



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gangguan

Gangguan adalah suatu ketidaknormalan (*interferes*) dalam sistem tenaga listrik yang mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem tiga fasa. Gangguan dapat juga didefinisikan sebagai setiap kesalahan dalam suatu rangkaian yang menyebabkan terganggunya aliran arus yang normal (Suhadi, 2008).

Gangguan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok, yaitu :

- a. Berdasarkan kesimetrisannya
 1. Gangguan asimetris, merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang, gangguan ini terdiri dari:
 - Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah, yakni gangguan yang disebabkan karena salah satu fasa terhubung singkat ke tanah atau *ground*.
 - Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa, yakni gangguan yang disebabkan karena fasa dan fasa antar kedua fasa terhubung singkat dan tidak terhubung ke tanah.
 - Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah, yakni gangguan yang terjadi ketika kedua fasa terhubung singkat ke tanah.
 2. Gangguan simetris, merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini terdiri dari:
 - Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa, yakni gangguan yang terjadi ketika ketiga fasa saling terhubung singkat.



- Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah, yakni gangguan yang terjadi ketika ketiga fasa terhubung singkat ke tanah.

Semua gangguan hubung singkat diatas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus dasar yaitu :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

I = Arus (A)

V = Tegangan sumber (V)

Z = Impedansi jaringan, nilai ekivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan (Ohm)

Yang membedakan antara gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri, dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan. Impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut ini :

Z untuk gangguan tiga fasa, $Z = Z_1$

Z untuk gangguan dua fasa, $Z = Z_1 + Z_2$

Z untuk gangguan satu fasa, $Z = Z_1 + Z_2 + Z_0 \dots\dots\dots (2.2)$

Dimana :

Z_1 = Impedansi urutan positif (Ohm)

Z_2 = Impedansi urutan negatif (Ohm)

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ohm)



- b. Berdasarkan lama terjadi gangguannya
1. Gangguan Transient (*temporer*), merupakan gangguan yang hilang dengan sendirinya apabila pemutus tenaga terbuka dari saluran transmisi untuk waktu yang singkat dan setelah itu dihubungkan kembali.
 2. Gangguan Permanen, merupakan gangguan yang tidak hilang atau tetap ada apabila pemutus tenaga terbuka pada saluran transmisi untuk waktu yang singkat dan setelah itu dihubungkan kembali.

Selain itu, gangguan juga terbagi menjadi dua jenis kategori yaitu :

- a. Hubung singkat
- b. Putusnya kawat

Dalam kategori pertama termasuk hubung singkat satu atau dua fasa dengan tanah, hubung singkat antara dua fasa, dan hubung singkat tiga fasa satu sama lain, atau hubung singkat tiga fasa dengan tanah. Dalam kategori kedua termasuk putusnya satu atau dua kawat. Terkadang, hubung singkat dan putusnya kawat dapat terjadi bersamaan. Kadang-kala terjadi juga hubung singkat di beberapa tempat sekaligus (A.Arismunandar,2004 : 69).

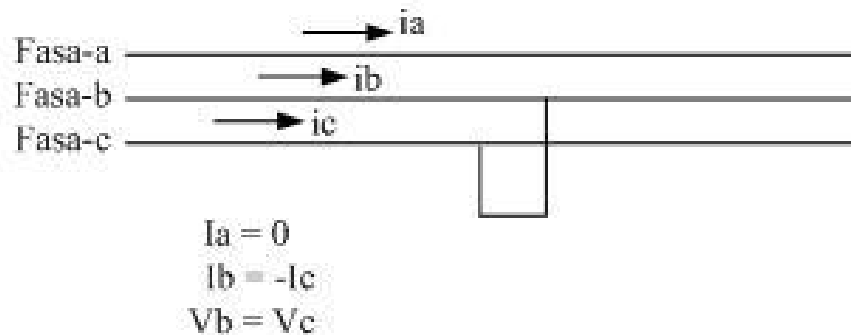
2.2 Studi Hubung Singkat

Studi hubung singkat dilakukan untuk menentukan besarnya arus yang mengalir melalui sistem tenaga listrik pada berbagai jarak setelah gangguan berubah menurut waktu sampai mencapai kondisi tetap. (Yelfianhar, 2009 : 70). Selama kondisi gangguan, sistem proteksi diperlukan untuk mendeteksi, menghilangkan dan mengisolasi gangguan tersebut. Hal ini dapat dilakukan pada bermacam-macam gangguan (tiga fasa simetris, fasa ke fasa, dua fasa ke tanah, satu fasa ke tanah, dan tiga fasa ke tanah). Arus hubung singkat yang begitu besar sangat membahayakan peralatan, sehingga untuk mengamankan peralatan dari kerusakan akibat hubung singkat maka hubungan kelistrikan pada bagian yang terganggu perlu diputuskan dengan peralatan pemutus tenaga atau *Circuit*

Breaker(CB). Selain itu, perhitungan arus hubung singkat juga sangat penting dalam menentukan kemampuan pemutus tenaga dan untuk koordinasi pemasangan rele proteksi (Yelfianhar, 2009 : 70).

2.2.1 Hubung singkat dua fasa

Hubung singkat dua fasa atau yang biasa disebut hubung singkat fasa ke fasa adalah kondisi dimana antara fasa ke fasa saling terhubung singkat. Pada gangguan hubung singkat fasa ke fasa, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol dikarenakan tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah. Gangguan hubung singkat dua fasa ini dapat ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.1 Gangguan hubung singkat dua fasa atau fasa ke fasa

Rumus yang dapat digunakan dalam menghitung arus hubung singkat dua fasa yaitu :

$$I_{2 \text{ fasa}} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

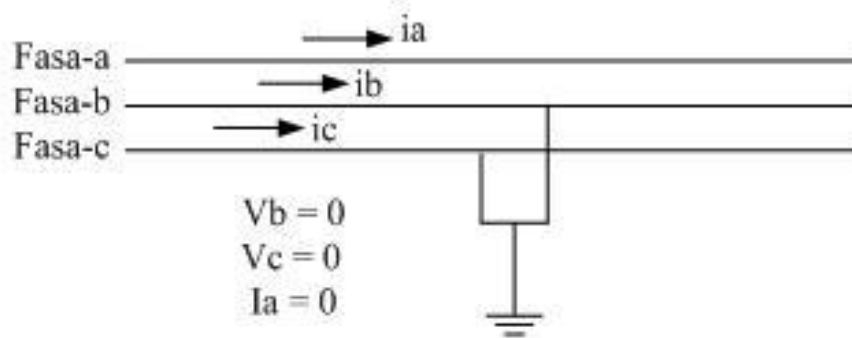
V_f : Tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan (V)

Z_1 : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan ()

Z_2 : Impedansi urutan positif negatif dilihat dari titik gangguan ()

2.2.2 Hubung singkat dua fasa ke tanah

Gangguan dua fasa ke tanah terjadi ketika dua buah fasa dari sistem tenaga listrik terhubung singkat ke tanah. Gangguan dua fasa ke tanah dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.2 Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah

Untuk mencari nilai dari arus hubung singkat dua fasa ke tanah dapat menggunakan rumus dibawah ini :

$$I_{2\text{fasa ke tanah}} = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_2 \cdot Z_0}{Z_2 + Z_0}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

V_f : Tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan (V)

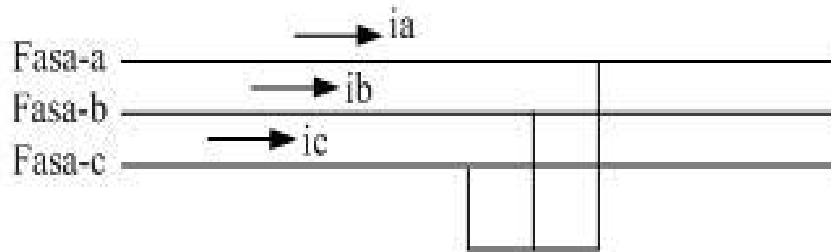
Z_0 : Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan ()

Z_1 : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan ()

2.2.3 Hubung singkat tiga fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, dimana arus maupun tegangan stiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Sehingga pada sistem seperti ini dapat dianalisa hanya dengan

menggunakan urutan positif saja. Gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dilihat seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.3 Gangguan hubung singkat tiga fasa

Untuk mencari nilai arus hubung singkat pada gangguan hubung singkat tiga fasa ini dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$I_{3fasa} = \frac{V_f}{Z_1} \dots\dots\dots (2.5)$$

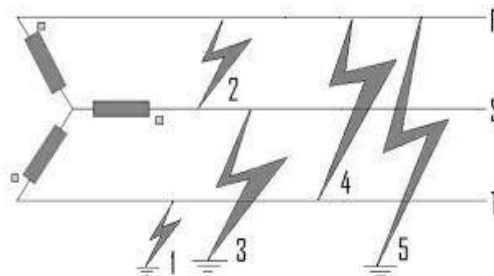
Dimana :

V_f : Tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan (V)

Z_1 : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan ()

2.2.4 Hubung singkat tiga fasa ke tanah

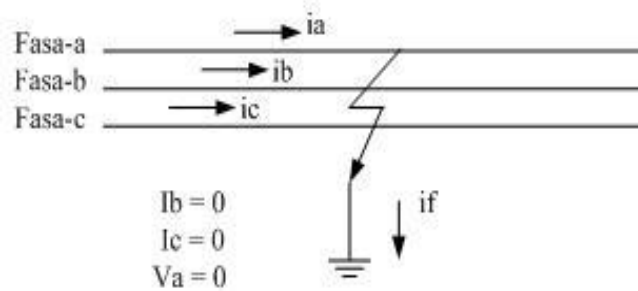
Gangguan tiga fasa ke tanah terjadi ketika ketiga fasa dari sistem tenaga listrik terhubung singkat ke tanah. Gangguan tiga fasa ke tanah dapat dilihat pada gambar dibawah ini (kondisi nomor 5) :



Gambar 2.4 Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah

2.2.5 Hubung singkat satu fasa ke tanah

Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan asimetris sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisa tegangan dan arus pada saat terjadi gangguan. Gangguan yang terjadi dapat dianalisa dengan menghubungkan-singkatkan semua sumber tegangan yang ada pada sistem dan mengganti titik (*node*) gangguan dengan sebuah sumber tegangan yang besarnya sama dengan tegangan sesaat sebelum terjadinya gangguan di titik gangguan tersebut. Dengan menggunakan metode ini sistem tiga fasa tidak seimbang dapat direpresentasikan dengan menggunakan teori komponen simetris yaitu berdasarkan komponen urutan positif, komponen urutan negatif, dan komponen urutan nol. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat ditunjukkan seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.5 Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah juga dengan rumus (Kadarisman : 11-25) :

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

Sehingga arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{I \text{ fasa ke tanah}} = \frac{3 \times V_{ph}}{Z1_{eq} + Z2_{eq} + Z0_{eq}} \dots\dots\dots (2.7)$$



Karena $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, maka :

$$I_{1 \text{ fasa ke tanah}} = \frac{3 \times V_{ph}}{2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

$I_{1 \text{ fasa}}$ = Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (A)

V_{ph} = tegangan fasa-netral sistem (V)

Z_{1eq} = Impedansi urutan positif (Ohm)

Z_{0eq} = Impedansi urutan nol (Ohm)

2.2.5.1 Impedansi penghantar

a) Impedansi urutan positif dan urutan negatif

Rumusan yang dipakai dalam perhitungan impedansi urutan positif dan urutan negatif adalah sebagai berikut :

$$Z_1 = Z_2 = \% \text{panjang} \times L \times Z_1 \text{ atau } Z_2 \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

Z_1 = Impedansi urutan positif ()

Z_2 = Impedansi urutan negatif ()

L = Panjang penghantar (km)



b) Impedansi urutan nol

Rumusan yang dipakai dalam perhitungan impedansi urutan nol adalah sebagai berikut :

$$Z_0 = \%panjang \times L \times Z_0 \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

Z_0 = Impedansi urutan nol ()

L = Panjang penghantar (km)

2.2.5.2 Impedansi transformator

Pada perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahanannya diabaikan karena harganya kecil.

Untuk menghitung nilai impedansi transformator adalah :

$$X_T = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

X_T = Impedansi trafo ()

kV = Tegangan sisi sekunder trafo (kV)

MVA = Kapasitas daya trafo (MVA)



a) Impedansi urutan positif dan urutan negatif

Rumusan yang dipakai dalam perhitungan impedansi urutan positif dan urutan negatif pada trafo adalah sebagai berikut :

$$X_{T1} = \%reaktansi \text{ yang diketahui } \times Z_T() \dots\dots\dots(2.12)$$

b) Impedansi urutan nol

Sebelum menghitung reaktansi urutan nol (X_{T0}) terlebih dahulu harus diketahui kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo seperti dibawah ini :

- Untuk trafo dengan hubungan belitan Y dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka :

$$X_{T0} = X_{T1} \dots\dots\dots (2.13)$$

- Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan Yd dimana kapasitas belitan delta biasanya adalah 1/3 dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka:

$$X_{T0} = 3 \times X_{T1} \dots\dots\dots (2.14)$$

- Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka :

$$X_{T0} = \text{antara } 9 \text{ s/d } 14 \times X_{T1} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

X_{T0} = Impedansi trafo urutan nol ()

X_{T1} = Impedansi trafo urutan positif dan negatif ()



2.2.5.3 Reaktansi sumber

Bila sistem tenaga listrik disuplai dari pusat pembangkit maka impedansi sumber dihitung dari data pusat pembangkit tersebut. Biasanya data dari generator dinyatakan dalam persen atau per unit daya dan tegangan yang telah ditetapkan. Besarnya reaktansi sumber dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA_{\text{hubungsingkat}}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana:

X_s : Reaktansi sumber ()

kV : Tegangan sumber (kV)

Pada gardu induk yang tidak memiliki generator sumber energi listrik berasal dari transformator sehingga pada transformator tersebut dianggap sebagai generator dengan menggunakan data MVA hubung singkat:

$$MVA_{\text{hubungsingkat}} = 3 \times kV_{\text{nominal}} \times I_{sc} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

$MVA_{\text{hubungsingkat}}$: Daya hubung singkat sumber (MVA)

kV_{nominal} : Tegangan nominal sumber (kV)

I_{sc} : Arus hubung singkat pada sumber (A)

Sedangkan untuk mencari I_{sc} dapati menggunakan rumus :

$$I_{sc} = \frac{100}{Z} \times FLA \dots\dots\dots (2.18)$$



$$FLA = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times L-L(\text{sekunder})kV} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana :

I_{sc} : Arus hubung singkat pada sumber (A)

Z : Impedansi pada nameplate trafo ()

FLA : *Full Load Ampere* (A)

$L-L_{\text{sekunder}}$: Tegangan di sisi sekunder trafo (kV)

kVA : Daya nominal trafo (kVA)

2.2.5.4 Perhitungan impedansi total urutan fasa

$Z_{1\text{ekivalen}}$ dan $Z_{2\text{ekivalen}}$ adalah impedansi total dari masing-masing urutan positif dan negatif pada komponen-komponen yang ada. Untuk mencari $Z_{1\text{ekivalen}}$ dan $Z_{2\text{ekivalen}}$ dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$Z_{1\text{ekivalen}} = Z_{2\text{ekivalen}} = Z_{S1} + Z_{T1} + Z_{1\text{penyulang}} \dots\dots\dots (2.20)$$

Sedangkan $Z_{0\text{ekivalen}}$ adalah impedansi total dari masing-masing urutan nol pada komponen-komponen yang ada. Untuk mencari $Z_{0\text{ekivalen}}$ dapat menggunakan rumus :

$$Z_{0\text{ekivalen}} = Z_{T0} + 3R_N + Z_{0\text{penyulang}} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana :

$Z_{1\text{ekivalen}}, Z_{2\text{ekivalen}}$: Impedansi total untuk urutan positif dan negatif ()

$Z_{0\text{ekivalen}}$: Impedansi total untuk urutan nol ()

Z_{S1} : Impedansi urutan positif dan negatif sumber ()



Z_{T1}	: Impedansi urutan positif dan negatif trafo daya ()
$Z_{1\text{penyulang}}$: Impedansi urutan positif dan negatif kabel (penghantar) ()
Z_{T0}	: Impedansi urutan nol trafo ()
R_N	: Tahanan Netral (pentanahan) ()
$Z_{0\text{penyulang}}$: Impedansi urutan nol kabel (penghantar) ()

(Kadarisman : 11-25)

2.3 Motor Induksi 3 Fasa

Motor listrik berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. (Rijono, 1997 : 310). Motor listrik terdiri dari dua bagian yang sangat penting yaitu stator atau bagian yang diam dan rotor atau bagian berputar. Pada motor AC, kumparan rotor tidak menerima energi listrik secara langsung, tetapi secara induksi seperti yang terjadi pada energi kumparan transformator. Oleh karena itu motor AC dikenal dengan motor induksi. Dilihat dari kesederhanaannya, konstruksinya yang kuat dan kokoh serta mempunyai karakteristik kerja yang baik, motor induksi tiga fasa yang cocok dan paling banyak digunakan dalam bidang industri.

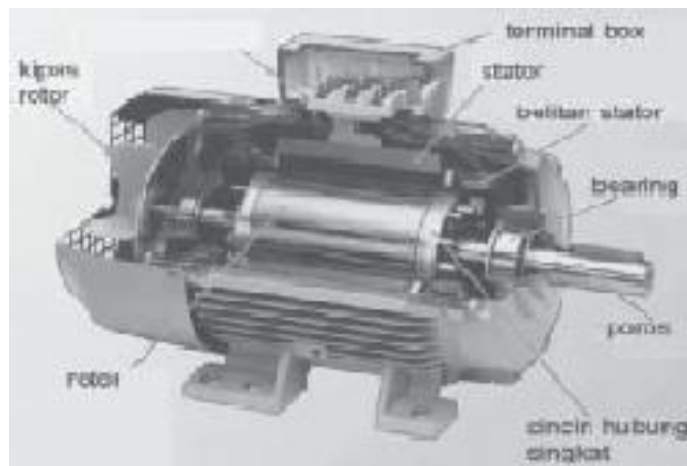
Penggunaan motor induksi yang banyak dipakai di kalangan industri mempunyai keuntungan sebagai berikut :

1. Bentuknya yang sederhana dan memiliki konstruksi yang kuat dan hampir tidak pernah mengalami kerusakan yang berarti.
2. Harga relatif murah dan dapat diandalkan.
3. Efisiensi tinggi pada keadaan berputar normal, tidak memerlukan sikat sehingga rugi – rugi daya yang diakibatkannya dari gesekan dapat dikurangi.
4. Perawatan waktu mulai beroperasi tidak memerlukan starting tambahan khusus dan tidak harus sinkron.

Namun disamping hal tersebut diatas, terdapat pula faktor – faktor kerugian yang tidak menguntungkan dari motor induksi yaitu sebagai berikut :

1. Pengaturan kecepatan dari motor induksi sangat mempengaruhi efesiensinya.
2. Kecepatan motor induksi akan menurun seiring dengan bertambahnya beban, tidak seperti motor DC atau motor shunt.
3. Kopel awal mutunya rendah dibandingkan dengan motor DC shunt. (Rijono, 1997 : 310).

Berikut dapat dilihat bentuk fisik dari motor induksi 3 fasa :



Gambar 2.6 Bentuk Motor Induksi 3 Fasa

Pada dasarnya motor induksi arus putar terdiri dari suatu bagian yang tidak berputar (stator) dan bagian yang bergerak memutar (rotor). (Rijono, 1997 : 311). Secara ringkas stator terdiri dari blok-blok dynamo yang berisolasi pada satu sisinya dan mempunyai ketebalan 0,35 – 0,5 disusun menjadi sebuah paket blok yang berbentuk gelang. Dan disisi dalamnya dilengkapi dengan alur-alur. Didalam alur ini terdapat perbedaan antara motor asinkron dengan lilitan sarang (rotor sarang atau rotor hubung pendek) dan gelang seret dengan lilitan tiga fasa. Atau dari sisi lainnya bahwa inti besi stator dan rotor terbuat dari lapisan (email) baja silikon tebalnya 0,35 – 0,5 mm tersusun rapi, masing-masing terisolasi secara



elektrik dan diikat pada ujung-ujungnya. Lamel inti besi stator dan rotor bagian motor dengan garis tengah bagian luar dari stator lebih dari 1m, bagian motor dengan garis tengah lebih besar, lamel inti besi merupakan busur inti segmen yang disambung-sambung menjadi satu lingkaran. Celah udara antara rotor dan stator pada motor yang kecil adalah 0,25 – 0,75 mm, sedangkan pada motor yang besar sampai 10 mm. Celah udara yang besar ini disediakan bagi kemungkinan terjadinya perenggangan pada sumbu sebagai akibat pembebanan transversal pada sumbu atau sambungannya. Tarikan pada pita (belt) atau beban yang tergantung tersebut akan menyebabkan sumbu motor melengkung. Pada dasarnya inti besi stator dan belitan rotor motor tak serempak ini sama dengan stator dan belitan stator mesin serempak. Kesamaan ini dapat ditunjukkan bahwa pada rotor mesin tak serempak yang dipasang sesuai dengan stator mesin tak serempak akan dapat bekerja dengan baik. (Rijono, 1997 : 311). Bagian – bagian pada motor induksi yaitu :

2.3.1 Stator

Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga kumparan yang masing – masing berbeda fasa dan menerima arus dari tiap fasa tersebut yang disebut kumparan stator. Stator terdiri dari plat – plat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyak alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi. Jika kumparan stator mendapatkan suplai arus tiga fasa maka pada kumparan tersebut akan timbul flux magnet putar. Karena adanya flux magnet putar pada kumparan stator, mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator. Konstruksi motor induksi sendiri terdiri dari beberapa bagian yaitu bodi motor, inti kutub magnet dan lilitan pengutut magnet, dan *slipring*. (Rijono, 1997 : 311).

2.3.1.1 Bodi motor

Fungsi utama dari bodi atau frame adalah sebagai bagian dari tempat mengalirnya fluks magnet yang dihasilkan kutub-kutub magnet, karena itu



beban motor dibuat dari beban feromagnetik. Disamping itu badan motor ini berfungsi untuk meletakkan alat-alat tertentu dan melindungi bagian-bagian mesin lainnya. Biasanya pada motor terdapat papan nama atau name plate yang bertuliskan spesifikasi umum dari motor.

2.3.1.2 Inti kutub magnet dan lilitan penguat magnet

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

2.3.1.3 Sikat-sikat dan pemegang sikat

Fungsi dari sikat adalah sebagai jembatan bagi aliran arus dari sumber. Disamping itu sikat memegang peranan penting untuk terjadinya komutasi, agar gesekan antara sikat dan komutator sehingga sikat harus lebih lunak dari padakomutator, biasanya terbuat dari bahan arang. Sikat-sikat akan aus selama operasi dan tingginya akan berkurang, arus yang diizinkan ditentukan oleh konstruksi dari pemegang sikat (gagang-sikat). Bagian puncak dari sikat diberi plat tembaga guna mendapatkan kontak yang baik antara sikat dan dinding pemegang sikat. Bila sikat-sikat terdapat pada kedudukan yang benar baut harus dikuatkan sepenuhnya, hal ini menetapkan jembatan sikat dalam suatu kedudukan yang tidak dapat bergerak pada pelindung ujung. Sedangkan tiap-tiap gagang sikat dilengkapi dengan suatu pegas yang menekan pada sikat melalui suatu system tertentu sehingga sikat tidak terjepit.

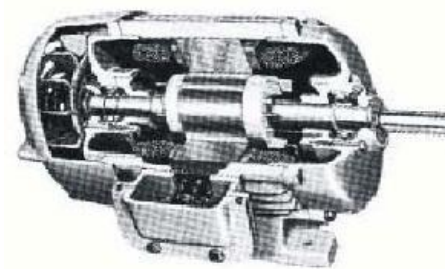
2.3.2 Rotor

Rotor merupakan bagian yang bergerak pada motor. Berdasarkan *Hukum Faraday* tentang imbas magnet, maka medan putar yang secara relatif merupakan medan magnet yang bergerak terhadap penghantar rotor akan mengimbaskan gaya

gerak listrik (GGL). Frekuensi imbas GGL ini sama dengan frekuensi jala-jala. Besar ggl imbas ini berbanding lurus dengan kecepatan relatif antara medan putar dan penghantar rotor. Penghantar-penghantar dalam rotor yang membentuk suatu rangkaian tertutup, merupakan rangkaian pelaju bagi arus rotor dan searah dengan hukum yang berlaku yaitu *Hukum Lenz*. Dalam hal ini arus rotor itu ditimbulkan karena adanya perbedaan kecepatan yang berada diantara fluksi atau medan putar stator dengan penghantar yang diam. Rotor akan berputar dalam arah yang sama dengan arah medan putar stator. Sedangkan menurut bentuk rotor, motor induksi dapat terbagi atas 2 golongan yaitu motor induksi rotor sangkar dan rotor lilit.

2.3.2.1 Motor induksi rotor sangkar

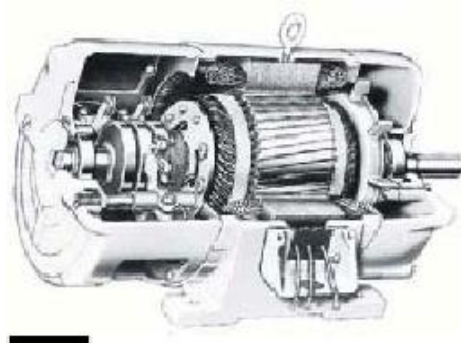
Motor induksi rotor sangkar konstruksinya sangat sederhana, yang manamotor dari rotor sangkar adalah konstruksi dari inti berlapis dengan konduktor dipasang paralel, atau kira-kira paralel dengan poros yang mengelilingi permukaan inti. (Zuhal, 1991 : 83). Konduktornya tidak terisolasi dari inti karena arus rotor secara alamiah akan mengalir melalui tahanan yang paling kecil konduktor rotor. Pada setiap ujung rotor, konduktor rotor semuanya dihubungkan dengan cincin ujung, batang rotor dan cincin ujung sangkar yang lebih kecil adalah coran tembaga atau aluminium dalam satu lempeng pada inti rotor. Dalam motor yang lebih besar batang rotor tidak dicor melainkan ditanamkan kedalam alur kemudian dilas dengan kuat ke cincin ujung. (Zuhal, 1991 : 83). Adapun konstruksi dari motor induksi rotor sangkar dapat dilihat berikut ini :



Gambar 2.7 Motor Induksi Rotor Sangkar

2.3.2.2 Motor induksi rotor lilit

Motor rotor lilit atau motor cincin slip berbeda dengan motor rotor sangkar dalam konstruksi rotornya, seperti namanya rotor dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. (Zuhal, 1991 : 82). Lilitan fasa rotor dihubungkan secara Y dengan poros motor. Ketiga cincin slip yang terpasang pada cincin slip dan sikat-sikat dapat dilihat berada pada sisi sebelah kiri lilitan rotor dan lilitan rotor tidak dihubungkan ke pencatu. Cincin slip dan sikat-sikat semata-mata merupakan penghubung tahanan kendali variabel luar kedalam rangkaian motor. Motor rotor lilit kurang banyak digunakan dibandingkan dengan motor rotor sangkar karena harganya mahal dan biaya pemeliharaan lebih besar. (Zuhal, 1991 : 83). Adapun konstruksi dari motor rotor lilit dapat di lihat berikut ini :



Gambar 2.8 Motor induksi rotor lilit

2.4 Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah susunan perangkat proteksi secara lengkap yang terdiri dari perangkat utama dan perangkat-perangkat lain yang dibutuhkan untuk melakukan fungsi tertentu berdasarkan prinsip-prinsip proteksi. (Pandjaitan, 2002 : 4-14). Suatu peralatan proteksi tentunya juga memiliki persyaratan agar peralatan ataupun perangkat proteksi tersebut benar-benar berfungsi dan benar-benar mengamankan suatu sistem maupun peralatan dengan baik. Persyaratan tersebut antara lain :



- 1) Selektivitas
Kemampuan rele proteksi untuk melakukan tripping secara tepat sesuai rencana yang telah ditentukan pada waktu mendesain proteksi tersebut.
- 2) Keandalan
 - *Dependability*
Yaitu tingkat kepastian bekerja jadi tidak boleh gagal kerja.
 - *Security*
Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja. Salah kerja mengakibatkan pemadaman yang seharusnya tidak perlu terjadi.
- 3) Kecepatan
Mengisolasi gangguan secepat mungkin dan sesegera mungkin untuk mengamankan kontinuitas pasokan daya dengan menghilangkan setiap gangguan sebelum gangguan tersebut berkembang ke arah yang membahayakan stabilitas dan hilangnya sinkronisasi sistem yang pada akhirnya dapat meruntuhkan sistem tenaga tersebut.
- 4) Kepekaan (*sensitivity*)
Pada prinsipnya rele harus peka, sehingga dapat mendeteksi gangguan walau dalam kondisi yang memberikan rangsangan yang minim. (Pandjaitan, 2002 : 4-14).

2.4.1 Proteksi gangguan tanah

Analisis dan perhitungan setelan rele pada arus hubung singkat gangguan fasa tanpa melihat pengaruh besarnya arus gangguan tanah. Untuk mendapatkan sistem proteksi yang lengkap, suatu rele direksional perlu dilengkapi dengan elemen-elemen yang peka terhadap arus gangguan tanah atau residu (Pandjaitan, 2012 : 94).



Namun mengingat arus residu yang mengalir melalui tanah juga bisa timbul pada sistem yang yang tidak seimbang, misalnya karena pembebanan yang tidak simetris, maka elemen-elemen gangguan tanah tersebut tidak boleh tanggap terhadap perubahan beban yang mungkin menimbulkan terjadinya arus residu yang mengalir ke tanah. Oleh karena itu suatu rele direksional dilengkapi dengan rele gangguan tanah harus bisa disetel sesuai besarnya arus bocor yang dapat mengalir ke tanah. Faktor arus bocor ini mungkin tidak begitu berpengaruh pada setelan rele yang rendah dan pada kondisi tertentu. (Pandjaitan, 2012 : 94).

2.5 Rele Proteksi

Rele proteksi adalah susunanperalatan yang direncanakanuntukdapatmerasakanataumengukuradanyagangguanataumulaimeras akanadanyaketidaknormalanpadaperalatanataubagiansistemtenagalistrikdansegera secaraotomatismemberiperintahuntukmembukapemutustenagauntukmemisahkanperalatanataubagiandarisistem yang terganggudan member isyaratberupalampudanbel. (Samaulah, 2004 : 3-4). Jika terjadi gangguan maka relay secara otomatis akan memberikan sinyal perintah untuk membuka pemutus tenaga (PMT) agar bagian yang terganggu dapat mengetahui gangguan dengan mengukur atau membandingkan besaran yang di terimanya seperti arus, tegangan, frekuensi, daya, dan sudut phasa sesuai dengan jenis dan besaran relay yang di tentukan. Fungsi relay adalah sebagai berikut :

1. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkannya dengan cepat.
2. Mengurangi gangguan kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
3. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap sistem yang lain yang tidak tergantung dalam sistem tersebut serta dapat beroperasi normal dan juga untuk mencegah meluasnya gangguan.(Samaulah, 2004 : 3-4).



Rele proteksi mempunyai tiga elemen dasar yang bekerja saling berkaitan untuk memutuskan arus gangguan antara lain (Samaulah, 2004, 70) :

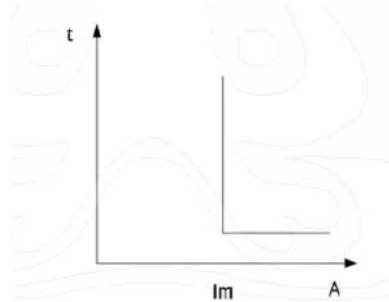
1. Bagian Perasa (*Sensing Element*)
Berfungsi untuk merasakan atau mengukur besaran arus, tegangan, frekuensi, atau besaran lainnya yang akan di proteksi.
2. Bagian Pembanding (*Comparison Element*)
Berfungsi untuk membandingkan arus yang masuk ke rele pada saat ada gangguan dengan arus setting tersebut.
3. Bagian Kontrol (*Control Element*)
Berfungsi mengadakan perubahan dengan tiba-tiba pada besaran kontrol dengan menutup arus operatif. (Samaulah, 2004, 70).

2.5.1 Rele arus lebih (OCR)

Rele arus lebih adalah suatu rele yang bekerjanya didasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengamanan tertentu dan dalam jangka waktu tertentu, sehingga rele ini dapat dipakai sebagaipola pengamanan arus lebih. (Samaulah, 2004 : 53). Berdasarkan karakteristik waktunya, rele OCR dapat terbagi menjadi beberapa jenis antara lain rele arus lebih sesaat (*Instantaneous*), rele arus lebih waktu tertentu (*Definite time*), dan rele arus lebih waktu terbalik (*Inverse time*).

2.5.1.1 Rele arus lebih waktu sesaat (*instantaneous*)

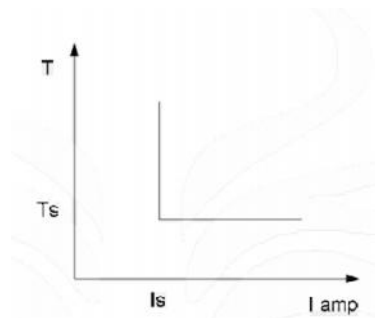
Adalah rele arus lebih yang tidak mempunyai waktu tunda/waktu kerja sesaat. Rele bekerja pada gangguan yang paling dekat dengan lokasi dimana rele terpasang atau dibedakan berdasarkan level gangguan secara lokasi sistem. Berikut gambar karakteristik waktu untuk rele arus lebih waktu sesaat (*instantaneous*) :



Gambar 2.9 Karakteristik Waktu Seketika (*instantaneous*)

2.5.1.2 Rele arus lebih waktu tertentu (*definite time*)

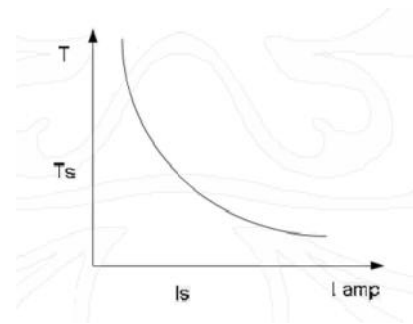
Adalah rele dimana waktu tundanya tetap, tidak tergantung pada besarnya arus gangguan. Jika arus gangguan telah melebihi arus settingnya berapapun besarnya arus gangguan rele akan bekerja dengan waktu yang tetap. Berikut gambar karakteristik waktu untuk rele arus lebih waktu tertentu (*definite time*) :



Gambar 2.10 Karakteristik Waktu Tertentu (*Definite*)

2.5.1.3 Rele arus lebih waktu terbalik (*inverse time*)

Adalah rele dimana waktu tundanya mempunyai karakteristik tergantung pada besarnya arus gangguan. Jadi, semakin besar arus gangguan maka waktu kerja rele akan semakin cepat, arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja rele. Berikut gambar karakteristik rele arus lebih waktu terbalik (*inverse time*) :



Gambar 2.11 Karakteristik Waktu Terbalik (*Inverse Time*)

2.5.2 Rele hubung tanah (GFR)

Rele hubung tanah yang lebih dikenal dengan GFR (*Ground Fault Relay*) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja sama dengan rele arus lebih (OCR) namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya. Bila rele OCR mendeteksi adanya hubung singkat antar fasa, maka GFR mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah. Dalam kondisi normal beban seimbang I_r , I_s , I_t sama besar, sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan rele hubung tanah tidak dialiri arus. Bila terjadi ketidakseimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral, sehingga rele hubung tanah akan bekerja. (Affandi, 2009 : 36).