



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Motor Induksi 3 Fasa

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

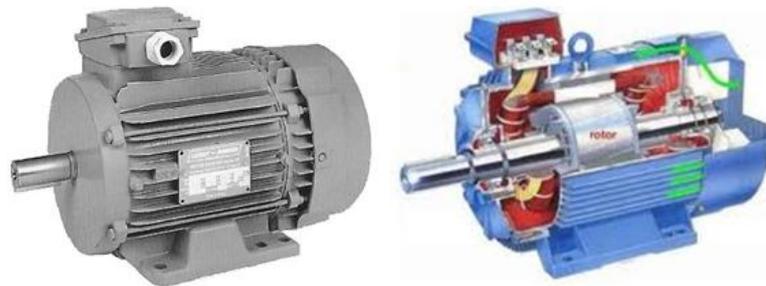
Kumparan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berotasi dengan kecepatan rotasi sinkron ($n_s = 120f / 2p$). Medan magnet putar pada stator tersebut akan memotong penghantar-penghantar pada rotor, sehingga terinduksi arus dan sesuai dengan Hukum Lenz rotor pun akan turut berputar mengikuti medan magnet putar stator. Perbedaan kecepatan rotasi relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban akan memperbesar torsi beban motor, sehingga memperbesar arus induksi pada rotor, dan slip antara medan magnet putar stator dan putaran rotor juga akan bertambah besar. Jadi, bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun.

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



2.2. Konstruksi Motor Induksi 3 Fasa

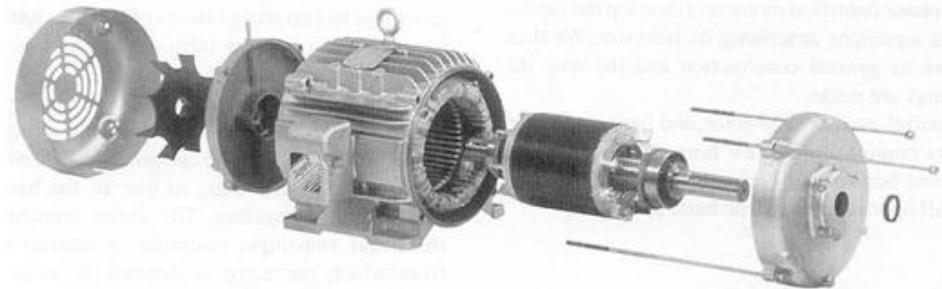
Secara umum konstruksi motor induksi tiga fasa terdiri dari stator dan rotor. Stator merupakan bagian dari mesin yang tidak berputar dan terletak pada bagian luar. Sedangkan rotor merupakan bagian dari mesin yang berputar dan letaknya pada bagian dalam. Konstruksi motor induksi dapat dilihat pada gambar berikut.



a. Bentuk fisik

b. Bentuk dalam motor induksi

Gambar 2.1. Motor induksi 3 fasa



Gambar 2.2. Konstruksi Motor Induksi 3 fasa

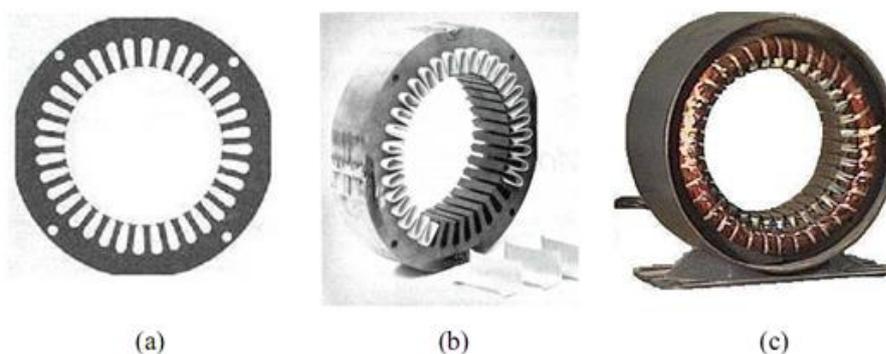
Stator adalah bagian motor yang diam yang terdiri dari badan motor, inti stator, belitan stator, bearing dan terminal box. Sedangkan bagian rotor adalah bagian motor yang berputar, terdiri atas rotor sangkar dan poros rotor. Konstruksi motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan stator, karena dalam motor induksi tidak ada komutator dan sikat arang, selain itu juga konstruksi motor induksi lebih sederhana di bandingkan dengan motor DC, dikarenakan tidak ada komutator dan sikat arang sehingga pemeliharaan motor induksi sangat



mudah yaitu di bagian mekanik nya saja, dan kontruksi nya juga begitu sederhana serta motor induksi sangat handal dan jarang sekali rusak secara elektrik. Bagian motor induksi yang perlu di pelihara rutin adalah pelumas bearing, dan pemeriksaan kekencangan baut-baut kabel pada terminal box apabila terjadi kondor atau lepas akibat pengaruh getaran secara terus menerus.

2.2.1. Stator

Stator adalah bagian dari mesin yang tidak berputar yang terletak pada bagian luar dan merupakan tempat mengalirkan arus beban. Stator terbuat dari besi bundar berlaminasi yang mempunyai alur – alur sebagai tempat meletakkan kumparan. Elemen laminasi inti dibentuk dari lembaran besi (Gambar 2.3 (a)), tiap lembaran besi tersebut memiliki beberapa alur dan beberapa lubang pengikat untuk menyatukan inti. Tiap kumparan tersebar dalam alur yang disebut belitan phasa dimana untuk motor tiga phasa, belitan tersebut terpisah secara listrik sebesar 120° . Alur pada tumpukan laminasi inti diisolasi dengan kertas (Gambar 2.3.(b)). Kemudian tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang silindris (Gambar 2.3.(c)). Berikut ini contoh lempengan laminasi inti, lempengan inti yang telah disatukan, dan belitan stator yang telah dilekatkan pada cangkang luar untuk motor induksi tiga phasa.



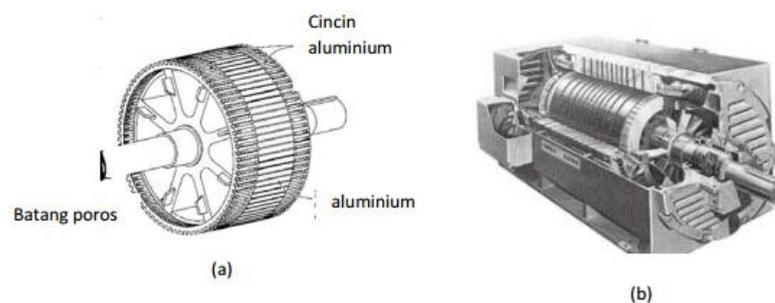
Gambar 2.3. Komponen Stator Motor Induksi Tiga Fasa

- a. Lempengan inti
- b. Tumpukan inti dengan isolasi kertas
- c. Tumpukan inti dan kumparan dalam cangkang stator.

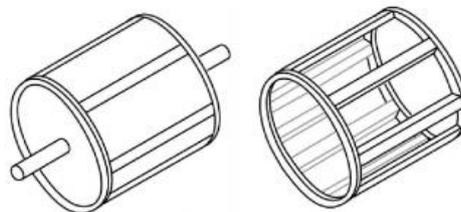


2.2.3 Rotor

Rotor adalah bagian dari mesin yang berputar dan letaknya pada bagian dalam. Pada motor induksi terdapat dua tipe rotor yang berbeda yaitu rotor sangkar tupai dan rotor belitan. Kedua tipe rotor ini menggunakan laminasi melingkar yang terikat erat pada poros. Penampang rotor sangkar tupai memiliki konstruksi yang sederhana. Batang rotor dan cincin ujung sangkar tupai yang kecil merupakan coran tembaga atau aluminium dalam satu lempeng pada inti rotor. Pada motor yang lebih besar, batang rotor ditenamkan dalam alur rotor dan kemudian di las dengan kuat ke cincin ujung. Apabila dilihat tanpa inti rotor, maka batang rotor ini kelihatan seperti kandang tupai. Oleh karena itu motor induksi dengan rotor sangkar tupai dinamakan motor induksi sangkar tupai. Pada ujung cincin penutup dekatkan kipas yang berfungsi sebagai pendingin. Rotor jenis ini tidak terisolasi, karena batangan dialiri arus yang besar pada tegangan rendah. Motor induksi dengan rotor sangkar tupai ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. (a) tipikal rotor sangkar, (b) motor induksi rotor sangkar.



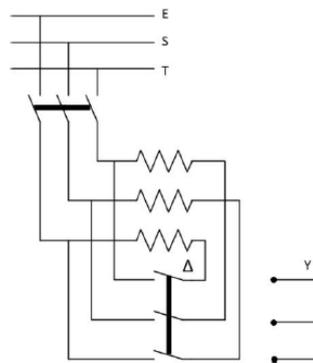
Gambar 2.5 rotor sangkar tupai motor induksi

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri dari beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa sehingga menyerupai



sangkar tupai yang terlihat pada gambar dibawah ini, konstruksi rotor seperti ini sangat sederhana bila dibandingkan dengan rotor jenis mesin listrik lainnya. Dengan demikian harganya pun murah karena konstruksinya yang demikian, padanya tidak mungkin diberikan pengaturan tahanan luar seperti pada motor induksi dengan rotor belitan.

Untuk membatasi arus mula yang besar, tegangan sumber harus dikurangi dan biasanya digunakan oto transformator atau saklar Y – D (seperti pada gambar dibawah ini). Tetapi berkurangnya arus akan berakibat berkurangnya kopel mula, untuk mengatasi hal ini dapat digunakan rotor jenis sangkar ganda.



2.6. Rangkaian Rotor Sangkar

2.3. Medan Putar

Perputaran rotor pada motor arus bolak – balik terjadi akibat adanya medan putar (fluks yang berputar) yang memotong rotor. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dengan suplai fasa banyak, umumnya tiga fasa. Pada saat terminal tiga fasa motor induksi dihubungkan dengan suplai tiga fasa maka arus bolak – balik tiga fasa i_a , i_b , i_c yang terpisah sebesar 120 derajat satu sama lain akan mengalir pada kumparan stator. Arus – arus ini akan menghasilkan gaya gerak magnet yang kemudian menghasilkan fluks yang berputar atau disebut juga medan putar.

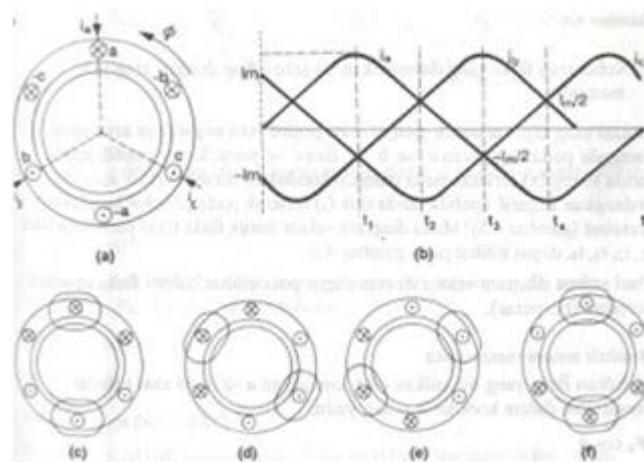
Kecepatan putaran medan putar stator dinamakan kecepatan sinkron, medan putar stator kemudian memotong konduktor pada batang rotor sehingga pada



konduktor rotor timbul tegangan induksi yang mengakibatkan rotor ikut berputar setelah melalui beberapa proses. Arah putaran rotor motor induksi searah dengan arah putaran medan putar, namun kecepatan putaran rotor lebih rendah dari kecepatan sinkronnya. Perbedaan kecepatan putaran ini dinamakan slip motor induksi.

Perputaran motor pada mesin arus bolak balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan bintang atau delta.

Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan hukum lenz. Penghantar (kumparan) rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator. Pada rangka stator terdapat kumparan stator yang ditempatkan pada slot-slotnya yang dililitkan pada sejumlah kutub tertentu. Jumlah kutub ini menentukan kecepatan berputarnya medan stator yang terjadi yang diinduksikan ke rotornya. Makin besar jumlah kutub akan mengakibatkan makin kecilnya kecepatan putar medan stator dan sebaliknya. Kecepatan berputarnya medan putar ini disebut kecepatan sinkron.



Gambar 2.7. Medan Putar Pada Motor Induksi Tiga Fasa.



2.4.Slip

Kecepatan putaran rotor motor induksi harus lebih lambat dari kecepatan sinkronnya supaya konduktor pada rotor selalu dipotong oleh medan putar, sehingga pada rotor timbul tegangan induksi yang akan menghasilkan arus induksi pada rotor. Arus induksi ini kemudian berinteraksi dengan fluks yang dihasilkan stator sehingga menghasilkan torsi. Selisih antara kecepatan putaran rotor dengan kecepatan sinkronnya disebut slip (s). Pada umumnya slip dinyatakan dalam persen dari kecepatan sinkron, Dimana :

$$n_s = \frac{120 f}{p} \quad (2.1)$$

Atau

$$f = \frac{p n_s}{120} \quad (2.2)$$

Pada rotor berlaku hubungan :

$$f = \frac{p (n_s - n_r)}{120} \quad (2.3)$$

N_s : kecepatan putaran sinkron

F : frekuensi tegangan stator

p : jumlah kutub motor

2.5.Prinsip Motor Induksi

Pada motor induksi tidak terdapat hubungan listrik antar stator dengan rotor, karena arus pada rotor merupakan arus induksi. Jika 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.

Ketika medan magnetic memotong konduktor rotor, di dalam konduktor tersebut akan diinduksikan ggl yang sama seperti ggl yang diinduksikan dalam lilitan sekunder transformator oleh fluksi primer. Rangkaian rotor merupakan rangkaian tertutup, baik melalui cincin ujung maupun tahanan luar. Ggl induksi



menyebabkan arus mengalir di dalam konduktor rotor. Sehingga dengan adanya aliran arus pada konduktor rotor. Sehingga dengan adanya aliran arus pada konduktor rotor di dalam medan magnet yang dihasilkan stator, maka akan dibangkitkan gaya (F) yang bekerja pada motor.

Ada beberapa prinsip kerja motor induksi :

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator, akan timbul medan magnet putar dengan kecepatan.

$$N_s = \frac{120 \times f}{p} \quad (2.4)$$

2. Medan magnet putar stator tersebut akan memotong batang penghantar pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul induksi (ggl) sebesar :

$$E_{2s} = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \Phi_m \quad (\text{untuk satu fasa}) \quad (2.5)$$

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 rotor.
6. Bila torsi mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul torsi beban, rotor akan berputar searah dengan medan magnet putar stator.
7. Tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang penghantar (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan rotasi medan magnet putar stator (n_s) dengan kecepatan rotasi rotor (n_r).

8. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut slip (s) dinyatakan dengan :

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (2.6)$$

9. Bila $n_r = n_s$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan torsi. Torsi motor akan ditimbulkan apabila n_r lebih kecil dari n_s .
10. Dilihat dari cara kerjanya maka motor induksi disebut juga motor tak serempak atau motor asinkron.



Prinsip kerja motor induksi adalah berdasarkan induksi elektromagnet, dimana tegangan sumber diberikan pada kumparan stator, sehingga inti besi di stator menjadi magnet, kemudian menginduksikan magnet tersebut ke rotor. Dengan demikian, di kumparan rotor akan terinduksi tegangan karena kumparan rotor merupakan loop tertutup, maka akan mengalir arus di kumparan rotor tersebut yang berinteraksi dengan medan magnet di stator, sehingga timbullah gaya putar pada rotor yang mendorong rotor untuk berputar dengan kecepatan sinkron dan akan mengikuti persamaan Dimana : N_s = kecepatan putar dari medan putar stator dalam rpm F = Frekuensi arus dan tegangan stator P = Banyaknya kutub Garis-garis gaya fluks dari stator tersebut yang berputar akan memotong penghantar-panghantar rotor sehingga pada penghantar rotor tersebut timbul Gaya Gerak Listrik (GGL) atau tegangan induksi. Berhubung kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup maka pada kumparan tersebut mengalir arus. Arus yang mengalir pada penghantar rotor yang berada dalam medan magnet berputar dari stator, maka pada penghantar rotor tersebut timbul gaya-gaya yang berpasangan dan berlawanan arah, gaya tersebut menimbulkan torsi yang cenderung memutar rotornya, rotor akan berputar dengan kecepatan (N_r) mengikuti putaran medan putar stator (N_s).

2.6.Torsi Motor Induksi

Dalam gerak rotasi, penyebab berputarnya benda merupakan momen gaya atau torsi. Momen gaya atau torsi sama dengan gaya pada gerak translasi. Momen gaya (torsi) adalah sebuah besaran yang menyatakan besarnya gaya yang bekerja pada sebuah benda sehingga mengakibatkan benda tersebut berotasi. Besarnya momen gaya (torsi) tergantung pada gaya yang dikeluarkan serta jarak antara sumbu putaran dan letak gaya.

Beban torque konstan adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya namun torque nya tidak bervariasi. Contoh beban dengan torque konstan adalah conveyors, rotary kilns, dan pompa displacement konstan.



Beban dengan variabel torque adalah beban dengan torque yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan variabel torque adalah pompa sentrifugal dan fan (torque bervariasi sebagai kwadrat kecepatan).

Beban dengan energi konstan adalah beban dengan permintaan torque yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

Torsi Motor Induksi adalah

$$T = \frac{P}{2\pi.n} \quad (2.7)$$

Dimana,

P : Daya

N : putaran motor (rpm)

2.7.Efisiensi

Efisiensi motor dapat didefinisikan sebagai “perbandingan keluaran daya motor yang digunakan terhadap keluaran daya totalnya”. Factor-faktor yang mempengaruhi efisiensi adalah :

- Usia, motor baru lebih efisien.
- Kapasitas, sebagaimana pada hamper kebanyakan peralatan, efisiensi motor meningkat dengan laju kapasitasnya.
- Kecepatan, motor dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya lebih efisien.
- Jenis, sebagai contoh motor sangkar tupai biasanya lebih efisien.
- Suhu, motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total lebih efisien.
- Penggulungan ulang motor dapat mengakibatkan penurunan efisiensi
- Beban, seperti yang dijelaskan dibawah ini.

Terdapat hubungan yang jelas antara efisiensi motor dan beban. Pabrik motor membuat rancangan motor untuk beroperasi pada beban 50-100% dan akan paling efisien pada beban 75%. Tetapi, jika beban turun dibawah 50% efisiensi turun dengan cepat. Mengoperasikan motor dibawah laju beban 50% memiliki dampak pada factor dayanya. Efisiensi motor yang tinggi dan factor daya yang mendekati



1 sangat diinginkan untuk operasi yang efisien dan untuk menjaga biaya rendah untuk seluruh pabrik, tidak hanya untuk motor itu sendiri.

Perhitungan efisiensi motor induksi melibatkan daya masukan, daya keluaran dan rugi-rugi yang terjadi pada stator dan rotor. Rugi-rugi stator terdiri atas rugi-rugi hysteresis, rugi-rugi eddy current, rugi-rugi inti dan rugi-rugi tembaga pada kumparan stator.

$$P_{in} = V \times I \times \sqrt{3} \times \cos\phi \quad (2.8)$$

$$\eta = P_{out}/P_{in} \quad (2.9)$$

Karena efisiensi biasanya dinyatakan dalam persen, maka rumusan umum yang digunakan ialah :

$$\eta = P_{out}/P_{in} \times 100\%$$

$$Efisiensi = \frac{[Daya\ input\ (P_i) - Rugi\ total]}{Daya\ input\ (P_i)} \times 100\%$$

atau

$$Efisiensi = \left[1 - \frac{Rugi\ total}{Daya\ input\ (P_i)} \right] \times 100\%$$

atau

$$Efisiensi = \left[1 - \frac{Rugi\ total}{P_o + Rugi\ total} \right] \times 100\%$$

atau

$$Efisiensi = \frac{Daya\ output\ (P_o)}{P_o + Rugi\ total} \times 100\% \quad (2.10)$$

Dimana :

- η = Efisiensi (%)
- P_{out} = Daya keluaran (Watt)
- P_{in} = Daya masukan (Watt)
- V = Tegangan jala-jala (volt)
- I = Arus masukan motor (Ampere)
- $\cos \phi$ = Power faktor motor



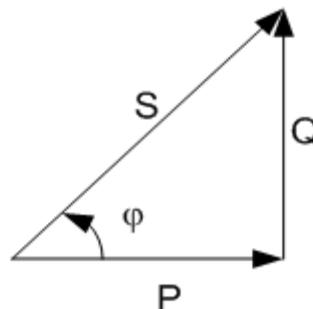
2.8.Faktor Daya

Sebagaimana sudah dikenal sebelumnya, karakteristik motor induksi adalah factor dayanya yang kurang dari satu, menyebabkan efisiensi keseluruhan yang lebih rendah (dan biaya operasi keseluruhan yang lebih tinggi) untuk seluruh system listrik di pabrik.

Kapasitor yang disambungkan secara parallel (shunt) dengan motor kadangkala digunakan untuk memperbaiki factor daya. Kapasitor tidak akan memperbaiki factor daya motor itu sendiri akan tetapi terminal starternya dimana tenaga dibangkitkan atau didistribusikan. Manfaat dari koreksi factor daya meliputi penurunan kebutuhan KVA (jadi mengurai biaya kebutuhan utilitas), penurunan kehilangan I^2R pada kabel dibagian hulu kapasitor (jadi mengurai biaya energy), berkurangnya penurunan tegangan pada kabel.

Ada tiga jenis daya yang dikenal, khususnya untuk beban yang memiliki impedansi (Z), yaitu :

1. Daya semu (S), VA (Volt Ampere)
2. Daya Aktif (P), watt
3. Daya reaktif (Q), VAR (volt ampere reaktif)



Gambar 2.8 segitiga daya

Maka dapat dilihat pada persamaan-persamaan dibawah ini :

$$\cos\phi = \frac{p}{s} \quad (2.11)$$



Besarnya daya semu (S) motor induksi adalah :

$$S = V.I \text{ (volt – ampere)} \quad (2.12)$$

Besarnya daya P motor induksi satu fasa adalah :

$$P = V.I.\cos\varphi \text{ (watt)} \quad (2.13)$$

Besarnya daya P motor induksi tiga fasa adalah :

$$P = V.I.\sqrt{3}.\cos\varphi \text{ (watt)} \quad (2.14)$$

Besarnya daya reaktif (Q) motor induksi satu fasa adalah :

$$Q = V.I.\sin\varphi \text{ (volt ampere reaktif)} \quad (2.15)$$

Dimana,

- P : Daya motor (watt)
- V : Tegangan kerja motor (volt)
- I : Arus motor (ampere)
- $\cos\varphi$: factor daya

Untuk memperkecil sudut φ , maka diperlukan penambahan kapasitor. Besarnya sudut $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$, maka besarnya daya reaktif $Q = Q_1 + Q_2$, sehingga $Q_2 = Q - Q_1$, yang tak lain adalah daya yang tersimpan dalam kapasitor.

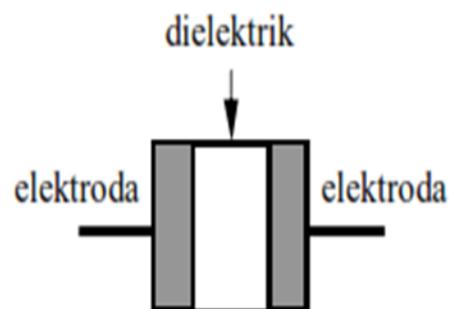
Besarnya sudut φ dipengaruhi oleh besarnya impedansi beban, jika beban bersifat induktif (+) maka impedansi mengarah ke sumbu positif dan jika beban bersifat kapasitif (-) mengarah ke sumbu negatif.

2.9.Kapasitor

Kapasitor adalah komponen yang dapat menyimpan muatan listrik. Kapasitansi di definisikan sebagai kemampuan dari suatu kapasitor untuk dapat menampung muatan elektron. Sebuah kapasitor akan memiliki kapasitansi sebesar 1 farad jika dengan tegangan 1 volt dapat memuat muatan elektron sebanyak 1 coulomb atau setara dengan $6,25 \times 10^{18}$ elektron. Struktur sebuah kapasitor yang terbuat dari 2 buah pelat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik ditunjukkan pada Gambar 2.9. Bahan-bahan dielektrik yang umum



dikenal misalnya keramik, gelas dan lain-lain. Jika kedua ujung pelat metal diberi tegangan listrik, maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki elektroda metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan negatif terkumpul pada ujung metal yang lain muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutub negatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bisa menuju ke ujung kutub positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non- konduktif. Muatan elektrik ini tersimpan selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya.



Gambar 2.9. Prinsip Dasar Kapasitor

Kapasitor yang akan digunakan untuk memperbesar faktor daya dipasang paralel dengan rangkaian beban. Bila rangkaian itu diberi tegangan maka elektron akan mengalir masuk ke kapasitor. Pada saat kapasitor penuh dengan muatan elektron maka tegangan akan berubah. Kemudian elektron akan keluar dari kapasitor dan mengalir ke dalam rangkaian yang memerlukannya, dengan demikian pada saat itu kapasitor membangkitkan daya reaktif. Bila tegangan yang berubah itu kembali normal, maka kapasitor akan menyimpan kembali elektron. Pada saat kapasitor mengeluarkan elektron (I_c) berarti kapasitor menyuplai daya reaktif ke beban. Kerena beban bersifat induktif (+) sedangkan daya reaktif bersifat kapasitif (-) akibatnya daya reaktif akan menjadi kecil.

Secara definisi sebuah kapasitor dikatakan memiliki kapasitansi 1 farad jika suatu beda potensial sebesar 1 volt dapat menjaga atau menahan muatan sebesar 1 Coulomb diantara kedua plat kapasitor tersebut, atau:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.16)$$



Kapasitor Elektrolit adalah kapasitor yang bahan Isolatornya terbuat dari Elektrolit (Electrolyte) dan berbentuk Tabung / Silinder. Kapasitor Elektrolit atau disingkat dengan ELCO ini sering dipakai pada Rangkaian Elektronika yang memerlukan Kapasitansi (Capacitance) yang tinggi. Kapasitor Elektrolit yang memiliki Polaritas arah Positif (+) dan Negatif (-) ini menggunakan bahan Aluminium sebagai pembungkus dan sekaligus sebagai terminal Negatif-nya. Pada umumnya nilai Kapasitor Elektrolit berkisar dari $0.47\mu\text{F}$ hingga ribuan microfarad (μF). Biasanya di badan Kapasitor Elektrolit (ELCO) akan tertera Nilai Kapasitansi, Tegangan (Voltage), dan Terminal Negatif-nya. Hal yang perlu diperhatikan, Kapasitor Elektrolit dapat meledak jika polaritas (arah) pemasangannya terbalik dan melampaui batas kemampuan tegangannya.



Gambar 2.10. Jenis kapasitor elektrolit yang dipakai

- Bisa digunakan untuk rangkaian paralel, seri, bintang dan rangkaian delta.
- Kapasitas : $2\ \mu\text{F}$, $4\ \mu\text{F}$, $6\ \mu\text{F}$, $8\ \mu\text{F}$, $12\ \mu\text{F}$, $30\ \mu\text{F}$
- Tegangan : 450 V
- Input/output : soket keselamatan 4 mm.
- Ukuran : 297 x 228 x 125mm (HxWxD).
- Berat : 3 kg



a. Kapasitansi kapasitor

Kapasitansi didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu kapasitor untuk dapat menampung muatan elektron. Coulombs pada abad 18 menghitung bahwa 1 coulomb = $6,25 \times 10^{18}$ elektron. Kemudian Michael Faraday membuat postulat bahwa sebuah kapasitor akan memiliki kapasitansi sebesar 1 farad jika dengan tegangan 1 volt dapat membuat muatan elektron sebanyak 1 coulomb. Dengan rumus dapat ditulis :

Diketahui:

$$\omega = 2 \pi f$$

$$X_c = V_c / I_c$$

Maka :

$$C = 1 / \omega \cdot X_c$$

$$C = 1 / 2 \pi f \cdot X_c$$

$$= 1 / 2 \pi f \cdot \frac{V_c}{I_c}$$

$$= I_c / 2 \pi f \cdot V_c$$

Dimana :

$$\pi = \text{konstanta sebesar } 3,14$$

$$f = \text{Frekuensi suplai}$$

$$X_c = \text{Reaktansi kapasitif}$$

b. Faktor yang Mempengaruhi Nilai Kapasitansi

Kapasitansi dari sebuah kapasitor dipengaruhi oleh tiga hal, yaitu :

1. Luas area plat (A); makin besar nilai A, maka makin besar pula kapasitansi.
2. Jarak antara plat (d); makin kecil jarak d, maka makin besar kapasitansi.
3. Tetapan dielektrik dari bahan atar plat (ϵ); makin besar nilai ϵ , maka makin besar pula nilai kapasitansi.

Ketiga faktor diatas jika dinyatakan dalam persamaan adalah sebagai berikut :

$$C = \epsilon \cdot A / d$$

Dimana :



C	=	Nilai Kapasitansi (F)
A	=	Luas area plat metal (m ²)
d	=	Jarak antara plat metal (m)

c. Reaktansi kapasitif

Reaktansi kapasitif merupakan komponen yang menahan arus listrik bolak balik dalam rangkaian kapasitif. Reaktansi kapasitif ini mengakibatkan arus rangkaian yang mendahului tegangannya. Reaktansi kapasitif ini dirumuskan oleh persamaan :

$$X_c = 1 / 2 \pi f \cdot C$$

Dimana :

$$\pi = \text{konstanta sebesar } 3,14$$

$$f = \text{Frekuensi suplai}$$

$$X_c = \text{Reaktansi kapasitif}$$

Hal ini juga dirumuskan oleh persamaan :

$$X_c = V_c / I_c$$

2.10. Etap

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas kearnanan fasilas nuklir di Arnerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara *real time*, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik, (*Awaluddin, 2007*). ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk



berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, *starting motor*, *transient stability*, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.

Etap Power Station memungkinkan anda untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar single line diagram/diagram satu garis . Program ini dirancang sesuai dengan tiga konsep utama:

1. *Virtual Reality Operasional*

Sistem operational yang ada pada program sangat mirip dengan sistem operasi pada kondisi real nya. Misalnya, ketika Anda membuka atau menutup sebuah *circuit breaker*, menempatkan suatu elemen pada sistem, mengubah status operasi suatu motor, dan untuk kondisi *de-energized* pada suatu elemen dan sub-elemen sistem ditunjukkan pada gambar *single line diagram* dengan warna abu-abu.

2. *Total Integration Data*

Etap Power Station menggabungkan informasi sistem elektrikal, sistem logika, sistem mekanik, dan data fisik dari suatu elemen yang dimasukkan dalam sistem database yang sama. Misalnya, untuk elemen sebuah kabel, tidak hanya berisikan data kelistrikan dan tentang dimensi fisiknya, tapi juga memberikan informasi melalui *raceways* yang di lewati oleh kabel tersebut. Dengan demikian, data untuk satu kabel dapat digunakan untuk dalam menganalisa aliran beban (*load flow analysis*) dan analisa hubung singkat (*short-circuit analysis*) -yang membutuhkan parameter listrik dan parameter koneksi- serta perhitungan *ampacity derating* suatu kabel -yang memerlukan data fisik routing-.

3. *Simplicity in Data Entry*

Etap Power Station memiliki data yang detail untuk setiap elemen yang digunakan. Dengan menggunakan editor data, dapat mempercepat proses entri



data suatu elemen. Data-data yang ada pada program ini telah di masukkan sesuai dengan data-data yang ada di lapangan untuk berbagai jenis analisa atau desain.

ETAP PowerStation dapat melakukan penggambaran *single line diagram* secara grafis dan mengadakan beberapa analisa/studi yakni *Load Flow* (aliran daya), *Short Circuit* (hubung singkat), *motor starting*, *harmonitation*, *transient stability*, *protective device coordination*, dan *cable derating*.

ETAP Power Station juga menyediakan *fasilitas Library* yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. Library ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan *ETAP PowerStation* adalah :

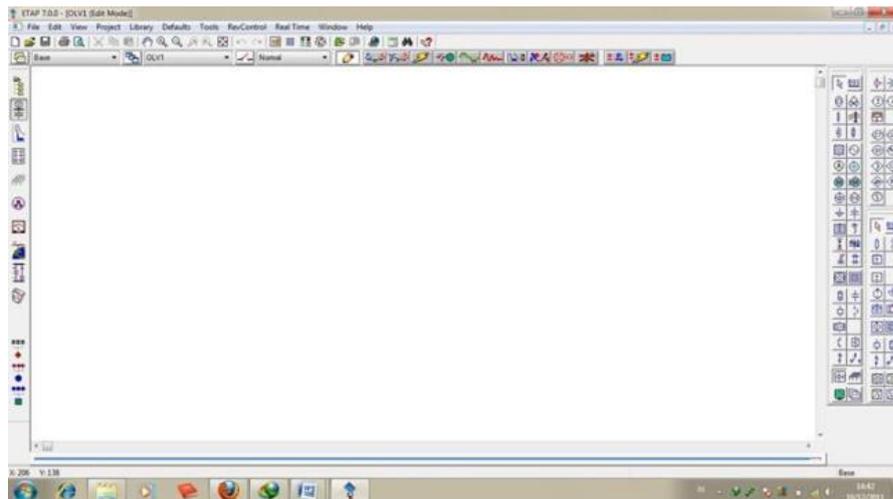
- ***One Line Diagram***, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- ***Library***, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektrik maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
- ***Standar yang dipakai***, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode – metode yang dipakai.
- ***Study Case***, berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.



Standar IEC



Standar ANSI



Gambar 2.11. Layar utama program aplikasi ETAP