperasikan, arus jangkar I_A akan mengalir dan membentuk fluksi jangkar Φ_a di stator. Fluksi jangkar ini kemudian akan berinteraksi dengan fluksi medan Φ_m dari rotor dan akan mempengaruhi nilai tegangan fasanya. Interaksi antara Φ_a dan Φ_m ini kemudian dikenal sebagai reaksi jangkar. Pengaruh yang ditimbulkan reaksi jangkar dapat berupa distorsi, penguatan (*magnetising*), maupun pelemahan (*demagnetising*) fluksi arus medan pada celah udara. Pengaruh yang ditimbulkan reaksi jangkar dapat dilihat pada:

- a. $\cos \phi = \text{lagging}$

Arus akan tertinggal sebesar 90° dari tegangan. Fluksi yang dihasilkan oleh arus jangkar Φ_a akan melawan fluksi arus medan Φ_m sehingga fluks



resultan Φ_g pada celah udara akan berkurang dari Φ_m . Dengan kata lain reaksi jangkar akan *demagnetising* artinya pengaruh reaksi jangkar akan melemahkan fluksi arus medan (*Demagnetising Effect*).

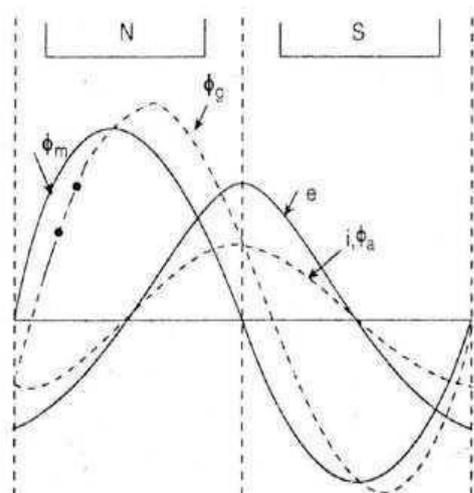


E lagging dari Φ_m sebesar 90°
 I lagging dari E sebesar 90°
 Oleh karena itu
 I lagging dari Φ_m sebesar 180°
 Karena Φ_a sefasa dengan I,
 Φ_a lagging dari Φ_m sebesar 180°

Gambar 2.6. Pengaruh Demagnetisasi (Demagnetising Effect)

b. $\cos \varphi = \text{unity}$

Pengaruh fluksi jangkar terhadap fluksi medan hanyalah sebatas mendistorsinya saja tanpa mempengaruhi kekuatannya (*cross magnetising*).



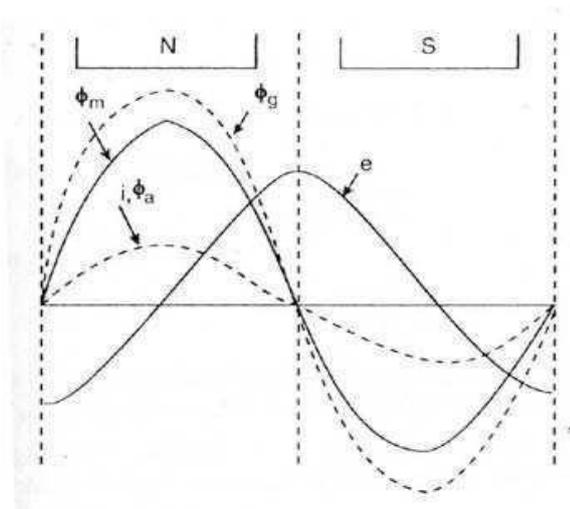
E lagging dari Φ_m sebesar 90°
 Φ_a lagging dari Φ_m sebesar 90°

Gambar 2.7. Pengaruh Distorsi Magnet (Cross-Magnetising Effect)



c. $\cos \phi = \text{leading}$

Arus akan mendahului tegangan sebesar 90° . Fluksi yang dihasilkan arus jangkar akan searah dengan fluksi arus medan sehingga fluks resultan Φ_g pada celah udara akan bertambah dari Φ_m . Reaksi jangkar yang terjadi akan *magnetising* artinya pengaruh reaksi jangkar akan menguatkan fluksi arus medan (*Magnetising Effect*).



E lagging dari Φ_m sebesar 90°

I leading dari E sebesar 90°
Sehingga I sefasa Φ_m

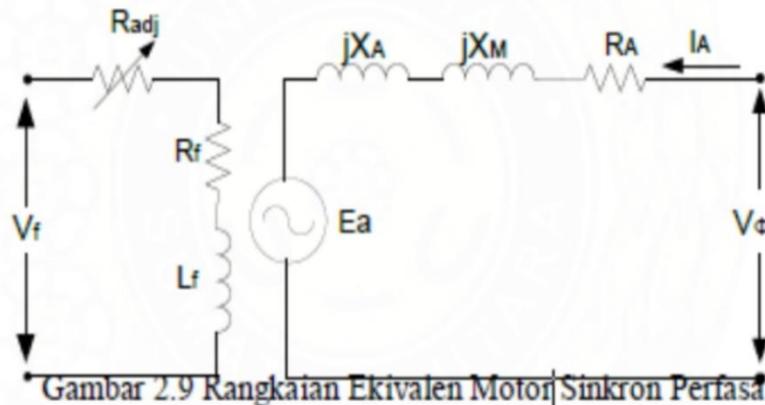
Karena Φ_a sefasa dengan I,
 Φ_a akan sefasa dengan Φ_m

Gambar 2.8. Pengaruh Magnetisasi (Magnetising Effect)

Perubahan nilai tegangan terminal V_t akibat perubahan fluksi karena reaksi jangkar dinyatakan sebagai reaktansi reaksi jangkar X_M . Untuk jatuh tegangan akibat adanya reaksi jangkar dinyatakan dengan $jX_M I_A$.

2.5. Rangkaian Ekivalen

Stator terdiri dari belitan-belitan dimana suatu belitan konduktor akan terdiri dari tahanan R_A dan induktansi L . Ketika motor bekerja maka arus akan mengalir pada konduktor membentuk fluksi jangkar Φ_a yang akan membangkitkan medan putar. Fluksi jangkar Φ_a akan berinteraksi dengan fluks medan Φ_m sehingga akan terjadi konversi energi dari energi listrik menjadi energi mekanik. Pada kondisi ini, ada fluks sisa yang tidak dapat berinteraksi dengan fluks medan disebut reaktansi bocor X_A . Akibatnya adanya pengaruh reaksi jangkar dan reaktansi bocor X_A maka rangkaian ekivalen suatu motor sinkron adalah seperti gambar 2.9:



Gambar 2.9 Rangkaian Ekuivalen Motor Sinkron Perfasa

Dengan melihat gambar 2.9 maka dapat ditulis persamaan tegangan motor sinkron sebagai berikut :

$$V_{\phi} = E_A + j.X_A.I_A + j.X_M.I_A + R_A.I_A \text{ (Volt) } \dots\dots\dots(2.1)$$

Dari persamaan (2.1) dapat dilihat bahwa selain karena adanya tahanan R_A , penyebab perbedaan antara tegangan induksi E_A dan tegangan terminal V_t adalah reaktansi bocor (X_A) dan reaktansi reaksi jangkar (X_M). Kedua reaktansi ini memiliki arah yang sama, yaitu leading dari arus sebesar 90° . Karena itu keduanya dapat disederhanakan menjadi X_s yang disebut dengan reaktansi sinkron ($X_s = X_A + X_M$) sehingga persamaan (2.1) menjadi:

$$V_{\phi} = E_A + j.X_s.I_A + R_A.I_A \text{ (Volt) } \dots\dots\dots(2.2)$$

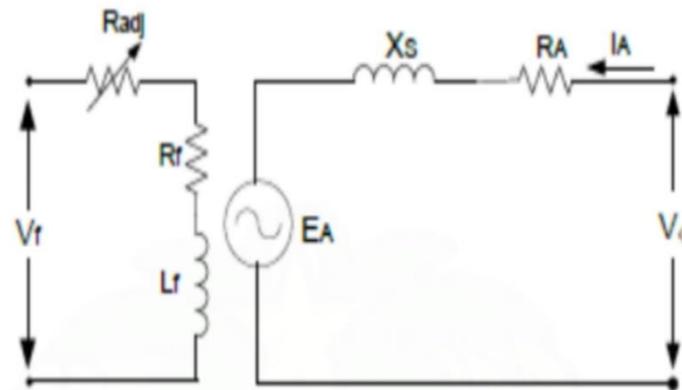
atau

$$E_A = V_{\phi} - j.X_s.I_A - R_A.I_A \text{ (Volt) } \dots\dots\dots(2.3)$$

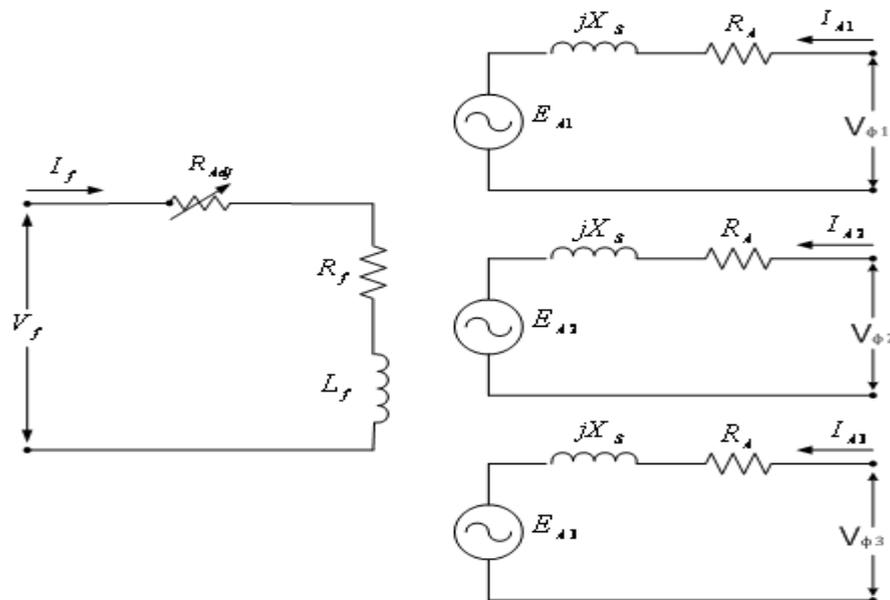
Bila R_A diabaikan maka :

$$I_A = \frac{V_{\phi} - E_A}{j.X_s} \text{ (A)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Persamaan ini sama dengan persamaan generator sinkron, kecuali tanda untuk arusnya adalah terbalik.

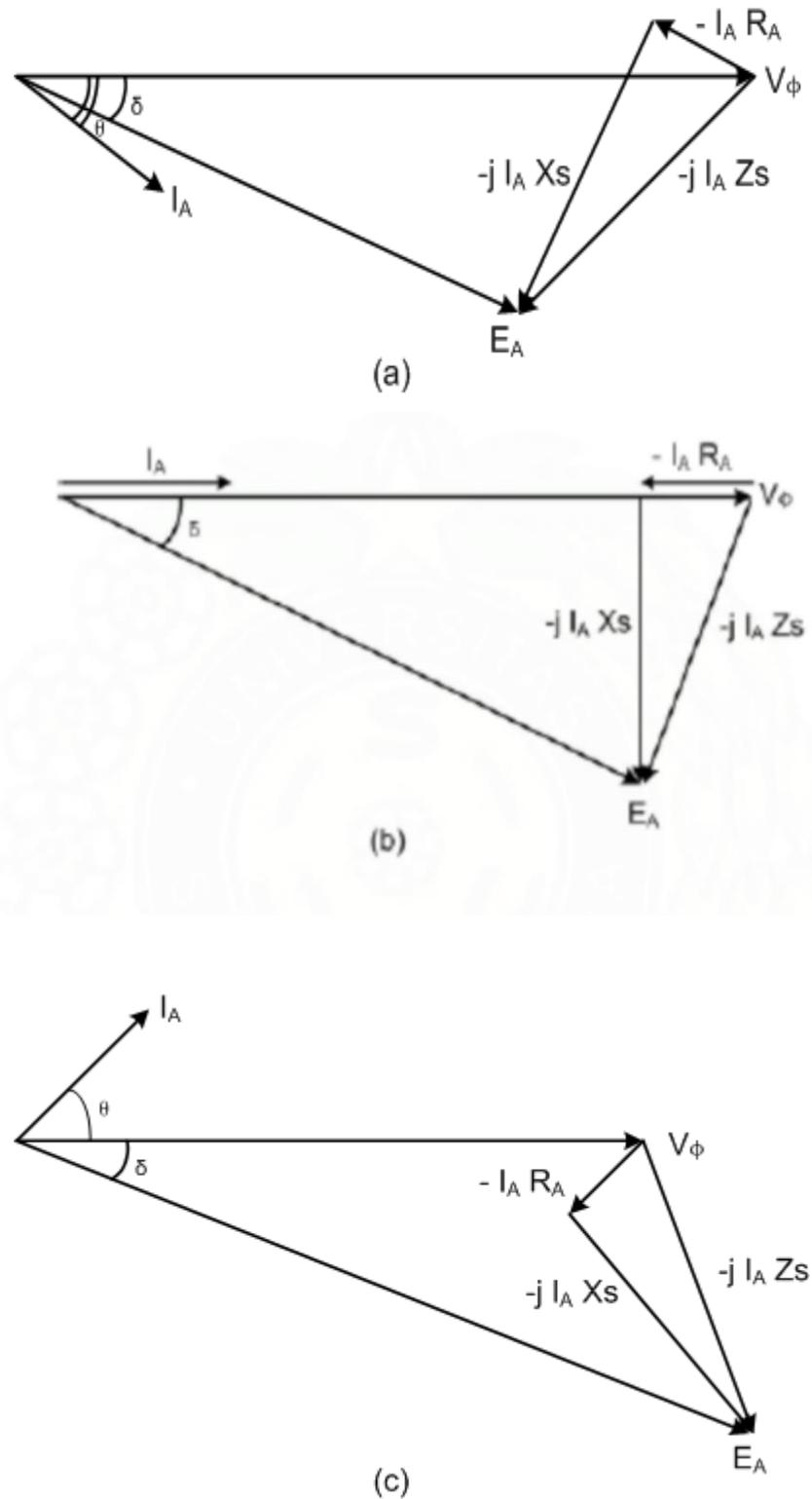


Gambar 2.10. Penyederhanaan Rangkaian Ekuivalen Motor Sinkron Perfasa



Gambar 2.11. Rangkaian Ekuivalen Motor Sinkron Tiga Fasa

Dari persamaan (2.3) dapat digambarkan diagram fasor motor sinkron seperti ditunjukkan pada gambar 2.12 berikut :



Gambar 2.12. a. Diagram Fasor Motor Sinkron Pada Faktor Daya Lagging
 b. Diagram Fasor Motor Sinkron Pada Faktor Daya Unity
 c. Diagram Fasor Motor Sinkron Pada Faktor Daya Leading



Keterangan : E_A = Tegangan Jangkar (ggl lawan)

I_A = Arus Jangkar

V_ϕ = Tegangan Terminal

X_s = Reaktansi Sinkron

Z_s = Impedansi Sinkron

R_A = Tahanan Jangkar

R_{adj} = Tahanan Variabel

δ = Sudut Kopel

θ = Sudut Daya

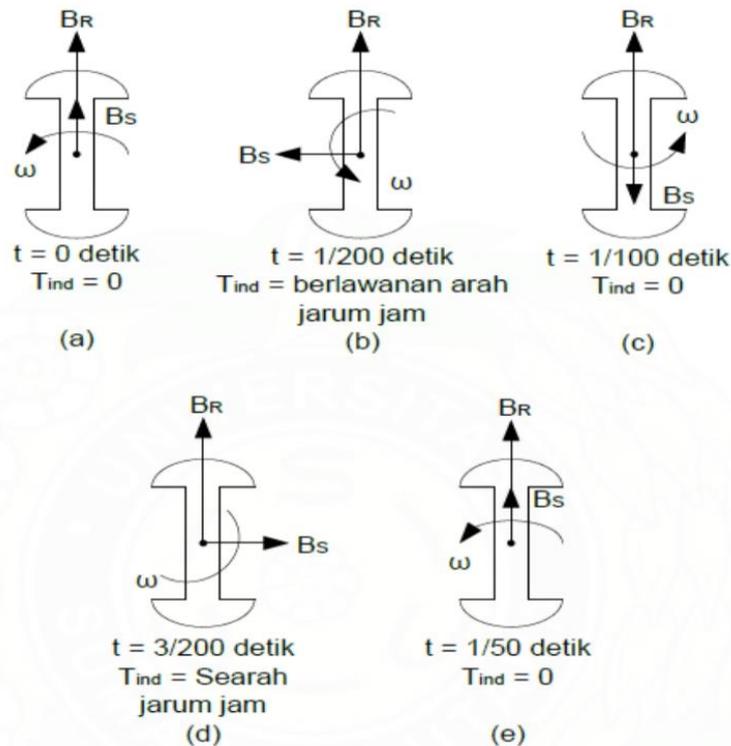
Saat motor sinkron dibebani tanpa pengaturan eksitasi, motor sinkron akan beroperasi pada faktor daya lagging dan diagram fasornya seperti yang ditunjukkan pada gambar (2.12.a). Oleh karena itu, untuk menganalisis motor sinkron digunakan diagram fasor motor sinkron dengan faktor daya lagging.

2.6. Prinsip Kerja

Pada motor sinkron tiga fasa terdapat 2 sumber tegangan dari luar yaitu arus bolak-balik (AC) yang dialirkan kebelitan jangkar dan arus searah (DC) yang dialirkan kebelitan medannya. Perputaran rotor diakibatkan karena adanya kopel magnetik antar medan magnet rotor dan medan putar stator.

2.7. Metode Menjalankan Motor Sinkron

Sesuai dengan prinsip kerjanya, motor sinkron tidak dapat melakukan start sendiri (*self starting*). Hal ini disebabkan torsi start motor sinkron adalah nol. Berikut akan dijelaskan keadaan motor sinkron dengan frekuensi 50 Hz saat start.



Gambar 2.13. Masalah Arah Putaran Motor Sinkron

1. Pada keadaan mula-mula rotor motor dalam keadaan diam, dan karenanya medan magnetnya (B_R) pun dalam keadaan diam. Medan magnet stator (B_s) mulai menyapu sekeliling motor pada kecepatan sinkron.
2. Pada gambar 2.13.a, memperlihatkan motor pada waktu $t=0$ detik, ketika B_R dan B_s benar-benar sefasa/segaris, maka dari persamaan kopel induksinya (persamaan 2.5), kopel induksi pada poros rotor sama dengan nol.
3. Pada gambar 2.13.b, menunjukkan situasi rotor pada saat $t=1/200$ detik, rotor baru saja bergerak, tetapi medan magnet stator sekarang bergerak kekiri. Kembali dengan persamaan 2.5, kopel pada poros rotor sekarang berlawanan dengan arah jarum jam.
4. Pada gambar 2.13.c, menunjukkan situasi pada $t=1/100$ detik, dimana B_R dan B_s berada pada arah yang berlawanan sehingga kopel induksi poros rotor sama dengan nol.



5. Pada gambar 2.13.d, menunjukkan situasi start pada saat $t=3/200$ detik, medan magnet stator sekarang menunjukkan ke kanan, sehingga kopel pada poros rotor searah dengan jarum jam.
6. Pada gambar 2.13.e, menunjukkan pada waktu $t=1/50$ detik, B_R dan B_s kembali pada posisi segaris dan kopel induksinya sama dengan nol.

Jadi selama satu siklus listrik diatas, kopel mula-mula kopel mula-mula berlawanan dengan arah jarum jam dan kemudian searah jarum jam, sehingga kopel rata-rata selamam satu siklus listrik sama dengan nol. Maka rotor tersebut akan terguncang/ bervibrasi dan akan menimbulkan panas berlebihan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka didapatkan 3 cara agar motor sinkron dapat di-start dengan aman, yaitu :

1. Menggunakan penggerak mula (prime mover) eksternal untuk memutar motor sinkron sampai pada kecepatan sinkronnya.
2. Mereduksi putaran dengan mengatur medan stator ke harga yang cukup rendah sampai rotor berputar.
3. Menggunakan kumparan peredam (*damper winding*).

2.7.1. Starting Motor Sinkron Dengan Penggerak Mula Eksternal

Pada metode start motor sinkron dengan penggerak mula, poros rotor motor sinkron dikopel dengan poros rotor penggerak mula (prime mover) eksternal, selanjutnya penggerak mula akan memutar rotor motor sinkron sampai mencapai putaran sinkronnya. Selanjutnya motor sinkron tersebut diparalelkan dengan jala-jala dan bekerja sebagai generator. Setelah hal ini dicapai, penggerak mula dilepas dari poros motor. Ketika penggerak mula dilepas dari poros motor, poros motor akan berputar perlahan (putarannya menurun) sehingga medan magnet B_R akan lagging dibelakang B_{net} dan mesin akan start beraksi sebagai motor. Saat paralelnya sudah selesai, maka motor sudah dapat dibebani.

2.7.2. Starting Motor Sinkron Dengan Mereduksi Frekwensi

Putaran medan magnet stator yang cepat membuat tidak mungkin terjadi interaksi tarik-menarik dan tolak menolak antara kutub medan



magnet stator dengan kutub medan magnet rotor yang diam sehingga motor sinkron tidak dapat melakukan start sendiri (self starting).

Pada metode start dengan mereduksi frekwensi ini, pada saat start, motor disuplai dengan frekwensi yang rendah sehingga kecepatan putaran medan putar stator juga rendah. Hal ini akan membuat terjadinya interaksi tarik-menarik dan tolak-menolak antara kutub medan magnet stator dan kutub medan magnet rotor.

Setelah terjadi interaksi antara kedua kutub medan magnet tersebut, maka frekwensi sistem pun dinaikkan secara perlahan sampai pada frekwensi dan kecepatan sinkron yang diinginkan. Saat ini, pengaturan besar frekwensi yang disuplai dapat dilakukan dengan menggunakan inverter penyearah (rectifier-inverter) dan cycloconverter.

2.7.3. Starting Motor Dengan Kumputan Peredam (*Damper Winding*)

Pada metode start dengan kumputan peredam, rotor dilengkapi dengan kumputan peredam atau kumputan sangkar bajing yang ditempatkan pada permukaan rotor yang dihubung singkat pada kedua ujungnya.

Saat kumputan stator dihubungkan dengan tegangan tiga fasa maka akan timbul medan putar pada stator. Kemudian medan putar ini akan menginduksikan ggl kedalam kumputan peredam yang telah terhubung singkat, maka dalam kumputan peredam akan mengalir arus. Arus ini akan menimbulkan kopel antara rotor dan stator secara magnetis sehingga rotor pun berputar. Namun kecepatan putar rotor tidak sama dengan kecepatan sinkronnya. Pada saat ini, motor sinkron bertindak sebagai motor induksi. Setelah putaran rotor hampir mencapai kecepatan sinkronnya, maka kumputan medan penguat yang berada pada rotor dieksitasi dengan sumber DC. Selanjutnya motor akan menuju ke keadaan sinkron. Namun dalam pelaksanaan metode start ini dibutuhkan alat pengaturan sinkronisasi untuk menghindari efek yang dapat merusak motor tersebut.

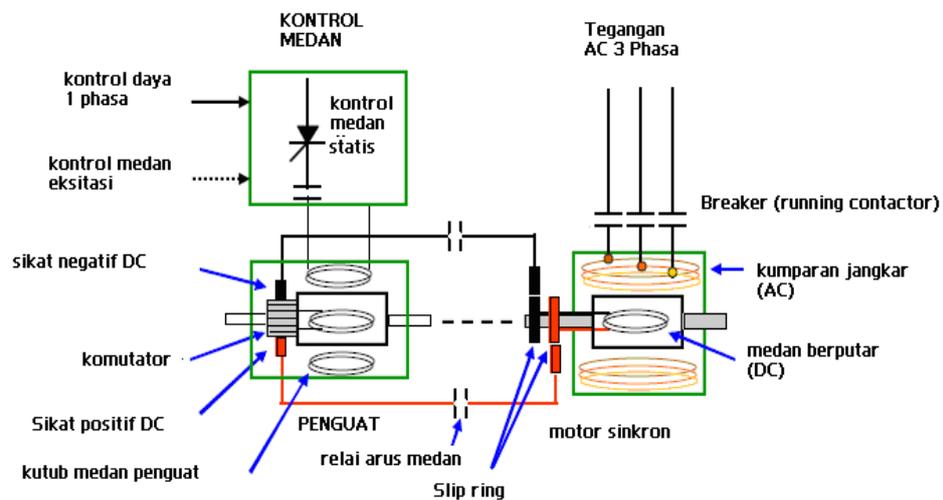


2.8. Sistem Eksitasi

Ada dua metode yang umum digunakan untuk aplikasi arus medan DC yang disuplai ke rotor motor sinkron yaitu :

1. Sistem Eksitasi Tipe Sikat (*Brush-Type Excitation System*)

Pada metode eksitasi ini arus eksitasi untuk motor sinkron disuplai oleh sebuah generator arus searah (DC) yang dikenal sebagai *Exciter*.

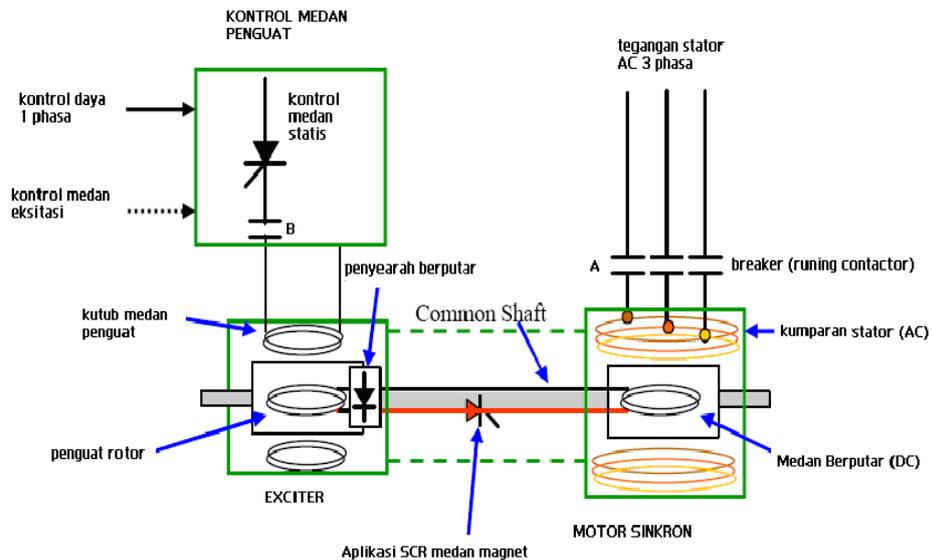


Gambar 2.14. Skema Motor Sinkron Dengan Sistem Eksitasi Tipe Sikat

Exciter ini diputar salah satunya oleh motor sinkron itu sendiri (garis putus-putus) atau motor lain yang terpisah. Medan Shunt dari *exciter* dihubungkan ke sebuah control medan statis. Beberapa kontrol eksitasi dibuat manual untuk pengaturan arus medannya, tetapi ada juga yang dibuat otomatis untuk mengatur arus medan motor sinkron dalam sebuah konfigurasi loop tertutup yang didesain untuk mengendalikan besar arus medan untuk variasi beban atau untuk mengatur faktor daya tetap. Keluaran DC dari *exciter* ini akan di suplaikan ke medan magnet rotor motor sinkron melalui slip ring motor.

2. Sistem Eksitasi Tanpa sikat (*Brushless-Type Excitation system*)

Metode eksitasi ini mengeliminasi kebutuhan akan sikat, antara *exciter* dan motor. Tegangan DC pada kumparan rotor motor disuplaikan melalui poros yang menghubungkan exciter dan motor sinkron.



Gambar 2.15. Skema Motor Sinkron Dengan Sistem Eksitasi Tanpa Sikat Ketika motor di start kontak A akan tertutup dan tegangan tiga fasa akan disupalikan ke kumparan stator. Motor sinkron di start seperti motor induksi menggunakan kumparan amortisir pada permukaan rotornya. Kontak B juga tertutup dan keluaran DC akan disuplaikan ke kumparan stator *exiter*.

Pada kumparan rotor *exciter* akan di induksikan tegangan dan tegangan ini akan disearahkan oleh penyearah berputar (*rotating rectifier*). Ketika putaran rotor mendekati kecepatannya, SCR akan bekerja dan tegangan DC dari *exciter* akan disuplaikan ke kumparan rotor motor sinkron.

2.9. Karakteristik Motor Sinkron

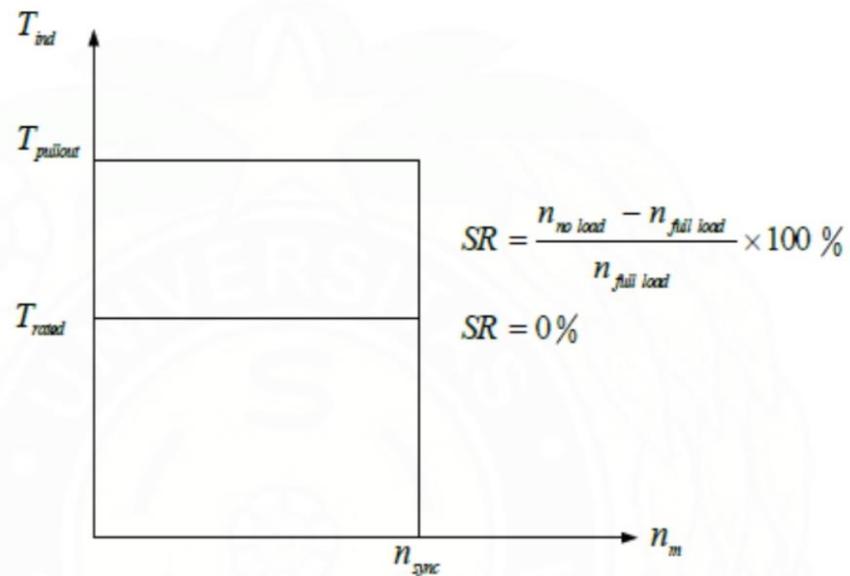
Adapun karakteristik yang umum pada motor sinkron yaitu karakteristik torsi putaran dan pengaruh kenaikan beban dengan eksitasi konstan, serta pengaruh perubahan eksitasi terhadap arus jangkar dan faktor daya.

2.9.1 Karakteristik Torsi-Putaran Pada Motor Sinkron

Motor sinkron biasanya dihubungkan dengan suatu sistem daya yang besar (infinite buses). Hal ini dimaksudkan agar tegangan terminal dan frekwensi sistem akan selalu konstan. Kecepatan putaran motor terkunci pada frekwensi elektrik yang disuplai, maka kecepatan motor juga akan



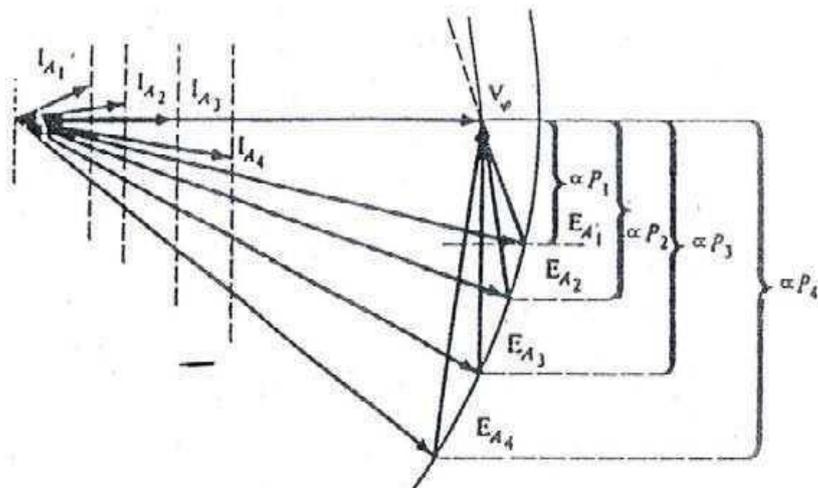
tetap konstan. Kecepatan steady-state motor adalah konstan dari beban nol sampai torsi maksimum motor.



Gambar 2.16. Karakteristik Torsi-Putaran Motor Sinkron

2.9.2 Pengaruh Kenaikan Beban Dengan Eksitasi Konstan

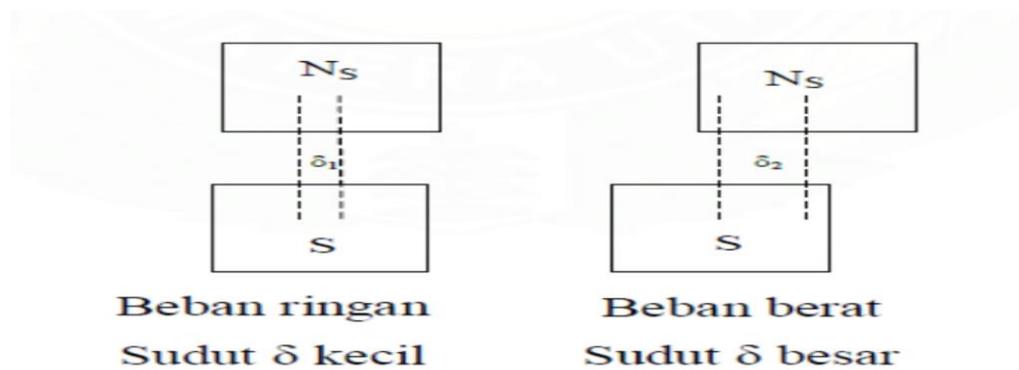
Bila beban dihubungkan ke poros motor sinkron, motor akan berusaha mendapatkan torsi yang cukup agar motor tetap beroperasi memikul beban dengan kecepatan sinkronnya. Jika beban yang ada diubah besarnya maka motor sinkron akan memiliki perilaku sebagai berikut:



Gambar 2.17. Pengaruh Bertambahnya Beban Pada Operasi Motor Sinkron



Jika beban pada poros dinaikkan, maka putaran rotor akan melambat (slow down) untuk sesaat, karena sudut kopel δ akan semakin besar dan torsi induksi motor sinkron juga akan bertambah besar. Peningkatan kopel induksi ini akhirnya mempercepat putaran rotor dan motor kembali berputar pada kecepatan sinkronnya, tetapi dengan sudut kopel δ yang lebih besar. Hal ini dapat di ilustrasikan sebagai gandengan / kopling fleksibel yang memikul beban, untuk lebih jelasnya ditunjukkan gambar 2.18.

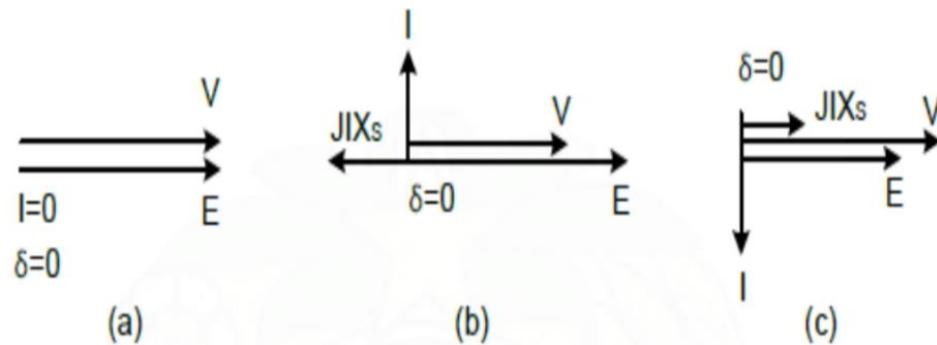


Gambar 2.18. Ilustrasi Besarnya Beban Yang Dipikul Motor Sinkron

2.10. Kondensor Sinkron

Apabila motor sinkron diberi eksitasi lebih, maka untuk mengkompensasi kelebihan fluks, dari jala-jala akan ditarik arus kapasitif. Karena itu motor sinkron (tanpa beban) yang diberi eksitasi lebih akan berfungsi sebagai kapasitor dan mempunyai kemampuan untuk memperbaiki faktor daya. Motor sinkron demikian disebut kondensor sinkron.

Motor sinkron tanpa beban dalam keadaan eksitasi tertentu dapat menimbulkan daya reaktif. Perhatikan diagram vektor motor sinkron tanpa beban pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.19. Diagram Vektor Daya Reaktif Motor Sinkron

Pada kondisi ideal dan eksitasi normal dan Tahanan Jangkar R_A diabaikan, tanpa rugi-rugi, tegangan induksi akan sama dengan tegangan terminal dan sudut daya akan sama dengan nol karena tidak ada daya output. Pada gambar (a), penguatan normal sehingga $V = E$. Motor dalam keadaan tidak memberikan ataupun menghasilkan daya reaktif. V berimpit dengan E karena dalam keadaan tanpa beban sudut daya $\delta = 0$. Pada gambar (b), eksitasi lebih sehingga $E > V$. Arus kapasitif (leading current) ditarik dari jala-jala dimana daya aktif $P = VI \cos \theta = 0$. Jadi, motor berfungsi sebagai pembangkit daya reaktif. Pada gambar (c), eksitasi kurang sehingga $E < V$. Arus magnetisasi (lagging current) ditarik dari jala-jala sehingga motor akan menyerap daya reaktif. Jadi Motor Sinkron dapat dioperasikan sebagai penghasil daya reaktif (Kondensor Sinkron) atau sebagai penyerap daya reaktif.

Dengan sifat tersebut maka motor sinkron diaplikasikan untuk memperbaiki faktor daya jala-jala.

2.11. Keuntungan, Kerugian dan Aplikasi Motor Sinkron

Pemilihan motor sinkron untuk berbagai aplikasi secara umum didasari atas kebutuhan beban dan perkiraan ekonomis tertentu. Motor sinkron biasanya dibuat berukuran daya yang besar, karena pada ukuran yang kecil motor sinkron kurang ekonomis dibandingkan motor induksi.



2.11.1. Keuntungan Motor Sinkron Antara Lain :

1. Faktor daya motor sinkron dapat diatur dengan mudah melalui pengaturan arus eksitasi.
2. Memiliki efisiensi tinggi dan kecepatannya yang konstan.
3. Untuk operasi sistem yang membutuhkan kecepatan dibawah 500 rpm dan untuk beban yang membutuhkan daya (mekanis) yang besar, motor sinkron lebih murah dari motor induksi.

2.11.2 Kerugian dan Kekurangan Motor Sinkron Antara Lain :

1. Pengaturan kecepatan putaran sulit dilakukan karena kecepatan putarannya serempak dengan putaran medan statornya, sehingga satu-satunya cara untuk merubah kecepatannya adalah dengan merubah frekuensi jala-jala.
2. Motor sinkron tidak dapat melakukan start sendiri, rotornya harus diputar terlebih dahulu dengan penggerak mula (Prime Mover) sampai putaran sinkronnya, sehingga sangat tidak efisien.
3. Membutuhkan suplai arus searah untuk medan eksitasinya.

2.11.3. Aplikasi Dan Penggunaan Motor Sinkron Antara Lain :

Motor sinkron sering digunakan pada sistem yang membutuhkan kecepatan konstan. Pemakaian yang umum adalah untuk menggerakkan kompresor yang memiliki efisiensi yang tinggi.

1. Aplikasi motor sinkron sebagai motor penggerak (Motor Drive)
 Karena mempunyai kecepatan yang konstan, tidak terpengaruh oleh perubahan beban serta efisiensinya yang baik, maka motor sinkron sangat baik digunakan untuk melayani beban yang membutuhkan kecepatan konstan seperti pompa sentrifugal, mesin giling karet dan blower mesin, baling-baling, crushers, mills, conveyor belts, grinders.
2. Aplikasi motor sinkron untuk perbaikan faktor daya
 Dalam hal ini, motor sinkron dengan eksitasi lebih dapat digunakan untuk membangkitkan daya reaktif sehingga dapat meningkatkan faktor daya sistem. Motor sinkron tanpa beban yang khusus digunakan



untuk memperbaiki faktor daya sistem dikenal dengan nama kondensor sinkron.

2.12. Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi

Nilai arus eksitasi yang diberikan sebanding dengan nilai fluksi yang dihasilkan. Karena besar tegangan induksi yang dihasilkan berbanding lurus dengan fluksi yang diinduksikan rotor maka perubahan eksitasi juga akan berbanding lurus dengan perubahan tegangan induksi.

Pada gambar 2.20.a ditunjukkan motor sinkron mula-mula beroperasi dengan faktor daya lagging, lalu kemudian arus eksitasinya diperbesar. Bertambahnya arus eksitasi juga mengakibatkan nilai E_A bertambah, tetapi tidak mempengaruhi daya nyata yang disuplai oleh motor. Untuk lebih memudahkan analisis, tahanan jangkar R_a diabaikan sementara reaktansi sinkron X_s dan tegangan terminal V_θ tetap konstan.

Dari persamaan dibawah dapat dilihat daya perphasa yaitu :

$$P = \frac{E_A \cdot V_\theta}{X_s} \sin \delta = V_t I_A \cos \theta \dots \dots \dots (2.5)$$

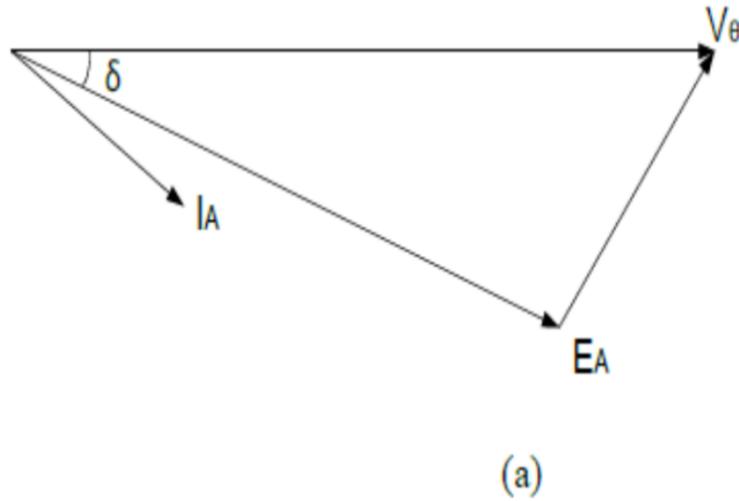
Untuk daya keluaran konstan, $E_A \sin \delta$ dan $I_A \cos \theta$ harus tetap konstan karena V_θ dan X_s juga konstan. Hal ini berarti apabila arus eksitasi divariasikan, tegangan induksi E_A juga bervariasi tetapi komponen E_A normal terhadap V_θ yaitu $E_A \sin \delta$ tetap konstan. Karena E_A bervariasi, $I_A X_s$ dan arus jangkar I_A juga bervariasi, dimana $I_A \cos \theta$ tetap konstan.

Saat tegangan induksi adalah E_{A1} , motor dalam keadaan eksitasi kurang dan arus jangkar I_{A1} lagging dari V_θ dengan sudut daya θ_1 . Ketika arus eksitasi dinaikkan, tegangan induksi meningkat menjadi E_{A2} , sudut kopel akan berkurang dari δ_1 menjadi δ_2 sehingga $E_{A1} \sin \delta_1 = E_{A2} \sin \delta_2$ dan fasor arus I_{A1} akan menjadi I_{A2} , dan motor beroperasi pada faktor daya unity seperti pada gambar 2.20.b.

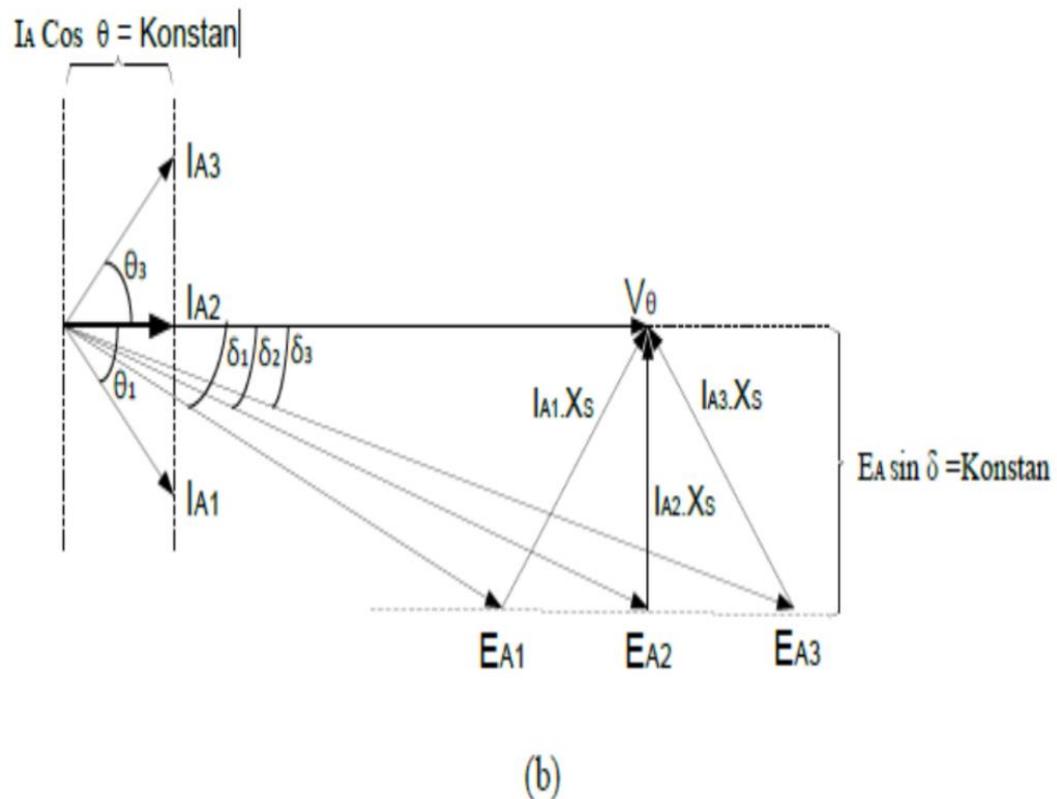
Ketika eksitasi dinaikkan lagi, tegangan induksi E_{A2} akan bertambah menjadi E_{A3} , sudut kopel beban berkurang dari δ_2 menjadi δ_3 sehingga $E_{A3} \sin \delta_3 = E_{A2} \sin \delta_2 = E_{A1} \sin \delta_1$. Fasor arus I_{A2} berubah menjadi I_{A3} yang leading terhadap



V_θ seperti gambar 2.20..b dan sekarang motor beroperasi pada faktor daya leading. Dengan catatan bahwa komponen daya aktif dari arus jangkar sama.



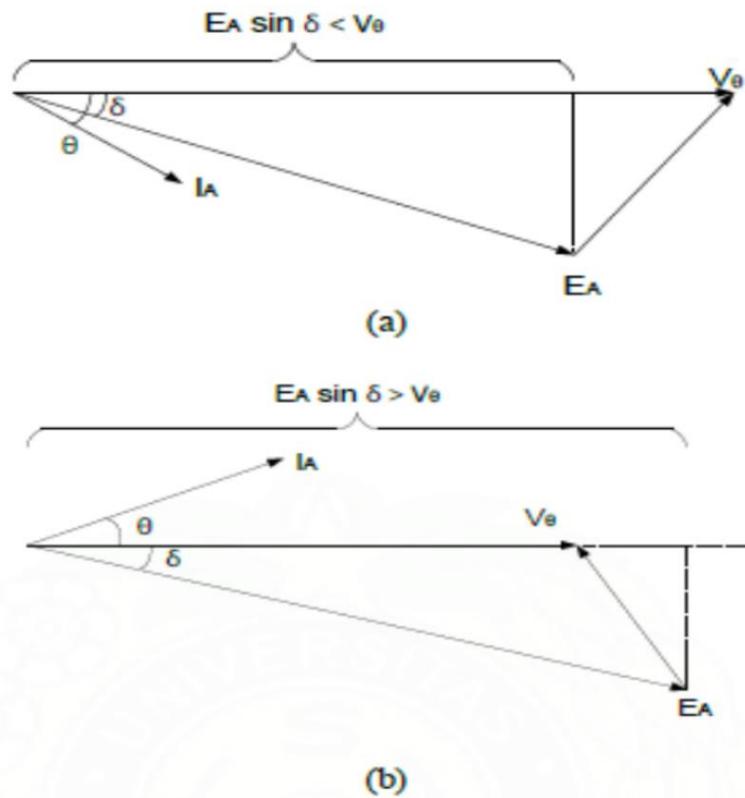
Gambar 2.20 (a) Operasi Motor Sinkron Pada $\cos \theta$ Lagging (R_a diabaikan)



Gambar 2.20 (b) Pengaruh Bertambahnya Arus Eksitasi Pada Operasi Motor Sinkron (R_a diabaikan)

Oleh karena itu, dengan mengontrol arus eksitasi pada motor sinkron, daya reaktif yang disuplai atau dikonsumsi dari sistem daya akan dapat dikontrol. Bila proyeksi dari fasor E_A ke V_θ , ($E_A \cos \delta$), lebih pendek dari V_θ itu sendiri, maka motor akan mempunyai arus lagging dan mengkonsumsi daya reaktif Q . Bila arus eksitasi lebih kecil dari situasi ini, maka motor disebut eksitasi kurang (under excited) atau dengan kata lain bila proyeksi E_A terhadap V_θ , lebih panjang dari V_θ , itu sendiri, motor sinkron memiliki arus leading dan mensuplai daya reaktif Q ke sistem daya.

Jadi bila arus medan lebih besar dari situasi ini, maka motor sinkron disebut eksitasi lebih (over excited). Diagram fasor dari konsep ini diilustrasikan oleh gambar berikut:



Gambar 2.21. (a). Diagram Fasor Motor Sinkron Eksitasi Kurang
(b). Diagram Fasor Motor Sinkron Eksitasi Lebih