



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Perkembangan beban yang sangat besar membutuhkan keandalan suatu sistem tenaga listrik dimulai dari pembangkit sampai dengan jaringan distribusi. Oleh sebab itu, bila terjadi gangguan maka diperlukan suatu peralatan proteksi yang dapat menjamin keandalan dari sistem tenaga listrik tersebut.

2.2 Peranan Sistem Distribusi

Sistem tenaga listrik merupakan sistem terpadu yang terbentuk oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen-komponen listrik, seperti generator, transformator, jaringan tenaga listrik dan beban-beban listrik. Peranan utama dari suatu sistem tenaga listrik ialah menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator ke konsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut. Secara garis besar suatu sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan atas bagian sub-sistem.^[1]

1. Bagian pembangkit meliputi :
 - Generator
 - Gardu Induk Pembangkitan
2. Bagian Transmisi, meliputi :
 - Saluran Transmisi
 - Gardu Induk
 - Saluran Sub-Transmisi
3. Bagian Distribusi dan Beban, Meliputi :
 - Gardu Induk Distribsi
 - Saluran Distribusi Primer
 - Gardu Distribusi
 - Saluran Distribusi Sekunder
 - Beban Listrik/Konsumen



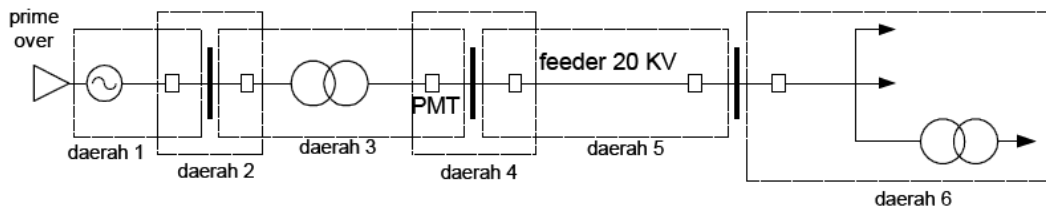
Berdasarkan pembagian diatas, fungsi dari masing-masing sub sistem dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Pembangkit berperan sebagai sumber tenaga listrik yang disebut sebagai Produtor Energi.
2. Sistem Transmisi berfungsi sebagai penyaluran tenaga listrik secara besar-besaran dari sestem pembangkit ke bagian sistem distribusi / konsumen.
3. Sistem Distribusi berfungsi sebagai distributor energi listrik ke konsumen.

2.3 Sistem Proteksi

2.3.1 Pembagian Daerah Proteksi

Suatu sistem tenaga listrik dibagi ke dalam seksi-seksi yang dibatasi oleh PMT. Tiap seksi memiliki rele pengaman dan memiliki daerah pengamanan (*Zone of Protection*). Bila terjadi gangguan, maka rele akan bekerja mendeteksi gangguan dan PMT akan *trip*. Gambar 2.1 berikut ini menunjukkan konsep dasar pembagian daerah proteksi.



Gambar 2.1 Pembagian daerah Proteksi pada sistem tenaga^[6]

Pada gambar 2.1 dapat dilihat bahwa daerah proteksi pada sistem tenaga listrik dibuat bertingkat dimulai dari Pembangkit, Gardu Induk, Saluran Distribusi Primer hingga ke beban. Garis putus putus menunjukkan pembagian sistem tenaga listrik ke dalam beberapa daerah proteksi. Masing-masing daerah memiliki satu atau beberapa komponen sistem daya disamping dua unit pemutus rangkaian. Setiap pemutus dimasukkan ke dalam dua daerah proteksi berdekatan. Batas setiap daerah menunjukkan bagian sistem yang bertanggung jawab untuk memisahkan gangguan yang terjadi pada daerah tersebut dengan sistem lainnya. Aspek penting lain yang harus diperhatikan dalam pembagian daerah proteksi



adalah bahwa daerah yang saling berdekatan harus saling tumpang tindih (*overlap*), hal ini dimaksudkan agar tidak ada sistem yang dibiarkan tanpa perlindungan. Pembagian daerah ini bertujuan agar daerah yang tidak mengalami gangguan dapat tetap beroperasi dengan baik sehingga dapat mengurangi daerah terjadinya pemadaman.^[6]

2.3.2 Pengelompokkan Sistem Proteksi

Berdasarkan daerah pengamanannya sistem proteksi deibedakan menjadi :

1. Proteksi pada Generator
2. Proteksi pada Transformator
3. Proteksi pada Transmisi
4. Proteksi pada Distribusi^[8]

2.3.3 Pembagian Tugas Dalam Sistem Proteksi

Dalam sistem proteksi pembagian tugas dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Proteksi utama, berfungsi untuk mempertinggi keandalan, kecepatan kerja, dan fleksibilitas sistem proteksi dalam melakukan proteksi terhadap sistem tenaga.
2. Proteksi pengganti, berfungsi jika proteksi utama mengalami kerusakan untuk mengatasi gangguan yang terjadi.
3. Proteksi tambahan, berfungsi untuk pemakaian pada waktu tertentu sebagai pembantu proteksi utama pada daerah tertentu yang dibutuhkan.^[6]

2.3.4 Komponen Peralatan Proteksi

Seperangkat peralatan/komponen proteksi utama berdasarkan fungsinya dapat dibedakan menjadi :

- a. Rele Proteksi
- b. Pemutus Tenaga (PMT) : sebagai pemutus arus untuk mengisolir sirkuit yang terganggu.
- c. Transduser yang terdiri dari sumber daya pembantu
 - Trafo Arus : mentransformasikan arus ke sirkuit rele



- Trafo Tegangan : mentransformasikan tegangan ke sirkuit rele
- d. Baterai : sebagai sumber tegangan untuk penggerak/mentriapkan PMT dan catu daya untuk rele statis dan alat bantu.^[6]

2.4 Rele Proteksi

Rele proteksi merupakan sebuah peralatan listrik yang dirancang untuk mendeteksi bila terjadi gangguan atau sistem tenaga listrik dalam keadaan tidak normal. Rele pengaman merupakan kunci kalangsungan kerja dari suatu istem tenaga listrik, dimana gangguan segera dapat dilokalisir dan dihilangkan sebelum menimbulkan akibat yang lebih luas. Gambar 2.2 berikut menggambarkan diagram blok urutan kerja rele pengaman.



Gambar 2.2 Diagram Blok Urutan Kerja Rele Pengaman^{[7][6]}

Rele pengaman mempunyai tiga elemen dasar yang bekerja saling terkait untuk memutuskan arus gangguan, ketiga elemen dasar tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Elemen Perasa (*Sensing Element*)

Berfungsi untuk merasakan atau mengukur besaran arus, tegangan, frekuensi, atau besaran lainnya yang akan diproteksi.

2. Elemen Pembanding (*Comparison Element*)

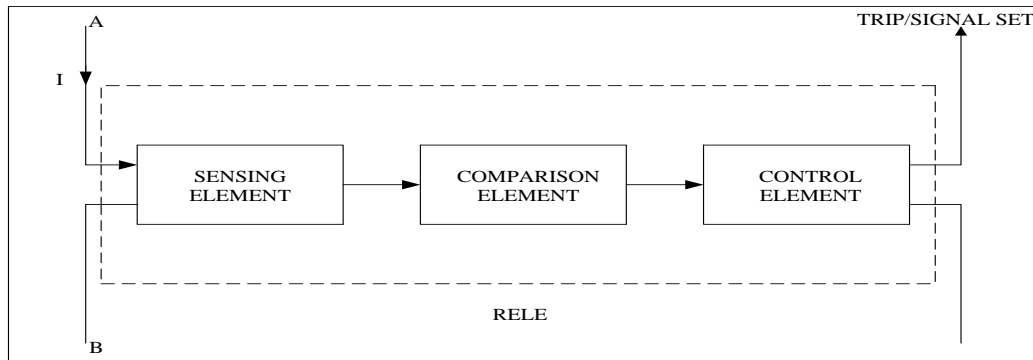
Berfungsi untuk membandingkan arus yang masuk ke rele pada saat ada gangguan dengan arus setting tersebut.

3. Elemen Kontrol (*Control Element*)

Berfungsi mengadakan perubahan dengan tiba-tiba pada besaran kontrol dengan menutup arus operasi.



Ketiga elemen dasar rele proteksi di atas dapat dijelaskan oleh gambar 2.3 di bawah ini :



Gambar 2.3 Diagram Blok Elemen Rele Pengaman^[7]

2.4.1 Fungsi Rele Proteksi

Fungsi rele proteksi pada suatu sistem tenaga listrik antara lain :

- a. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya pada bagian sistem yang diamankan.
- b. Melepaskan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lainnya dapat terus beroperasi.
- c. Memberitahu operator tentang adanya gangguan dan lokasinya.

Atau dengan kata lain fungsi dari suatu sistem proteksi adalah :

1. Meminimalisasikan lamanya gangguan
2. Mengurangi kerusakan yang mungkin timbul pada alat atau sistem
3. Melokalisir meluasnya gangguan pada sistem
4. Pengamanan terhadap manusia

Rele proteksi dalam fungsinya sebagai pengaman memiliki beberapa syarat yang harus dipenuhi, yaitu :

1. Kepekaan (*Sensitivity*)

Pada prinsipnya rele harus peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya meskipun gangguan yang ada relatif kecil.



2. Keandalan (*Reliability*)

Maksudnya adalah bahwa sebuah rele proteksi harus selalu berada pada kondisi yang mampu melakukan pengamanan pada daerah yang diamankan.

Keandalan memiliki 3 aspek, antara lain :

- a. *Dependability*, adalah kemampuan suatu sistem rele untuk beroperasi dengan baik dan benar. Pada dasarnya pengaman harus dapat diandalkan kerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal kerja saat terjadi gangguan. Dengan kata lain *dependability*-nya harus tinggi.
- b. *Security*, adalah tingkat kepastian suatu sistem rele untuk tidak salah dalam bekerja. Salah kerja, misalnya lokasi gangguan berada diluar pengamanannya, tetapi salah kerja mengakibatkan pemadaman yang seharusnya tidak perlu terjadi.
- c. *Availability*, adalah perbandingan antara waktu di mana pengaman dalam keadaan siap kerja (*actually in aervice*) dan waktu total operasinya.

3. Selektifitas (*Selectivity*)

Maksudnya pengaman harus dapat membedakan apakah gangguan terletak di daerah proteksi utama dimana pengaman harus bekerja cepat atau terletak di luar zona proteksinya dimana pengaman harus bekerja dengan waktu tunda atau tidak bekerja sama sekali.

4. Kecepatan Kerja (*Speed of Operation*)

Untuk memperkecil kerugian atau akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Selang waktu sejak dideteksinya gangguan sampai dilakukan pemisahan gangguan merupakan penjumlahan dari waktu kerja rele dan waktu kerja pemutus daya ($t_{\text{kerja}} = t_{\text{rele}} + t_{\text{pemutusnya}}$), namun pengaman yang baik adalah pengaman yang mampu beroperasi dalam waktu kurang dari 50 ms.

5. Sederhana (*Simplicity*)

Rele pengaman harus disusun sesederhana mungkin namun tetap mampu bekerja sesuai dengan tujuannya.



6. Ekonomis (*Economic*)

Faktor ekonomis sangat mempengaruhi pengamanan yang akan digunakan. Namun sebaiknya pilihlah suatu sistem proteksi yang memiliki perhitungan maksimum dengan biaya yang minimum.^[7]

2.4.2 Jenis-Jenis Rele Proteksi

Berdasarkan besaran ukur dan prinsip kerja, rele proteksi dapat dibedakan sebagai berikut :

a. Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*).

Adalah suatu rangkaian peralatan rele pengaman yang memberikan respon terhadap kenaikan arus yang melebihi arus yang telah ditentukan pada rangkaian yang diamankan.

Keuntungan dari penggunaan proteksi rele arus lebih ini antara lain :

1. Sederhana dan murah
2. Mudah penyetelannya
3. Dapat berfungsi sebagai pengaman utama dan cadangan
4. Mengamankan gangguan hubung singkat antara fasa, satu fasa ke tanah, dan dalam beberapa dal digunakan untuk proteksi beban lebih (*over load*).
5. Pengaman utama pada jaringan distribusi dan subtransmisi.
6. Pengaman cadangan untuk generator, trafo, dan saluran transmisi.

b. Rele Tegangan Kurang (*Under Voltage Relay*)

Adalah rele yang bekerja dengan menggunakan tegangan sebagai besaran ukur. Rele akan bekerja jika mendeteksi adanya penurunan tegangan melampaui batas yang telah ditetapkan. Untuk waktu yang relatif lama tegangan turun adalah lebih kecil dari 5% dari tegangan nominal dan dalam jangka waktu jam beberapa peralatan yang beroperasi dengan tegangan dibawah 10% akan mengalami penurunan efisiensi penyaluran energi listrik.

c. Rele Jarak (*Distance Relay*)

Adalah rele yang bekerja dengan mengukur tegangan pada titik rele dan arus gangguan yang terlihat dari rele, dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat di tentukan.



d. Rele Arah (*Directional Relay*)

Adalah rele pengamanan yang bekerja karena adanya besaran arus dan tegangan yang dapat membedakan arah arus gangguan ke depan atau arah arus ke belakang. Rele ini merupakan pengamanan cadangan dan bila bekerja akan mengerjakan perintah.

e. Rele Hubungan Tanah (*Ground Fault Relay*)

Adalah rele hubungan tanah berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik akibat adanya gangguan hubung singkat fasa ke tanah.

f. Rele Arus Hubung Singkat Terbatas (REF)

Adalah rele yang bekerja mengamankan transformator bila terjadi gangguan satu fasa ke tanah di dekat titik netral transformator yang tidak dirasakan oleh rele differensial.

g. Rele Differensial (*Differential Relay*)

Adalah rele yang bekerja berdasarkan Hukum Kirchof, dimana arus yang masuk pada suatu titik sama dengan arus yang keluar dari titik tersebut. Yang dimaksud titik pada proteksi differensial ialah daerah pengamanan, dalam hal ini dibatasi oleh 2 buah trafo arus.^[7]

2.5 Proteksi Arus Lebih

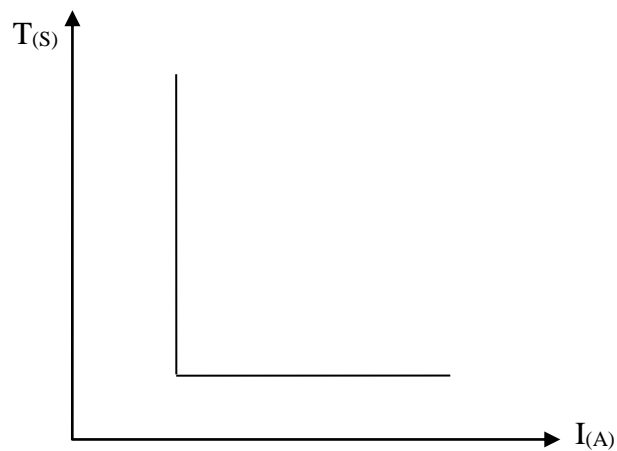
Gangguan yang diamankan oleh proteksi arus lebih dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

- a. Gangguan Beba Lebih (Overload)
- b. Gangguan hubung singkat antar fasa dan fasa ke tanah

Berdasarkan karakteristik dari waktu kerjanya reel arus lebih dapat dibedakan menjadi :

1. Rele Arus Lebih Sesaat/Momen (*Instantaneous Overcurrent Relay*)

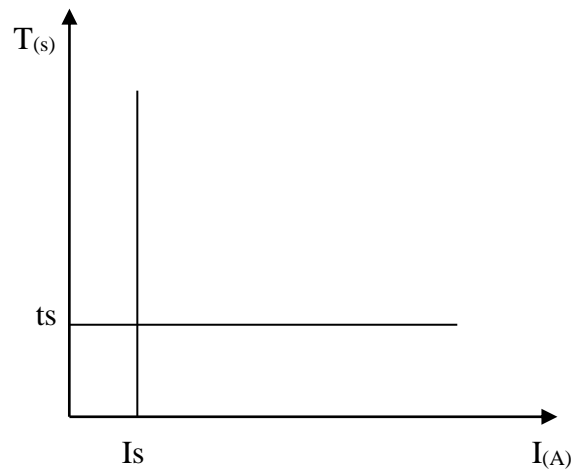
Rele ini bekerja dengan sangat cepat (tidak ada penundaan waktu) atau dengan kata lain jangka waktu antara terjadinya gangguan dan selesainya kerja rele sangat singkat.

Gambar 2.4 Karakteristik Rele Arus Lebih Sesaat/Momen^[7]

2. Rele Arus Lebih Dengan Waktu Tunda (*Time Delay Overcurrent*)

a. Rele Arus Lebih dengan Waktu Tetentu (*definite Time*)

Jangka waktu kerja rele ini dari mulai start sampai selesainya kerj rele diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang menggerakkan.

Gambar 2.5 Karakteristik Rele Arus Lebih Definite Time^[7]

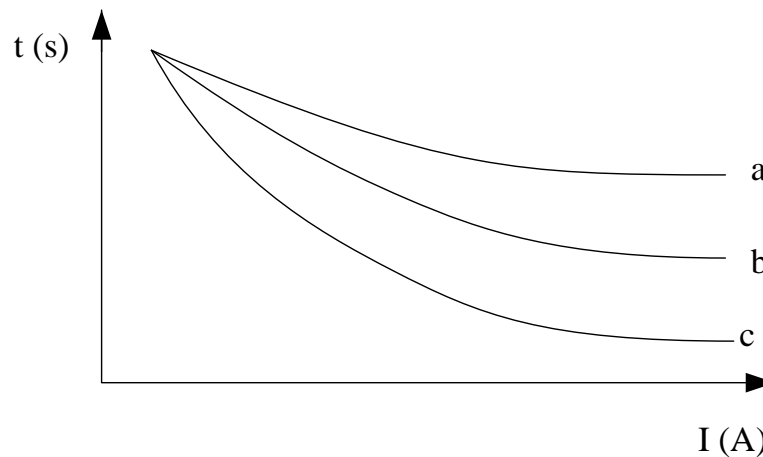


b. Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse Time Overcurrent Relay*)

Rele arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik adalah jika jangka waktu mulainya rele pick up sampai selesainya kerja rele diperpanjang dengan besar relay yang besarnya berbanding terbalik dengan arus yang menggerakannya.

Jenis karakteristik inverse rele dengan waktu terbalik dapat dibedakan menjadi :

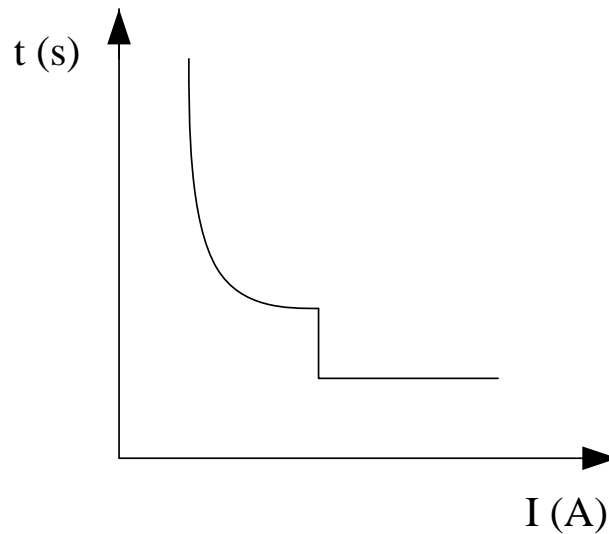
- a. Berbanding terbalik (*Inverse*)
- b. Sangat berbanding terbalik (*Very Inverse*)
- c. Sangat berbanding terbalik sekali (*Extremely Inverse*)



Gambar 2.6 Karakteristik Rele Arus Lebih Inverse Time^[7]

d. Rele Arus Lebih Terbalik dan Terbatas Waktu Minimum (*inverse definite minimum time / IDMT*)

Pada Rele ini semakin besar arus yang mengalir maka kerja rele akan semakin cepat, tetapi pada saat tertentu yaitu saat mencapai waktu yang ditentukan maka kerja rele tidak lagi ditentukan oleh arus tetapi oleh waktu.

Gambar 2.7 Rele Arus Lebih dengan Karakteristik IDMT^[7]

2.6 Penyetelan Rele Arus Lebih

2.6.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat 2 fasa dan 3 fasa

Perhitungan arus hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa digunakan untuk keperluan penyetelan rele arus lebih. Rumus yang digunakan dalam perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa pada jaringan tegangan menengah secara umum adalah sebagai berikut :

1. Arus gangguan hubung singkat 3 fasa :

$$I_{f3\text{fasa}} = \frac{E/\sqrt{3}}{Z_{1eq}} \dots \dots \dots (2.1)$$

2. Arus gangguan hubung singkat 2 fasa :

$$I_{f2\text{fasa}} = \frac{E}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

$I_{f3\text{fasa}}$ = Besar arus gangguan 3 fasa (Ampere)

$I_{f2\text{fasa}}$ = Besar arus gangguan 2 fasa (Ampere)

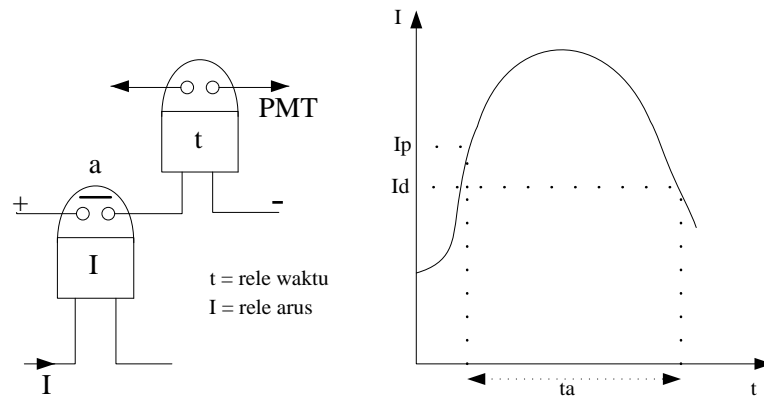
E = Besar tegangan (Volt)

Z_{1eq} Z_{2eq} = Impedansi ekivalen urutan Positif dan Negatif (ohm)^{[12][6]}



2.6.2 Prinsip Dasar Perhitungan Penyetelan Arus

Arus bekerja atau arus *pick up* (I_p) adalah arus yang memerintah rele arus untuk bekerja dan menutup kontak a sehingga rele waktu bekerja. Sedangkan arus kembali atau *drop off* (I_d) adalah nilai arus dimana rele arus berhenti bekerja dan kontak a kembali membuka, sehingga rele waktu berhenti bekerja.



Gambar 2.8 Arus Kerja dan Arus Kembali (*drop off*)^{[9][7]}

Dari gambar 2.9 bila $t_a < t$ maka rele arus lebih dinyatakan tidak bekerja, dan bila $t_a > t$ maka rele arus lebih dinyatakan bekerja. Perbandingan arus kembali dengan arus kerja secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$K_d = \frac{I_d}{I_p} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana, K_d adalah faktor arus kembali dengan karakteristik waktu tertentu dan memiliki nilai 0,7 – 0,9. Untuk rele arus lebih dengan karakteristik waktu terbaik memiliki nilai $\approx 1,0$.

Pada dasarnya penyetelan pengaman arus lebih dilakukan penyetelan atas besaran arus dan waktu. Batasan dalam penyetelan arus yang harus diperhatikan adalah :

- Batas penyetelan minimum arus kerja yang tidak boleh bekerja pada saat arus beban maksimum.

$$I_s = \frac{K_{fk}}{K_d} \times I_{max} \dots\dots\dots(2.4)$$



- gangguan maksimum.

$$I_s \leq I_{hs2\phi}$$

Secara umum batas dalam penyetelan arus dapat dituliskan sebagai berikut :

$$I_{max} < I_s < I_{hs \min}$$

Dimana,

I_s = Nilai setting arus

K_{fk} = Faktor keamanan (*safety factor*) sebesar 1.0 – 1.1

K_d = Faktor arus kembali

I_{max} = Arus beban maksimum yang diizinkan untuk alat yang diamankan, pada umumnya diambil arus nominalnya (I_n)

$I_{hs \min}$ = $I_{hs (2\phi) \min}$ pada pembangkit minimum

Cara penyetelan arus :

Tabel 2.1 Kaidah Setting OCR Trafo dan Penyulang^[9]

Uraian	Penyulang (MV)	Incoming (MV)	Sisi (HV) Trafo
Jenis Karakteristik	OCR SI	OCR SI	OCR SI
Setelan Arus	(1,0-1,1) x I_n CT (1,0-1,1) x CCC	(1,0-1,1) x I_n Trf (1,0-1,1) x CCC	(1,0 – 1,1) x I_n Trf
Waktu Kerja	0,2 - 0,4 detik	0,6 – 1 detik	1,2 – 1,6 detik
Setelan Arus Momen	0,5 x (1/2 x I_n Trf)	0,8 x (1/2 x I_n Trf)	Di Blok
Waktu Arus Momen	Instan	0,4 – 0,5 detik	-

$$I_s = \frac{K_{fk} \times I_n \text{ CT}}{K_d} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

- Untuk arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time*) nilai K_{fk} sebesar 1.1 – 1.2 dan K_d sebesar 0.8.



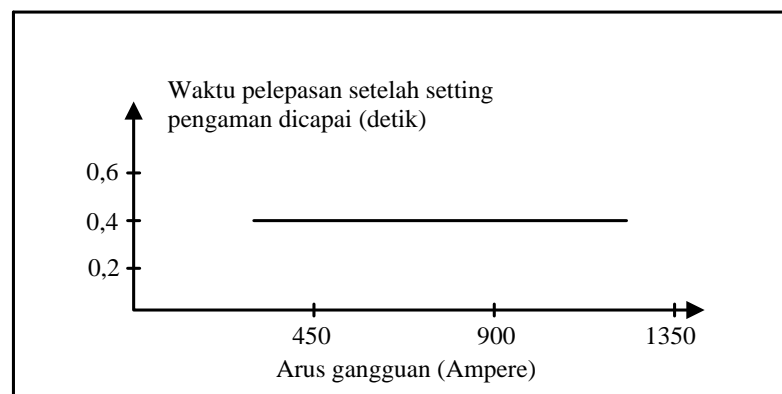
- b. Untuk arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik (*inverse time*) nilai K_{fk} sebesar 1.0 – 1.1 dan K_d sebesar 1.0.^{[12][9]}

2.6.3 Prinsip Dasar Perhitungan Penyetelan Waktu

Untuk mendapatkan pengamanan yang selektif maka penyetelan waktunya dibuat bertingkat agar bila terjadi gangguan arus lebih di beberapa seksi rele arus akan bekerja.

- a. Rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time*)

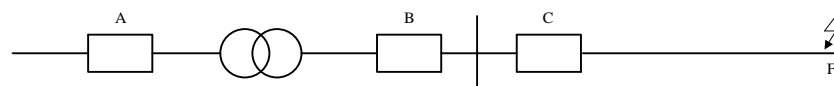
Untuk rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu, waktu kerjanya tidak dipengaruhi oleh besarnya arus. Biasanya, setting waktu kerja pada rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu adalah sebesar 0.2 – 0.4 detik.



Gambar 2.9 Karakteristik rele dengan waktu tetap^[7]

Dari gambar 2.9 di atas dapat diketahui kelambatan waktu rele selalu menunjukkan waktu yang tetap. Misalnya untuk kelebihan beban sebesar 450 ampere, pelepasan baru dilaksanakan 0.4 detik kemudian.

- b. Rele arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik (*inverse time*)



Gambar 2.10 Gangguan pada sistem tenaga^[7]

Akibat gangguan di F, maka :

$$I_f \text{ di } F > I_f \text{ di } A > I_f \text{ di } B > I_f \text{ di } C$$

Sehingga rele arus di A, B, dan C akan *pick up*, dimana $t_A > t_B > t_C$



Penyetelan waktu untuk karakteristik waktu terbalik dihitung berdasarkan besarnya arus gangguan dimana waktu (t) pada sisi penyulang ditentukan sebesar 0.2 – 0.4 detik. Dan untuk mendapatkan pengamanan yang baik, yang terpenting adalah menentukan beda waktu (Δ) antara dua tingkat pengaman agar pengamanan selektif tetapi untuk keseluruhannya tetap singkat.

Jadi, waktu penyetelan arusnya dapat ditentukan sebagai berikut :

$$t_C = t_I$$

$$t_B = t_I + \Delta t$$

$$t_A = t_B + \Delta t$$

Hal – hal yang mempengaruhi Δt adalah :

- Kesalahan rele waktu di C dan B adalah 0.2 detik
- Waktu pembukaan PMT sampai hilangnya bunga api 0.06 – 0.14 detik
- Faktor keamanan sebesar 0.05 detik
- Kelambatan rele arus lebih pembantu dan arus *over travel* 0.005 detik

Sehingga nilai Δt ditentukan sebesar 0.4 – 0.5 detik dan untuk rele dengan ketelitian yang lebih nilai Δt ditentukan sebesar 0.2 – 0.4 detik.

Setelah waktu kerja standar inverse didapat dengan menggunakan kurva arus dan waktu. Secara matematis dapat ditentukan dengan rumus :

$$tms = \frac{t_{set} \times \left(\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right)}{\beta} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

tms = Faktor pengalih terhadap waktu

I_{fault} = Arus gangguan (Ampere)

I_{set} = Arus penyetelan (Ampere)

t_{set} = Waktu penyetelan (detik)

α dan β = konstanta

untuk menguji selektifitasnya, nilai setelan waktu ini diuji dengan menggunakan rumus :

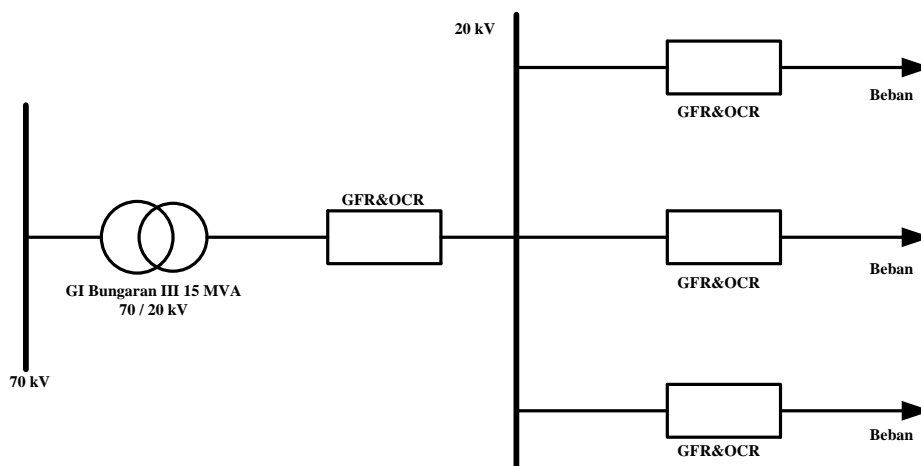


$$t_{set} = \frac{tms \times \beta}{\left(\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right)} \dots\dots\dots(2.7)$$

Untuk setelan waktu pada penyulang nilai waktu selektifitasnya ditentukan sebesar 0.2 – 0,4 detik. Waktu pada *incoming feeder* dibuat lebih besar agar pada saat terjadi gangguan hubung singkat, rele pada penyulang bekerja sebagai proteksi yang pertama dan bila gangguan tersebut tidak dapat diatasi maka rele pada *incoming feeder* yang bekerja.^{[12][9][8]}

2.7 Rele Gangguan Tanah

Rele gangguan tanah (*Ground Fault Relay*) adalah pengamanan terhadap gangguan tanah. Arus atau tegangan nol (residu) merupakan penggerak rele ini. Sistem daya listrik pada umumnya titik netralnya ditanahkan, baik pentanahan langsung (*Solid Grounded*) maupun melalui impedansi, karena itu arus residu merupakan penggerak utama rele gangguan tanah. Tegangan residu biasanya digunakan pada sistem yang tidak ditanahkan.



Gambar 2.11 Rangkaian Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah di Feeder 20 kV^[7]



2.7.1 Setting Rele Gangguan Tanah (GFR) Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 Kv Gardu Induk Bunganan

2.7.1.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Perhitungan arus hubung singkat satu fasa ke tanah digunakan untuk keperluan penyetelan rele gangguan fasa ke tanah. Rumus yang digunakan dalam perhitungan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, pada jaringan tegangan menengah secara umum adalah sebagai berikut :

$$I_{1\text{fasa}} = \frac{\sqrt{3} \times E}{Z_{1\text{eq}} + Z_{2\text{eq}} + Z_{0\text{eq}}} \dots\dots\dots(2.8)^{[12][6]}$$

Dimana :

$I_{1\text{fasa}}$ = Besar arus gangguan 1 fasa (Ampere)

E = Besar tegangan fasa terhadap netral (Volt)

$Z_{0\text{eq}}$ = Impedansi ekivalen urutan nol (ohm)

$Z_{1\text{eq}}$ = Impedansi ekivalen urutan positif (ohm)

$Z_{2\text{eq}}$ = Impedansi ekivalen urutan negatif (ohm)

2.7.1.2 Perhitungan Penyetelan Arus dan Tms GFR pada sisi *outgoing feeder*

Untuk memperoleh setelan GFR di ambil arus pada ujung jaringan, kemudian setelan arusnya 10% – 20 %. Perhitungan sebagai berikut :

Tabel 2.2 Kaidah Setting GFR Incoming dan Penyulang^{[9][12]}

Uraian	Penyulang	Incoming Penyulang	NGR
Jenis Karakteristik	GFR SI	GFR SI	SEF LTI
Setelan Arus	0,1 x I_n NGR 0,2 x $I_{f1\phi\text{min}}$	0,2 x I_n trf 0,1 x CCC	0,1 x I_n NGR
Waktu Kerja	0,5 detik	1 detik	LTI : < 5 detik
Setelan Arus Momen	$I_m = 8 \times I_{\text{set}}$ & tidak melebihi GH $t_m = \text{inst}$	Di blok	Di blok



- Penyetelan arus pada sisi primer :

$$I_{\text{set primer}} = I_n \text{ Trafo } \times 20 \%$$

$$I_{\text{set primer}} = I_n \text{ NGR } \times 10 \%$$

- Penetelan arus pada sisi sekunder :

$$I_{\text{set sekunder}} = I_{\text{set primer}} \times \text{Ratio CT (Current Transformer)}$$

- untuk memperoleh setelan Tms digunakan persamaan sebagai berikut :

$$t_{\text{ms}} = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_f}{I_s} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

t = Penyetelan waktu kerja (s)

tms = Setelan waktu (s)

I_f = Arus Gangguan (A)

I_s = Arus Setelan (A)^{[12][8][6]}

2.8 Gangguan Pada Sistim Tenaga

2.8.1 Macam – Macam Gangguan

a. Gangguan Beban Lebih

Sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi jika dibiarkan terus-menerus maka dapat merusak peralatan. Umumnya gangguan beban lebih yang terjadi pada transformator yang memiliki kemampuan atau daya tahan terhadap 110% pembebanan secara berulang, meskipun demikian kondisi tersebut sudah merupakan keadaan beban lebih yang diamankan.

Dengan mengetahui kemampuan pembebanan tersebut penyetelan rele beban lebih baik dikoordinasikan dengan pengamanan gangguan hubung singkat.

b. Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan hubung singkat dapat terjadi antara (3 fasa atau 2 fasa) dan satu fasa ke tanah. Gangguan yang terjadi dapat bersifat temporer atau permanen.

- Gangguan permanen : terjadi pada penghantar, belitan trafo, dan generator.
- Gangguan temporer : terjadi akibat *flashover* karena sambaran petir, poho, atau tertiuip angin.



Gangguan hubung singkat dapat merusak secara termis dan mekanis. Kerusakan termis tergantung besar dan lamanya arus gangguan, sedangkan kerusakan mekanis terjadi akibat gaya tarik-menarik atau tolak-menolak.

c. Gangguan Tegangan Lebih

- Tegangan lebih dengan *power* frekuensi

Contohnya : pembangkit kehilangan beban, *over speed* pada generator, gangguan pada AVR.

- Tegangan lebih transien

Contohnya : sambaran surya petir atau surya hubung

d. Gangguan Hilangnya Pembangkit

Gangguan hilangnya pembangkit dapat diakibatkan oleh :

- Lepasnya pembangkit akibat adanya gangguan pada sisi pembangkit
- Gangguan hubung singkat pada jaringan yang menyebabkan terpisahnya sistem, dimana unit pembangkit yang lepas lebih besar dari *spinning reserve* maka frekuensi akan terus turun sehingga sistem bisa *collapse*.

e. Gangguan *Instability*

Gangguan hubung singkat atau lepasnya pembangkit dapat menimbulkan ayunan daya (*power swing*) atau menyebabkan unit-unit pembangkit lepas sinkron. Ayunan daya ini dapat mengakibatkan rele salah bekerja. Untuk mengatasi akibat-akibat negatif dari berbagai macam gangguan-gangguan tersebut diatas, maka diperlukan rele proteksi.^[7]

2.8.2 Upaya Mengatasi Gangguan

Dalam sistem tenaga listrik, upaya untuk mengatasi gangguan dapat dilakukan dengan cara :

1. Mengurangi terjadinya gangguan

- Memakai peralatan yang memenuhi standar.
- Penentuan spesifikasi yang tahan terhadap kondisi kerja normal/gangguan.
- Penggunaan kawat tanah pada saluran udara dan tahanan kakitang yang rendah pada SUTT/SUTET.
- Penebangan pohon-pohon yang dekat dengan saluran.



2. Mengurangi akibat gangguan

- Mengurangi besarnya arus gangguan, dapat dilakukan dengan cara menghindari konsentrasi pembangkit di satu lokasi dan menggunakan tahanan pentanahan netral.
- Penggunaan *lightning arrester* dan koordinasi isolasi.
- Melepaskan bagian terganggu : PMT dan Rele.
- *Pole Load Shedding*.
- Mempersempit daerah pengamanan.
 - a. Mengguankan jenis Rele yang tepat dan koordinasi rele.
 - b. Penggunaan saluran ganda (*double feeder*)
 - c. Penggunaan sistem loop.
 - d. Penggunaan *Automatic Reclosing/Sectionalize*.^[6]

2.8.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Dalam perhitungan arus hubung singkat harus terlebih dahulu mengetahui nilai impedansi total pada sistem / jaringan tersebut. Beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk menentukan impedansi gangguan antara lain :

1. Menghitung impedansi sumber

- Perhitungan Impedansi sumber urutan nol dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Z_1 = \frac{KV_2^2}{MVA} \dots\dots\dots(2.10)$$

- Jika nilai impedansi sumber sudah diketahui dalam satuan ohm (Ω), maka impedansi sumber dalam satuan per unit dapat dihitung dengan menentukan base sumber terlebih dahulu. Atau dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Z_2 = \frac{KV_2^2}{KV_1^2} \times Z_1 \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

Z_1 = Impedansi trafo lama / impedansi urutan nol (Ohm)

Z_2 = Impedansi trafo baru / impedansi urutan positif (Ohm)



KV_1^2 = Tegangan base dekat sumber (KV)

KV_2^2 = Tegangan base dekat trafo (KV)

MVA = Daya (MVA)

2. Menghitung impedansi pada transformator tenaga di gardu induk

Nilai impedansi pada transformator dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Z_{1T} = Z_{2T} = j \frac{MVAbase}{MVAtrafo} \times \frac{KVtrafo}{KVbase} \times X\% \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

Z_{1T} = Impedansi urutan Positif transformator (Ω)

Z_{2T} = Impedansi urutan negatif transformator (Ω)

X = Impedansi trafo (pu)

3. Menghitung reaktansi pada transformator tenaga di gardu induk

- Perhitungan reaktansi trafo urutan positif dan negatif, dihitung dengan menggunakan rumus :

$$X_{1T} = X_{2T}$$

$$Z_T = \frac{KV^2}{MVA} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$X_{1T} = \text{Impedansi trafo \%} \times Z_T$$

Pada perhitungan X_{1T} persentase perhitungan sesuai dengan persentase impedansi pada trafo, berdasarkan data GI Bungaran, impedansi adalah 9,61%.

Untuk impedansi dan reaktansi urutan nol pada transformator perlu diperhatikan ada tidaknya belitan delta dengan syarat sebagai berikut :

- Jika kapasitas Δ sama dengan kapasitas Y, maka berlaku nilai $Z_{0T} = Z_{1T}$ dan $X_{0T} = Z_{1T}$
- Jika pada transformator mempunyai hubungan Y - Δ maka terdapat belitan Δ dengan kapasitas 3x kapasitas (sekunder), sehingga $Z_{0T} = 3 \times Z_{1T}$ dan $X_{0T} = 3 \times Z_{1T}$
- Jika pada transformator mempunyai hubungan Y – Y tanpa belitan Δ didalamnya sehingga $Z_{0T} = 10 \times Z_{1T}$ dan $X_{0T} = 10 \times X_{1T}$.



Dimana :

Z_T = Impedansi dasar pada trafo sebenarnya (100%) untuk sisi 20 Kv
(Ohm)

X_{1T} = Reaktansi trafo untuk urutan positif/negatif (Ohm)

X_{T0} = Reaktansi trafo untuk urutan nol (Ohm)

4. Menghitung impedansi penyulang (*feeder*)

Impedansi penyulang tergantung pada luas penampang kabel yang digunakan, panjang saluran, dan bahan yang digunakan (lihat pada lampiran untuk nilai impedansi dengan jenis penghantar yang berbeda).

Impedansi urutan positif dan negatif pada penyulang dalam study hubung singkat mempunyai nilai yang sama besar $Z_{1L} = Z_{2L}$.

- Secara umum impedansi penyulang dapat dihitung menggunakan rumus :

$$Z_L = \text{panjang saluran (L)} \times Z \text{ per km} \dots\dots\dots(2.14)$$

- Perhitungan impedansi penyulang urutan positif dan negatif dapat dihitung menggunakan rumus :

$$Z_{1L} = Z_{2L} = \text{lokasi (\%)} \times L \times Z_1 \text{ per Km} \dots\dots\dots(2.15)$$

- Perhitungan impedansi penyulang urutan nol dapat dihitung menggunakan rumus :

$$Z_{0L} = Z_{2L} = \text{lokasi (\%)} \times L \times Z_0 \text{ per Km} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

Z_{1L} = Impedansi penyulang urutan positif (Ohm)

Z_{2L} = Impedansi penyulang urutan negatif (Ohm)

Z_{0L} = Impedansi penyulang urutan nol (Ohm)

Lokasi = Titik penentuan berdasarkan panjang jaringan (%)

L = Panjang jaringan (Km)

Z_1 per Km = Impedansi jaringan urutan positif

Z_0 per Km = Impedansi jaringan urutan nol

Jika nilai impedansi sumber, impedansi transformator, dan impedansi penyulang telah didapat, maka setiap nilai impedansi urutan dijumlahkan untuk mendapatkan impedansi ekivalen urutan.

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{1S} + Z_{1T} + Z_{1L} \dots\dots\dots(2.17)$$



Sedangkan untuk impedansi ekivalen urutan nol perlu dipertimbangkan besarnya tahanan pentanahan (R_n), sehingga didapat :

$$Z_{0eq} = Z_{0S} + Z_{0T} + 3R_n + Z_{0L} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

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

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

Z_{1S} = Impedansi sumber urutan positif (Ohm)

Z_{1T} = Impedansi trafo urutan positif (Ohm)

R_n = Tahanan Netral (Ohm) ^{[2][12]}

2.8.4 Sistem Satuan Per Unit^[7]

Satuan per unit untuk setiap harga didefinisikan sebagai nilai sebenarnya yang ada dari besaran tersebut dibagi dengan nilai dasar (nilai base) yang dipilih. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\text{Sistem per unit (pu)} = \frac{\text{Nilai sebenarnya terhadap besaran yang ditinjau}}{\text{nilai dasar (base) besaran yang dipilih}} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

$$\text{Arus Base (} I_{\text{base}} \text{)} = \frac{\text{base KVA}}{\sqrt{3} \times KV_{\text{base}}} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$\text{Impedansi Base (} Z_{\text{base}} \text{)} = \frac{(KV_{\text{base}})^2}{MVA_{\text{base}}} \dots\dots\dots(2.21)$$

2.9 Pengenalan ETAP

ETAP (*Electric Transient Analysis Program*) adalah *software* yang digunakan untuk melakukan permodelan atau perencanaan dan gambaran tentang sistem kelistrikan yang ada di suatu industri atau wilayah.

Software ini sangat bermanfaat untuk melakukan berbagai analisa. Analisa yang dapat dilakukan pada ETAP yaitu :

1. *Load Flow Analysis* (Analisa Aliran Daya)

Analisa aliran daya merupakan suatu analisa aliran daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari suatu sistem pembangkit (sisi pengirim) melalui suatu saluran transmisi hingga ke beban (sisi penerima). Idealnya daya yang dikirim akan sama dengan daya yang diterima di sisi beban. Hal ini dikarenakan :



- a. Impedansi saluran transmisi
 - b. Tipe bebanyang terhubung
2. *Short Circuit Analysis* (Analisa Hubung Singkat)

Hubung singkat (short circuit) adalah suatu peristiwa terjadi hubungan bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui media (resistor/beban) yang semestinya sehingga terjadialiran arus yang tidak normal (sangat besar) yang biasa disebut arus hubung singkat. Adanya hubung singkat menghasilkan arus lebih yang umumnya jauh lebih besar dari pada arus pengenal peralatan da terjadi penurunan tegangan pada sistem tenaga listrik. Sehingga bila gangguan tidak segera dihilangkan dapat merusak peralatan pada sistem tersebut. Besarnya arus hubung singkat yang terjadi sangatlah dipengaruhi oleh jumlah pembangkit yang masuk pada sistem, letak gangguan dan jenis gangguan.
 3. *Motor Acceleration Analysis*

Masalah pada saat *starting* motor induksi yang umum menjadi perhatian adalah motor-motor induksi 3 fasa yang memiliki kapasitas yang besar. Selama periode waktu *starting*, motor pada sistem akan dianggap sebagai sebuah impedansi kecil yang terhubung dengan sebuah bus. Motor akan mengambil arus yang besar dari sistem, sekitar 6 kali arus ratingnya, dan bisa mengakibatkan *drop voltage* pada sistem serta menyebabkan gangguan pada operasi beban yang lain. Hal ini dikarenakan pada motor induksi akan terjadi lonjakan arus pada saat *starting*. Lonjakan arus ini dikarenakan kondisi motor yang masih diam pada saat di *start*. Karena motor belum bergerak, kecepatan relatif motor terhadap medan magnet putar saat start akan maksimal sehingga tegangan yang diinduksikannya akan maksimal pula dan mengakibatkan nilai arus yang mengalir akan sangat besar.
 4. *Protective Device Coordination*

Menganalisa koordinasi pengaman yang baik dan tidak salah kerja. Koordinasi pengaman yang benar dikatakan apabila kerja dari beberapa pengaman tidak merugikan atau bahkan merusak peralatan lainnya. Artinya pengaman yang lebih dekat dengan gangguan arus terlebih dahulu bekerja



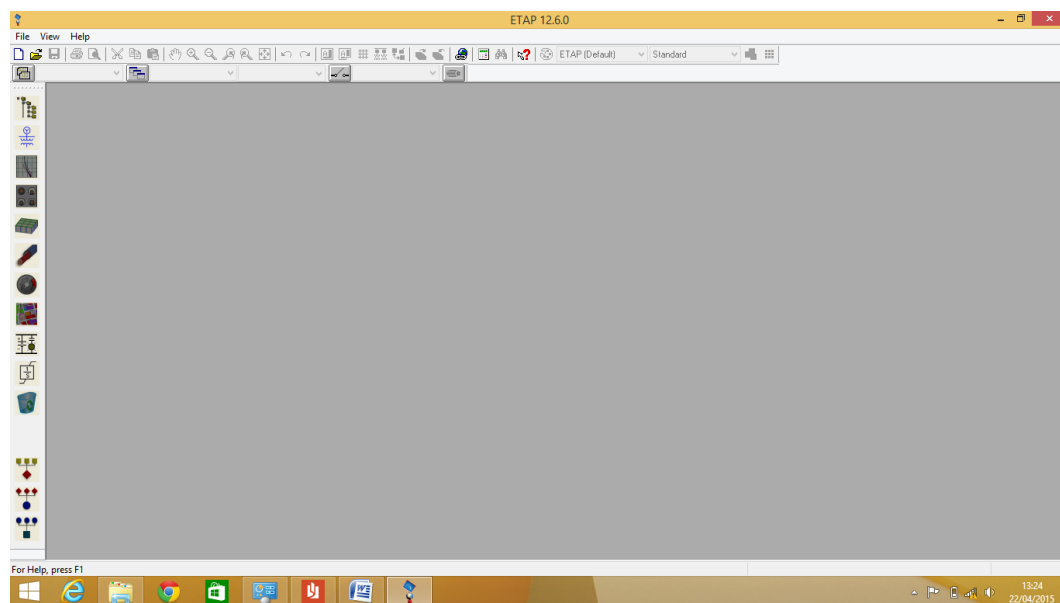
pertama kali, karena itu cara kerja yang benar dari peralatan pengaman yang terkoordinasi.

5. Dan masih banyak kegunaan/manfaat dan analisa yang dapat dilakukan menggunakan program ETAP 12.6.0 ini.

2.9.1 Memulai ETAP 12.6.0

Untuk memulai ETAP dapat dilakukan dengan cara berikut :

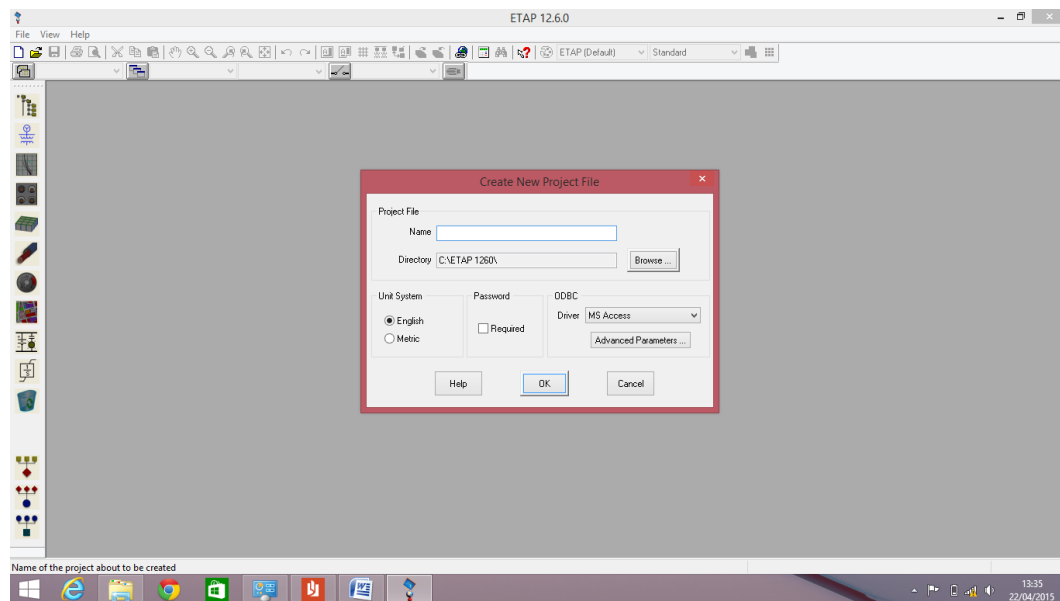
Pilih Program ETAP 12.6.0 yang terdapat pada tampilan *Desktop*



Gambar 2.12 Tampilan awal program ETAP 12.6.0

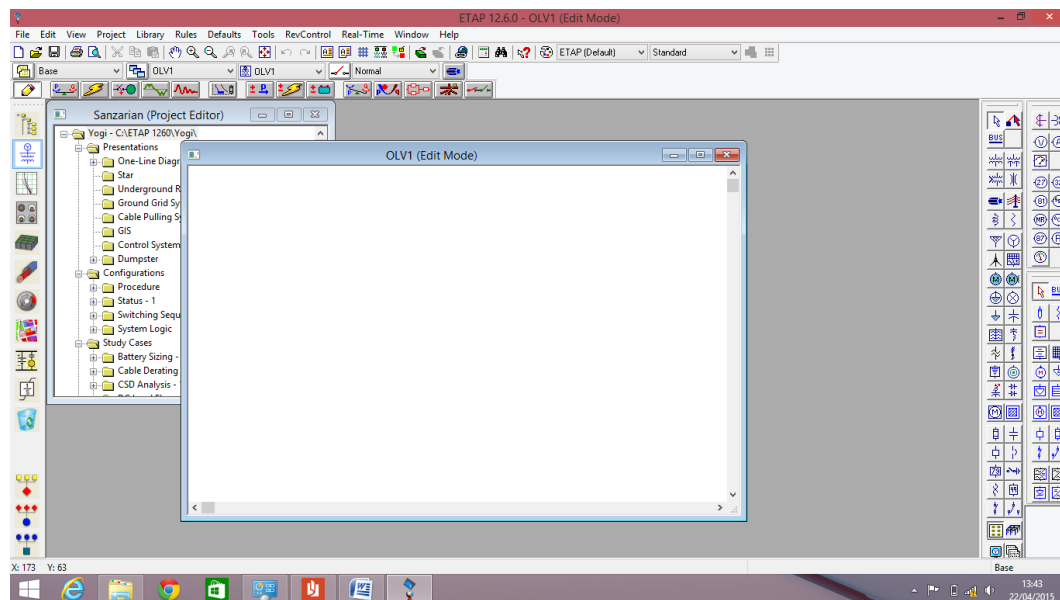


Kemudian Klik *File > New Project*, maka akan muncul :



Gambar 2.13 Tampilan perintah untuk memulai program ETAP 12.6.0

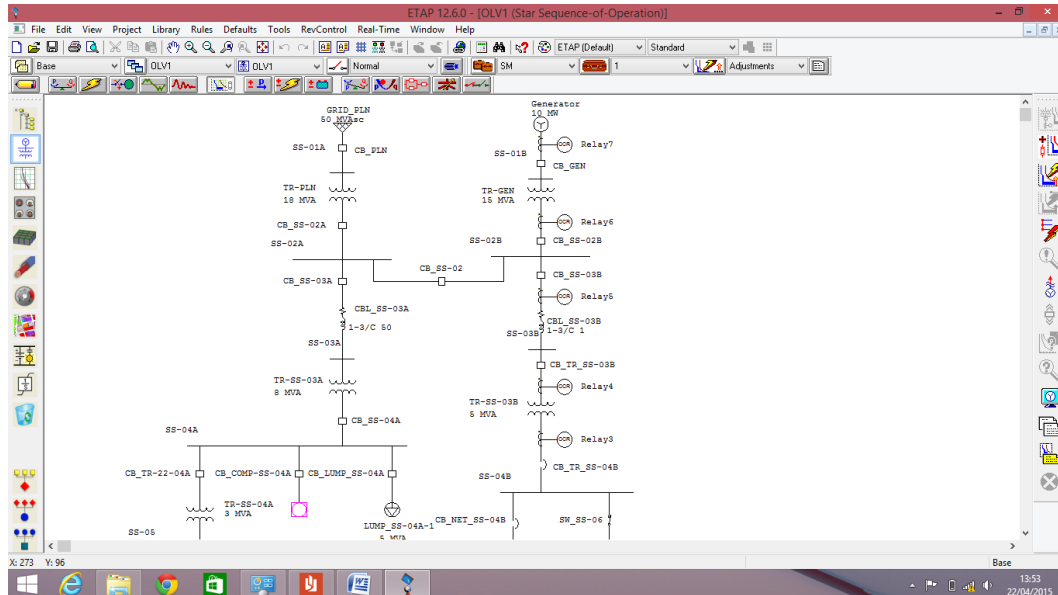
Isi Nama project, lalu klik **OK**. maka selanjutnya akan tampil seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.14 Tampilan menu utama program ETAP 12.6.0



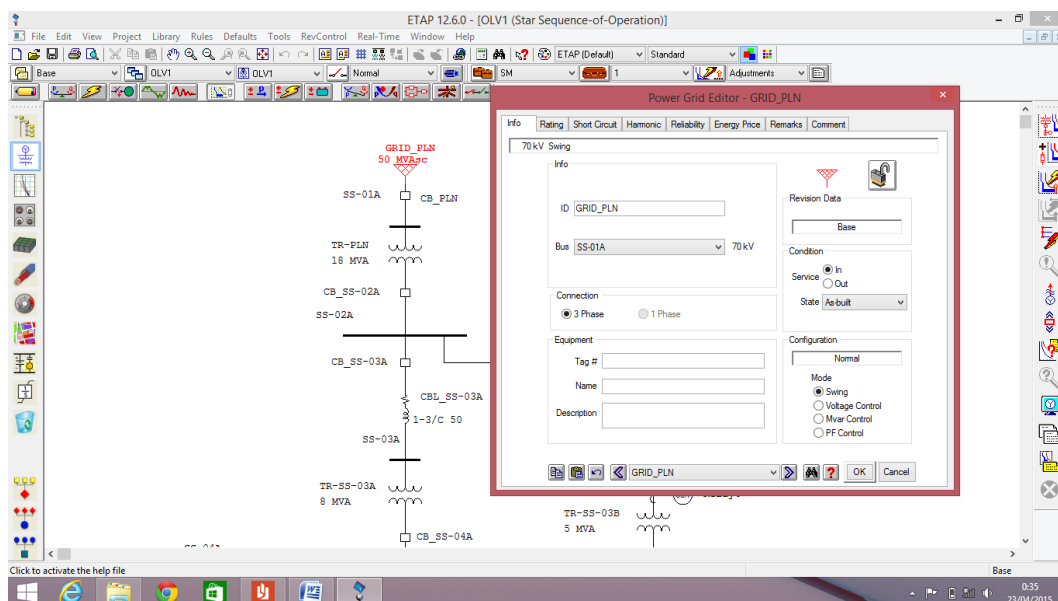
Gambar dibawah ini merupakan *screen shoot* dari *Single Line Diagram* :



Gambar 2.15 Contoh program ETAP 12.6.0 yang telah dirancang

2.9.2 Kesederhanaan Dalam Data Entry

ETAP melacak data yang rinci untuk masing-masing peralatan listrik. *Editor* data dapat mempercepat proses entri data dengan meminta data minimum untuk studi tertentu. Untuk mencapai ini, telah terstruktur *editor property* dengan cara yang paling logis untuk memasukkan data untuk berbagai jenis analisa atau disain.



Gambar 2.16 Memasukkan data pada program ETAP 12.6.0