

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengenalan ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*)

Etap merupakan software yang digunakan untuk melakukan desain/perencanaan sistem kelistrikan yang ada di suatu Industri atau Wilayah. Software ini sangat bermanfaat untuk melakukan berbagai analisa yang sangat membantu untuk mempermudah pekerjaan.

Dalam perancangan dan analisa sebuah sistem tenaga listrik, sebuah software aplikasi sangat dibutuhkan untuk merepresentasikan kondisi real sebelum sebuah sistem direalisasikan. ETAP (Electric Transient and Analysis Program) PowerStation 16.0.0 merupakan salah satu software aplikasi yang digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik.

ETAP mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, dan 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.

Analisa sistem tenaga listrik yang dapat dilakukan ETAP antara lain :

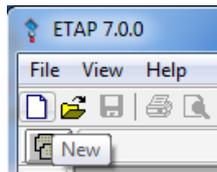
1. Analisa aliran daya
2. Analisa hubung singkat
3. Arc Flash Analysis
4. Starting motor
5. Koordinasi proteksi
6. Analisa kestabilan transien, dll.

2.2. Menjalankan ETAP 16.0.0

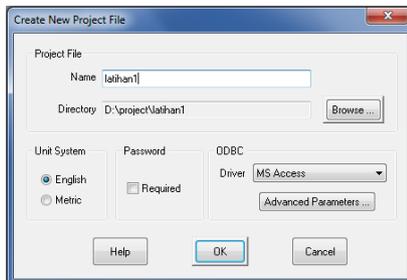
a. Klik icon ETAP



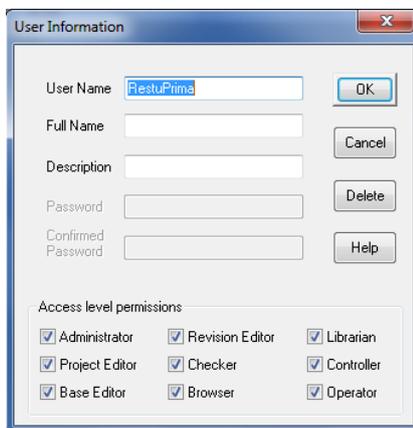
b. Klik New



c. Pilih direktori folder penyimpanan, dan beri nama file



d. Klik OK



e. Aplikasi ETAP 16.0.0 siap dijalankan.¹

¹ Lesnanto Multa P, S.T., M.Eng, Restu Prima Aridani, Modul Pelatihan ETAP (Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada, 2013), hlm. 1-3.

2.3. Perangkat Proteksi

Terdapat beberapa cara yang dapat dan sering digunakan dalam mendefinisikan perangkat proteksi sistem tenaga listrik yang secara umum adalah sebagai berikut :

1. Sistem Proteksi adalah susunan perangkat proteksi secara lengkap terdiri dari perangkat utama dan perangkat-perangkat lain yang dibutuhkan untuk melakukan fungsi tertentu berdasarkan prinsip-prinsip proteksi sesuai dengan definisi yang terdapat dalam IEC 6255-20.
2. Perangkat Proteksi adalah kumpulan atau koleksi perangkat proteksi seperti sekering, rele dan lain-lainnya diluar perangkat trafo arus perangkat pemutus tenaga yang biasa disingkat PMT, kontaktor dan lain sebagainya.
3. Skema proteksi adalah kumpulan dari perangkat proteksi yang berfungsi untuk melakukan proteksi dimana semua perangkat yang termasuk dalam sistem proteksi terlibat di dalamnya seperti rele, trafo arus, trafo tegangan, PMT, baterai dan lain sebagainya.

Pada dasarnya prinsip kerja sebuah rele proteksi dapat dilihat berdasarkan satu besaran tunggal, misalnya seperti rela arus lebih yang prinsip kerjanya hanya berdasarkan arus gangguan semata. Namun dalam rangka memenuhi keperluan proteksi efektif yang memenuhi kriteria cepat, selektif dan stabil yang dapat disetel sesuai kondisi jaringan, kondisi operasi yang berbeda-beda dan faktor lain seperti kontruksi dan sistem tenaga yang juga berbeda-beda, maka suatu rele proteksi seyogyanya dapat dibuat untuk merespons terhadap berbagai perubahan besaran listrik. Sebagai contoh, meskipun sebuah rele arus lebih dapat digunakan untuk memproteksi jaringan distribusi radial hanya berdasarkan level gangguan, namun pada jaringan tenaga listrik yang kompleks sistem proteksi tidak bisa lagi hanya mengandalkan besaran pengukuran tunggal. Untuk dapat melakukan proteksi secara efektif maka perangkat proteksi perlu mampu merespon besaran-besaran listrik lain seperti besar daya, sudut fasa, frekuensi, tegangan, ataupun impedansi jaringan yang berguna menentukan arah dan jarak gangguan. Sebagaimana diketahui, pada dasarnya besaran listrik terdiri dari bilangan-bilangan kompleks yang perlu diukur oleh elemen-elemen pengukur

suatu rele proteksi. Secara analitik besaran kompleks tersebut biasanya disajikan dalam bentuk matematika dan grafik.

Sesuai dengan perkembangan teknologi, hingga saat ini rele proteksi yang digunakan pada sistem tenaga listrik pada umumnya dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu sebagai berikut :

1. Rele elektromekanis.
2. Rele statis.
3. Rele digital .
4. Rele *numeric*.

Prinsip kerja rele-rele tersebut pada dasarnya adalah sama namun sesuai dengan teknologi yang digunakan, kemampuan dan ketelitian masing-masing rele berbeda-beda. Sebagaimana sudah disebut diatas, dalam praktiknya tidak mungkin membuat sebuah rele yang dapat berfungsi untuk mengamankan semua jenis gangguan hanya dengan menggunakan besaran tunggal. Tetapi suatu sistem proteksi yang lengkap perlu didesain dapat bekerja atas kombinasi beberapa besaran listrik. Para teknisi sistem proteksi bisa merancang sistem proteksi mereka sesuai bentuk dan jenis jaringan, kondisi operasi, jenis gangguan, sistem pentanahan dan lain sebagainya yang perlu dipelajari terlebih dahulu sehingga diperoleh sistem proteksi yang paling tepat. Terminologi dan berbagai istilah terpakai yang umum dijumpai dalam berbagai topik diskusi sistem tenaga listrik, khususnya dalam diskusi sistem proteksi dapat dilihat seperti disajikan pada Apendiks 1. Sedangkan simbol-simbol standar yang digunakan untuk menggambarkan berbagai fungsi rele dalam diagram sistem proteksi Sesuai dengan standar IEC dan IEEE/ANSI diringkas dan disajikan seperti terlihat pada Apendiks 2.²

2.4. Persyaratan Sistem Proteksi

Persyaratan desain proteksi harus dipertimbangkan untuk memastikan sistem tenaga listrik Jawa Bali dilengkapi dengan sistem proteksi yang andal. Persyaratan desain ini digunakan sebagai dasar yang harus dipenuhi pada aplikasi

² Bonar Pandjaitan ,Praktik-Praktik Sistem proteksi tenaga listrik (Yogyakarta:Andi offset, 2012),hlm. 4-6

dan pemilihan sistem proteksi dalam sistem transmisi P3B Jawa Bali, khususnya pada instalasi baru. Desain juga harus mempertimbangkan tipe peralatan atau komponen sistem tenaga listrik yang akan diproteksi.

Sistem proteksi harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

2.4.1. Sensitif

Sistem proteksi harus mampu mendeteksi sekecil apapun ketidaknormalan sistem dan beroperasi dibawah nilai minimum gangguan. Studi koordinasi sistem proteksi harus dilakukan untuk menentukan sensitivitas seting dan memastikan relai bekerja dengan benar.

2.4.2. Selektif

Sistem proteksi harus mampu menentukan daerah kerjanya dan atau fasa yang terganggu secara tepat. Peralatan dan sistem proteksi hanya memisahkan bagian dari jaringan yang sedang terganggu.

Zona proteksi harus tepat dan memadai untuk memastikan bahwa hanya bagian yang terganggu yang dipisahkan dari sistem pada saat terjadi gangguan atau kondisi abnormal.

2.4.3. Andal

Kemungkinan suatu sistem proteksi dapat bekerja benar sesuai fungsi yang diinginkan dalam kondisi dan jangka waktu tertentu (IEV 448-12-05).

Proteksi diharapkan bekerja pada saat kondisi yang diharapkan terpenuhi dan tidak boleh bekerja pada kondisi yang tidak diharapkan. (SPLN T5.002- 1: 2010)

Keandalan sistem proteksi terbagi dua yaitu :

a) Keterpercayaan (Dependability) : Derajat kepastian suatu sistem proteksi tidak mengalami gagal kerja pada kondisi yang diperlukan dalam jangka waktu tertentu. (SPLN T5 002-1 2010) Pemilihan keterpercayaan (dependability) dan keterjaminan (security) harus diperhatikan dalam desain sistem proteksi. Pemilihan keterpercayaan mempertimbangkan level tegangan sistem dan pentingnya peralatan yang diproteksi.

Keterpercayaan dapat diperoleh dan ditingkatkan dengan :

- Duplikasi proteksi utama dan/atau proteksi cadangan untuk mengantisipasi kegagalan proteksi utama.
 - Pemisahan relai proteksi utama dan proteksi cadangan secara fisik.
 - Proteksi cadangan lokal
 - Proteksi cadangan jauh
 - Pemisahan rangkaian sekunder transformator arus dan transformator tegangan untuk proteksi utama dan proteksi cadangan.
 - Pemisahan sistem power supply DC untuk proteksi utama di level tegangan 500kV.
 - Menjaga keandalan teleproteksi.
- b) Keterjaminan (Security) : Derajat kepastian suatu sistem proteksi tidak mengalami kesalahan kerja pada kondisi yang ditentukan dalam jangka waktu tertentu (IEV 448-12-06) (SPLN T5.002-1: 2010).

Elemen sistem proteksi diharapkan tidak salah kerja/ stabil pada kondisi sistem yang disyaratkan (di luar zona proteksinya).

Pemilihan keterjaminan mempertimbangkan level tegangan sistem dan pentingnya peralatan yang diproteksi. Umumnya diaplikasikan pada proteksi busbar yang mensyaratkan keterjaminan tinggi untuk mengurangi salah kerja.

2.4.4. Cepat

Elemen sistem proteksi harus mampu memberikan respon sesuai dengan kebutuhan peralatan yang dilindungi untuk meminimalisasi terjadinya gangguan meluas, lama gangguan dan gangguan pada stabilitas sistem.

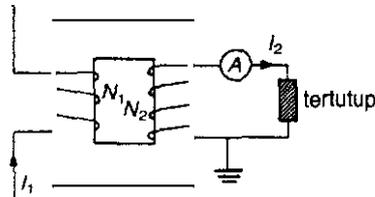
Desain sistem proteksi harus mempertimbangkan kecepatan pemutusan gangguan untuk memisahkan sumber gangguan.³

2.5. Trafo Arus.

Transformator arus digunakan untuk mengukur arus beban suatu rangkaian. Dengan menggunakan transformator arus maka arus beban yang

³ Karyono, dkk. Pedoman dan petunjuk sistem proteksi transmisi dan gardu induk jawab bali edisi pertama (Jakarta :PT.PLN Persero, 2013), hlm. 8-11.

besar dapat diukur hanya dengan menggunakan alat ukur (ammeter) yang tidak terlalu besar.



Gambar 2.1 Rangkaian Trafo Arus

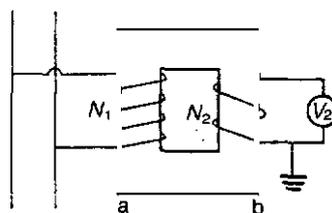
Dengan mengetahui perbandingan transformasi N_1/N_2 dan pembacaan ammeter (I_2) arus beban (I_1) dapat dihitung. Bila transformator dianggap ideal maka arus beban: $I_1 = N_2/N_1 \times I_2$

Untuk menjaga agar fluks (ϕ) tetap tidak berubah, maka perlu diperhatikan agar rangkaian sekunder selalu tertutup. Dalam keadaan rangkaian sekunder terbuka, I_2 akan sama dengan nol (karena I_2 sehingga fluks normal (ϕ) akan terganggu).

2.6. Trafo Tegangan.

Transformator tegangan digunakan untuk mengukur tegangan. Dengan mengetahui N_1 , N_2 , dan V_2 , membaca tegangan V_1 , serta menganggap transformator ideal maka tegangan V_1 adalah :

$$V_1 = N_1/N_2 \cdot V_2$$



Gambar 2.2 Rangkaian Trafo tegangan

Pentanahan rangkaian sekund diperlukan untuk mencegah adanya beda potensial yang besar antara kumparan primer dan sekunder (antara titik a dan b)

pada saat isolasi kumparan primer rusak.⁴

2.7. Proteksi Sistem Tenaga Listrik.

Yang dimaksud dengan proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dilakukan kepada peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada suatu sistem tenaga misalnya generator, transformator jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi tidak normal operasi sistem itu sendiri.

Pengertian proteksi transmisi tenaga listrik adalah proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik pada suatu transmisi tenaga listrik sehingga proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (Power Plant) hingga Saluran distribusi listrik (substation distribution) dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik dengan aman. Proteksi transmisi tenaga listrik diterapkan pada transmisi tenaga listrik agar jika terjadi gangguan peralatan yang berhubungan dengan transmisi tenaga listrik tidak mengalami kerusakan. Ini juga termasuk saat terjadi perawatan dalam kondisi menyala. Jika proteksi bekerja dengan baik, maka pekerja dapat melakukan pemeliharaan transmisi tenaga listrik dalam kondisi bertegangan. Jika saat melakukan pemeliharaan tersebut terjadi gangguan, maka pengaman-pengaman yang terpasang harus bekerja demi mengamankan sistem dan manusia yang sedang melakukan perawatan. Kondisi tidak normal itu dapat berupa antara lain:

- Hubung singkat,
- Tegangan lebih,
- Beban lebih,
- Frekuensi sistem rendah,
- Asinkron
- Dan lain lain.

Proteksi berfungsi sebagai berikut,

⁴ Zuhal, Dasar teknik tenaga listrik dan elektronika daya (Jakarta: Gramedia Pustaka utama, 2000), hlm. 61-62

1. Untuk menghindari ataupun untuk mengurangi kerusakan peralatan-peralatan akibat gangguan (kondisi abnormal operasi sistem). Semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang digunakan maka akan semakin sedikitlah pengaruh gangguan kepada kemungkinan kerusakan alat.
2. Untuk cepat melokalisir luas daerah terganggu menjadi sekecil mungkin.
3. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumsi dan juga mutu listrik yang baik.
4. Untuk mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

Pengetahuan mengenai arus-arus yang timbul dari pelbagai tipe gangguan pada suatu lokasi merupakan hal yang sangat esensial bagi pengoperasian sistem proteksi secara efektif. Jika terjadi gangguan pada sistem, para operator yang merasakan adanya gangguan tersebut diharapkan segera dapat mengoperasikan circuit-circuit yang tepat untuk mengeluarkan sistem yang terganggu atau memisahkan pembangkit dari jaringan yang terganggu. Sangat sulit bagi seorang operator untuk mengawasi gangguan-gangguan yang mungkin terjadi dan menentukan CB mana yang diperoperasikan untuk mengisolir gangguan tersebut secara manual.

Mengingat arus gangguan yang cukup besar, maka perlu secepat mungkin dilakukan proteksi. Hal ini perlu suatu peralatan yang digunakan untuk mendeteksi keadaan-keadaan yang tidak normal tersebut dan selanjutnya menginstruksikan circuit-circuit yang tepat untuk bekerja memutuskan rangkaian. Peralatan tersebut kita kenal dengan relay.

Ringkasnya proteksi dan tripping otomatis circuit-circuit yang sehubungan mempunyai dua fungsi pokok :

1. Mengisolir peralatan yang terganggu agar bagian-bagian yang lainnya tetap beroperasi seperti biasa.
2. Membatasi kerusakan peralatan akibat panas lebih (over heating), pengaruh gaya-gaya mekanik dst.

Koordinasi antara relay dan circuit breaker (CB) dalam mengamati dan memutuskan gangguan disebut sebagai sistem proteksi. Banyak hal yang harus dipertimbangkan dalam mempertahankan arus kerja maksimum yang aman. Jika arus kerja bertambah melampaui batas aman yang ditentukan dan tidak ada proteksi atau jika proteksi tidak memadai atau tidak efektif, maka keadaan tidak normal dan akan mengakibatkan kerusakan isolasi.

Pertambahan arus yang berlebihan menyebabkan rugi-rugi daya pada konduktor akan berlebihan pula. Perlu diingat bahwa pengaruh pemanasan adalah sebanding dengan kwadrat dari arus :

$$H = I^2 R t \text{ joules}$$

di mana :

H = panas yang dihasilkan (Joule)

I = arus konduktor (ampere)

R = tahanan konduktor (ohm)

t = waktu atau lamanya arus yang mengalir (detik)

Proteksi harus sanggup menghentikan arus gangguan sebelum arus tersebut naik mencapai harga yang berbahaya. Proteksi dapat dilakukan dengan Sekering atau Circuit Breaker. Proteksi juga harus sanggup menghilangkan gangguan tanpa merusak peralatan proteksi itu sendiri. Untuk ini pemilihan peralatan proteksi harus sesuai dengan kapasitas arus hubung singkat “breaking capacity” atau Repturing Capacity. Di samping itu proteksi yang diperlukan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Sekering atau circuit breaker harus sanggup dilalui arus nominal secara terus menerus tanpa pemanasan yang berlebihan (overheating).
2. Overload yang kecil pada selang waktu yang pendek seharusnya tidak menyebabkan peralatan bekerja
3. Proteksi harus bekerja walaupun pada overload yang kecil tetapi cukup lama sehingga dapat menyebabkan overheating pada rangkaian penghantar.

4. Proteksi harus membuka rangkaian sebelum kerusakan yang disebabkan oleh arus gangguan yang dapat terjadi.
5. Proteksi harus dapat melakukan “pemisahan” (discriminative) hanya pada rangkaian yang terganggu yang dipisahkan dari rangkaian yang lain yang tetap beroperasi.

Proteksi overload dikembangkan jika dalam semua hal rangkaian listrik diputuskan sebelum terjadi overheating. Jadi disini overload action relatif lebih lama dan mempunyai fungsi inverse terhadap kwadrat dari arus.

Proteksi gangguan hubung singkat dikembangkan jika action dari sekering atau circuit breaker cukup cepat untuk membuka rangkaian sebelum arus dapat mencapai harga yang dapat merusak akibat overheating, arcing atau ketegangan mekanik.⁵

2.8. Rele Arus Lebih

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 sebagai pola pengamanan arus lebih.

2.8.1. Keuntungan dan Fungsi Rele Arus Lebih

- Sederhana dan murah
- Mudah Penyetelannya.
- Merupakan Rele Pengaman utama dan cadangan.
- Mengamankan gangguan hubung singkat antar fasa maupun hubung singkat satu fasa ke tanah dan dalam beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih (*Overload*).
- Pengamanan utama pada jaringan distribusi dan sub transmisi radial.
- Pengaman cadangan untuk generator trafo, tenaga dan saluran transmisi.

⁵Drs. F.J. Tasiyam, M.Pd. , Proteksi sistem tenaga listrik (Yogyakarta : TEKNOSAIN, 2017),hlm.12-15

2.8.2. Prinsip Kerjanya.

- Elektro Mekanis
- Statik

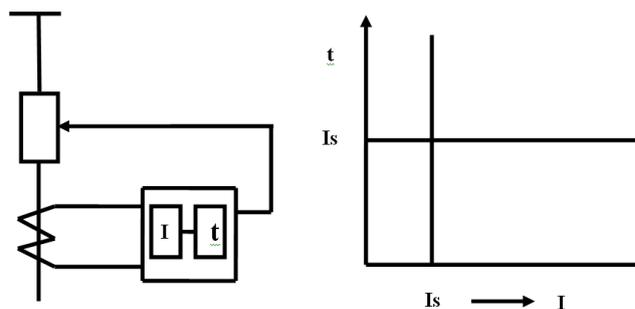
2.8.3. Karakteristik Waktu Kerjanya.

a) Rele Arus Lebih Seketika (*moment*)

Rele Arus lebih dengan karakteristik waktu kerja seketika (*moment*) ialah jika jangka waktu rele mulai saat rele arusnya pick up sampai selesainya kerja rele sangat singkat (20 – 100 ms), yaitu tanpa penundaan waktu. Rele ini umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time*) atau waktu terbalik (*inverse time*) dan hanya dalam beberapa hal berdiri sendiri secara khusus.

b) Rele Arus Lebih Dengan Waktu Karakteristik Waktu Tertentu (*Definite Time*).

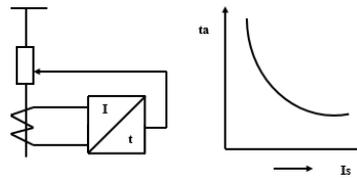
Rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu ialah jika jangka waktu rele mulai rele arus pick up sampai selesainya kerja rele diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang menggerakkan.



Gambar 2.3. Karakteristik Rele Arus Lebih *Definite Time*

c) Rele Arus Lebih Dengan Karakteristik Waktu Terbalik (*Inverse Time*).

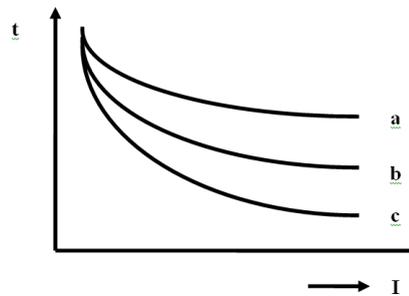
Rele dengan karakteristik waktu terbalik adalah jika jangka waktu mulai rele arus pick up sampai selesainya kerja rele diperpanjang dengan besarnya nilai yang berbanding terbalik dengan arus yang menggerakkan.



Gambar 2.4. Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik.

Bentuk Perbandingan terbalik dari waktu arus ini sangat bermacam-macam tetapi dapat digolongkan menjadi :

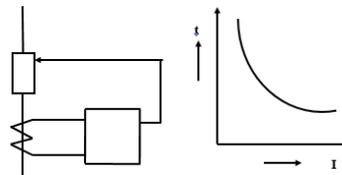
1. Berbanding terbalik (*inverse*).
2. Sangat berbanding terbalik (*very inverse*).
3. Sangat berbanding terbalik sekali (*extremely inverse*).



Gambar 2.5. Kurva Arus dan Waktu

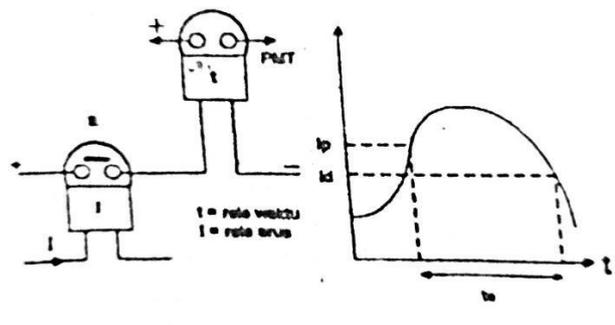
d) Rele Arus Lebih *Inverse Definite Minimum Time*.

Rele arus lebih dengan karakteristik *inverse definite minimum time (IDMT)* ialah jangka waktu rele arus mulai *pick up* sampai selesainya kerja rele mempunyai sifat waktu tertentu untuk nilai arus yang lebih besar.



Gambar 2.6. Karakteristik Rele Arus Lebih IDMT

Rele arus lebih dengan karakteristik waktu arus tertentu berbanding terbalik dan IDMT dapat dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik seketika.



Gambar 2.7. Arus *Pick Up* dan arus *drop off*

I_p = Nilai arus dimana rele arus akan bekerja dan menutup kontak a sehingga rele waktu bekerja, ini sering disebut arus kerja atau arus *pick up* (I_p).

I_d = Nilai arus dimana rele arus berhenti bekerja dan kontak a membuka kembali, sehingga rele waktu berhenti bekerja, I_d sering disebut arus kembali atau arus *drop off*.

Bila $t_a > t_{setting}$ maka rele arus lebih dinyatakan tidak bekerja, sedang bila $t_a < t$ rele arus lebih dinyatakan bekerja.

Perbandingan arus kembali dengan arus *pick up* sering dinyatakan dengan K_d atau

$$K_d = \frac{I_d}{I_p}$$

K_d untuk rele arus lebih dengan karakteristik **Waktu tertentu** mempunyai nilai 0,7 – 0,9. Untuk rele arus lebih dengan dengan karakteristik waktu terbalik mempunyai nilai =1,0

2.8.4. Prinsip Dasar Perhitungan penyetelan Arus (I_s)

- a) Batas penyetelan minimum rele arus lebih tidak boleh bekerja pada saat terjadi beban maksimum.

$$I_s = \frac{K_{fk}}{K_d} \times I_{max}$$

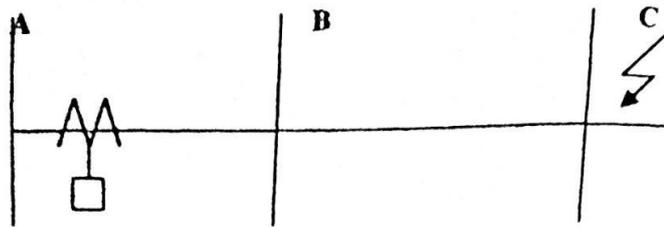
Dimana: I_s = Penyetelan arus

K_{fk} = Faktor keamanan 1,1 -1,2

K_d = Faktor Arus kembali

I_{max} =Arus maksimum yang di izinkan untuk alat diamankan, pada peralatan umumnya diambil arus nominalnya.

- b) Batas penyetelan maksimum rele arus lebih harus lebih dulu bekerja bila terjadi gangguan hubung singkat pada rel seksi berikutnya.



Gambar 2.8. Gangguan hubung singkat

Hal ini supaya rele di A dapat sebagai pengaman utama seksi AB tetapi sebagai pengaman cadangan seksi berikutnya (seksi BC). Arus hubungan singkat I_{hs} dipilih pada saat pembangkitan minimum dan gangguan hubung singkat dua fasa. Untuk rele arus lebih sebagai pengaman gangguan antar fasa. Untuk rele arus lebih gangguan satu fasa ke tanah ditinjau tersendiri.

Batasan penyetelan maksimum ialah :

$$I_s \leq I_{hs} \cdot 2 \text{ fasa pada pembangkitan minimum}$$

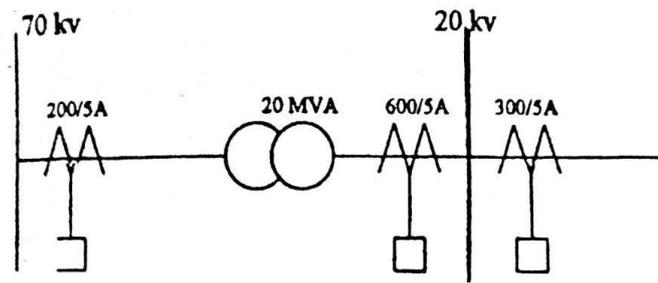
2.8.5. Cara Penyetelan Arus

- a) Rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu penyetelan arus : I_s
 $I_s = K \cdot I_n$

K dapat 0,6 -1,4 atau 1,0 -2,0 tergantung dari pabrik. I dapat merupakan dua nilai yang merupakan kelipatannya.

Misal: 2,5 A atau 5 A, 1 A atau 2 A dst.

- b) Rele arus lebih dengan waktu-arus terbalik penyetelan arus (I_s), langsung dalam amper.



Gambar 2.9. contoh sistem proteksi

2.8.6. Prinsip Dasar Perhitungan Penyetelan Waktu

Penyetelan arus pada rele arus lebih pada umumnya didasarkan pada umumnya di dasarkan pada penyetelan batas minimumnya, dengan demikian adanya gangguan hubung singkat di beberapa saksi berikutnya rele arusnya akan bekerja. Untuk mendapatkan pengaman yang selektif maka penyetelannya waktunya akan dibuat bertingkat.

Pada penyetelannya rele arus lebih harus dipenuhi persyaratan pengaman yang baik yaitu pengaman secara keseluruhan harus bekerja secepat mungkin tetapi harus selektif

2.8.7. Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Karena pada penyetelan arus pada umumnya didasarkan pada batas minimum, maka adanya gangguan di F terdapat kemungkinan.

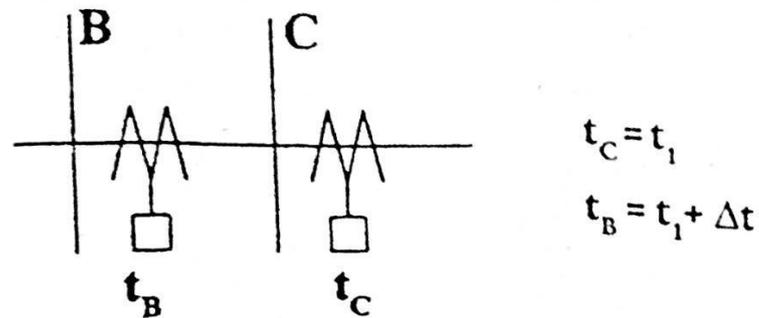
$$I_f \text{ di F} > I_p \text{ di A} > I_p \text{ di B} > I_p \text{ di C}$$

Dengan demikian rele di A,B,C akan *pick up*.

Untuk mendapatkan pengaman yang selektif maka :

$$T_A > T_B > T_C$$

Karena pada rele arus lebih dengan karakteristik arus waktu tertentu, waktu kerjanya tidak dipengaruhi oleh besarnya arus, maka untuk mendapatkan pengaman yang baik, yang pentin menentukan beda waktu (tingkat waktu, Δt) antara dua tingkat pengaman supaya pengaman selektif tetapi waktu keseluruhannya tetap singkat.



Gambar 2.10. Tingkat waktu antara 2 pengaman

Hal- hal yang mempengaruhi Δt

- Kesalahan rele waktu di C dan B $\rightarrow 0,2 dt$
- Waktu pembukaan PMT sampai hilangnya bunga api 0,06 – 0,14 dt.
- Faktor keamanan : 0,05 dt.
- Kelambatan rele arus lebih pembantu dan arus travel : 0,005 dt.

Sampai sejauh ini, rele-rele proteksi yang paling umum digunakan adalah rele arus lebih dengan arus – waktu dan rele arus lebih seketika (*instantaneous*). Mereka digunakan baik sebagai alat proteksi primer maupun *back up* dan dipakai pada setiap daerah (*zone*) proteksi didalam sistem.

Rele arus lebih dengan arus- waktu, dipilih untuk memberikan karakteristik *time-delay tripping* yang di inginkan terhadap arus yang di aplikasikan, sedangkan rele arus lebih *instantaneous* dipilih untuk memberikan *high-speed tripping* (0,5- 2 cycles).⁶

2.9. Cara Menghitung Tegangan dan Arus pada Titik Gangguan

Bila terjadi hubung-singkat atau kawat putus pada saluran transmisi, maka tegangan dan arus pada waktu gangguan terjadi dihitung dengan rangkaian impedansi komponen simetris sebelum terjadi gangguan tersebut. Bila impedansi komponen -komponen adalah Z_1 , Z_2 , dan Z_0 , arus gangguan adalah I_{1f} , I_{2f} dan I_{0f} ,

⁶Ir.H.Hazairin samaulah,M.Eng.,Ph.D, Dasar-dasar sistem proteksi tenaga listrik (Palembang:Unsri,2004). Hal. 53 – 64

tegangan gangguan adalah E_{1f} , E_{2f} dan E_{0f} , serta tegangan fasa sebelum gangguan E_{a1} adalah E_{or} , maka tegangan dan arus komponen simetris dinyatakan oleh rumus-rumus seperti tertera dibawah ini:

(a) Hubung singkat tiga fasa

$$i_{1f} = i_f = \frac{E_{a1}}{Z_1} \dots \dots \dots (2.1)$$

(b) Hubung singkat satu fasa ke tanah

$$i_{1f} = i_{2f} = i_{0f} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$i_f = i_{1f} + i_{2f} + i_{0f} = 3 i_{0f}$$

$$i_{1f} = E_{a1} - i_{1f} Z_1 = E_{a1} \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$i_{2f} = -i_{2f} Z_2 = -\frac{E_{a1} Z_2}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$i_{0f} = -i_{0f} Z_0 = -\frac{E_{a1} Z_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

(c) Hubung singkat dua fasa

$$i_{1f} = -i_{2f} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_2} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$i_f = \sqrt{3} i_{1f}$$

$$E_{1f} = E_{a1} - i_{1f} Z_1 = \frac{E_{a1} Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

(d) Hubung singkat dua fasa ke tanah

$$i_{1f} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_2 Z_0 / (Z_2 + Z_0)} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$i_{1f} = \frac{E_{a1} (Z_2 + Z_0)}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

$$i_{2f} = -\frac{Z_0}{Z_2 + Z_0} i_{1f}$$

$$= \frac{Z_2 - Z_0 E_{a1}}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

$$i_{0f} = -\frac{Z_2}{Z_2 + Z_0} i_{1f}$$

$$= \frac{-Z_0 E_{a1}}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

$$i_f = E_{a1} - i_{1f} Z_1$$

$$= \frac{Z_2 Z_0 E_{a1}}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

$$E_{2f} - i_{2f} Z_2 \frac{Z_2 Z_0 E_{a1}}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}$$

$$E_{2f} - i_{2f} Z_2 \frac{Z_2 Z_0 E_{a1}}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0}^7$$

⁷ Dr.A.Aris Munandar ,DR.S Kuwahara, Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid II (Jakarta : PT PRADNYA PARAMITA),hlm.72-73

