

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Antonius Hamdadi, Fikriansyah (2014), mahasiswa Univeritas Lampung dengan penelitiannya yang berjudul "Analisa dan Pengaturan Ulang *Relay* Jarak Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 KV Keramasan - Bukit asam. Dalam jurnal ini dilakukan analisa penyetingan *relay* jarak pada SUTT 150KV Keramasan - Bukit Asam. Dalam jurnal ini dipilih SUTT Keramasan – Bukit Asam dengan jalur mulai dari GI Keramasan menuju GI Simpang Tiga dan menuju GI Prabumulih. Jurnal ini menganalisa impedansi zona 1,2,3 dan rasio CT, PT masing – masing GI tersebut.

Dalam analisisnya didapatkan hasil dari perhitungan berdasar data yang telah didapatkannya selama melakukan penelitian. Hasil yang didapatkan dengan analisa perhitungan seting zona 1, 2, dan 3 dengan data yang ada tidaklah berbeda jauh dengan nilai seting *relay* jarak yang sudah ada pada SUTT 150 KV Keramasan – Bukit Asam. Kemudian seting waktu zona 1, dan 2 yang didapat melalui hasil perhitungan dengan nilai seting yang sudah ada pada SUTT 150 KV Keramasan – Bukit Asam telah sesuai dengan standar seting waktu yang telah ditentukan untuk *relay* jarak.

Ooid Zuhdi Mu'tashim (2017), dengan penelitiannya yang berjudul "analisa penggunaan *relay* jarak pada sistem transmisi Gardu Induk 150 KV Jajar ke Gardu Induk 150 KV Banyudono. Dalam penelitiannya Ooid melakukan perhitungan impedansi pada zona 1, 2, dan 3 dengan data yang telah didapatkan selama penelitian. Dalam penelitiannya beliau juga menghitung arus dan tegangan gangguan pada sistem transmisi, serta menentukan letak gangguan. Setelah dilakukan perhitungan tentang nilai impedansi zona 1, 2, 3, perhitungan arus dan tegangan gangguan serta perhitungan menentukan letak gangguan didapatkanlah hasil penelitian.

Hasil yang didapatkan setelah dilakukannya perhitungan dan analisis adalah merupakan kesimpulan. Dimana kesimpulan dalam penelitiannya adalah nilai impedansi kabel SUTT akan semakin besar bila panjang penghantar semakin panjang, *relay* jarak bekerja sesuai dengan normal dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Nilai impedansi zona 1, 2, 3 hasil perhitungan dengan nilai seting yang ada tidaklah berbeda jauh. Sehingga dikatakan bahwa seting yang ada sudah baik.

Berkat Surya Putra Hia, Jaka Windarta, dan Mochammad Facta, dengan penelitiannya yang berjudul analisis seting dan koordinasi *relay* jarak pada saluran 150 KV Tanjung Jati – Kudus. Dalam penelitiannya mereka menganalisis seting relay dan koordinasi relay GI Tanjung Jati menuju GI Jepara menuju GI Kudus. Masing – masing GI diambil data seting *relay*, data impedansi saluran, panjang saluran dan data kawat penghantar yang digunakan. dari data yang didapatkan selama penelitian kemudian mereka mengitung dan menganalisisnya.

Dari hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa koordinasi *relay* jarak tidak terjadi *overlapping*, nilai jangkauan *relay* jarak Tanjung Jati arah Jepara arah Kudus zona 1, 2, dan 3 telah sesuai dengan referensi standar yaitu IEEE dan NPAG Alstom. Nilai jangkauan zona 1, 2, dan 3 *relay* jarak Kudus arah Jepara dan nilai jangkauan zona 1, 2, dan 3 pada *relay* jarak Jepara arah Tanjung Jati nilai jangkauan zona 1 dan 2 telah memenuhi referensi standar yaitu IEEE dan NPAG Alstom, tetapi untuk zona 1 belum memenuhi referensi standar. Nilai jangkauan zona 1 *relay* jarak Kudus arah Jeapra dan *relay* jarak Jepara arah Tanjung Jati jadi berubah setelah dilakukan penyetingan ulang. Hasil setelah dilakukan seting ulang pada zona 1 *relay* jarak Kudus arah Jepara menjadi 85.06% dari nilai 71,09% dan nilai *relay* jarak Jepara arah Tanjung Jati menjadi 85,2 dari nilai 79,98%.

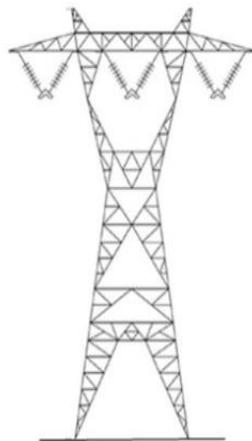
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Saluran Transmisi

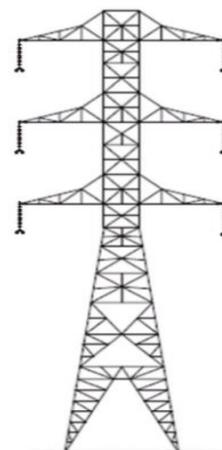
Adalah sistem yang menyalurkan tenaga listrik dengan skala yang besar dari sistem pembangkitan (*power plant*) ke sistem distribusi (*substation distribution*) melalui saluran udara. Saluran transmisi memiliki komponen utama, yakni:

- Menara transmisi atau tiang transmisi

Adalah bangunan yang menopang saluran transmisi, bangunan tersebut berupa menara baja. Menara transmisi ada dua jenis, yaitu menara transmisi jenis tunggal dan menara transmisi jenis ganda. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



Tiang transmisi jenis tunggal

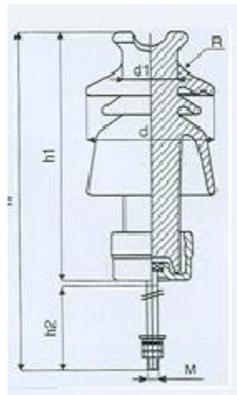


Tiang transmisi jenis ganda

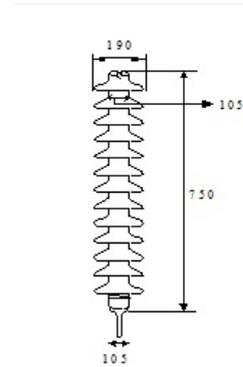
Gambar 2.1 Menara transmisi

- Isolator-isolator

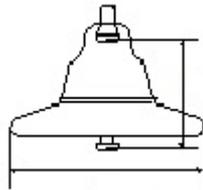
Jenis isolator yang digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselin. Dalam penggunaan dan konstruksinya dikenal tiga jenis isolator, yakni isolator jenis pasak, isolator jenis pos saluran, dan isolator gantung. Untuk gambar masing-masing isolator dapat dilihat dibawah:



Isolator pasak



Isolator pos tunggal



Isolator gantung

Gambar 2.2 Macam-macam isolator porselin

- Kawat penghantar (*conductor*)

Jenis-jenis kawat penghantar yang digunakan pada saluran transmisi adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (Cu 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5% (Cu 97,5%) dan aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%). Untuk kawat aluminium terdiri dari berbagai jenis dengan lambang sebagai berikut:

- AAC (*All-Alluminium Conductor*), adalah kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
- AAAC (*All-Alluminium-Alloy Conductor*), adalah kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
- ACSR (*All Conductor, Steel Reinforced*), adalah kawat penghantar aluminium yang berinti kawat baja.

- ACAR (*All Conductor, Alloy Reinforced*), adalah kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

Kawat penghantar tembaga memiliki kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium, karena konduktivitasnya lebih tinggi. Kawat penghantar tembaga juga memiliki kelemahan yakni untuk ukuran besar kawat yang sama, kawat penghantar tembaga lebih berat dibandingkan kawat penghantar aluminium. Selain itu kawat penghantar tembaga juga lebih mahal dibandingkan kawat penghantar aluminium. Hal inilah yang mendasari penggunaan kawat penghantar aluminium pada saluran transmisi.

Untuk memperkuat daya tarik dari kawat penghantar aluminium maka digunakan campuran kawat aluminium (*Aluminium Alloy*). Untuk saluran transmisi dengan tegangan tinggi yang jarak antar tiang menara mencapai ratusan meter maka dibutuhkan kawat penghantar dengan daya tarik yang lebih tinggi. Yakni kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran atau ACSR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforced*).

- Kawat tanah (*ground wires*)

Kawat tanah atau yang biasa disebut dengan *ground wires* adalah kawat pelindung yang melindungi kawat penghantar dari sambaran petir. Karena fungsinya melindungi dari sambaran petir maka penempatan kawat tanah (*Ground Wires*) berada diatas kawat penghantar fasa. Untuk jenisnya kawat tanah memakai kawat baja (*Steel Wires*) dengan alasan harganya yang lebih murah.

2.2.2 Gardu Induk

Merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan antara jaringan transmisi dengan jaringan distribusi. Gardu induk memiliki fungsi, yakni:

- a. Mentransformasikan daya listrik
- b. Untuk pengukuran, pengawasan operasi, dan pengamanan sistem

c. Pengaturan pelayanan beban

2.2.2.1 Klasifikasi gardu induk

Berbagai macam gardu induk berdasarkan pengklasifikasiannya, yakni:

a. Berdasarkan pemasangannya

Berdasarkan pemasangan peralatan gardu induk dibedakan menjadi 4, yaitu:

- Gardu induk pasangan dalam
- Gardu induk pasangan luar
- Gardu induk setengah pasangan luar
- Gardu induk pasangan bawah tanah

b. Berdasarkan tegangan

Berdasarkan tegangannya gardu induk dibedakan menjadi dua, yakni:

- Gardu induk transmisi
- Gardu induk distribusi

c. Berdasarkan fungsinya

Berdasarkan fungsinya, gardu induk dibedakan menjadi 4, yakni:

- Gardu induk penaik tegangan
- Gardu induk penurun tegangan
- Gardu induk pengatur tegangan
- Gardu induk pengatur beban

2.2.2.2 Peralatan gardu induk

Gardu induk memiliki beberapa peralatan yang bekerja menjadi satu sistem agar gardu induk berfungsi sebagai mana mestinya. Dimana peralatan yang terdapat dalam gardu induk adalah sebagai berikut:

- a. Busbar
- b. Transformator daya
- c. Lightning arrester
- d. Pemutus tenaga (PMT)
- e. Pemisah (PMS)
- f. Baterai
- g. CT (*Current Transformator*) dan PT (*Potential Transformator*)

2.2.3 Proteksi Pada Saluran Transmisi

Proteksi pada saluran transmisi sangat penting karena saluran transmisi berfungsi menyalurkan energi listrik dari sub sistem pembangkitan menuju sub sistem distribusi yang kemudian menuju ke konsumen. Proteksi pada saluran transmisi adalah mengamankan saluran transmisi dari adanya gangguan atau keadaan abnormal. Gangguan atau keadaan abnormal yang sering terjadi di saluran transmisi disebabkan oleh hubung singkat dan sambaran petir.

2.2.3.1 Perangkat sistem proteksi

Sistem proteksi terdiri dari beberapa komponen, dimana komponen tersebut adalah:

a. *Relay*

Relay adalah alat proteksi yang berfungsi sebagai perasa yang mendeteksi adanya keadaan abnormal atau gangguan pada saluran transmisi, kemudian *relay* akan memberi isyarat ke PMT agar trip.

b. CT (*Current Transformtor*) dan PT (*Potential Transformator*)

Berfungsi untuk mentransfer besaran listrik V (tegangan), I (arus) primer dari sistem yang diproteksi menuju ke *relay* (besaran listrik sekunder).

c. Pemutus tenaga (PMT)

PMT berfungsi untuk memutus atau memisahkan bagian sistem yang mengalami keadaan abnormal atau gangguan

d. Baterai

Baterai disini berfungsi sebagai catu daya *relay* proteksi.

e. Pengawatan

Pengawatan yang terdiri dari sirkit sekunder (arus dan tegangan), sirkit tripping dan sirkit peralatan bantu.

2.2.3.2 Relay proteksi

Adalah *relay* yang bekerja dengan cara mengidentifikasi adanya gangguan dan mengamankan bagian saluran transmisi dari gangguan atau keadaan abnormal. *Relay* proteksi terdiri dari tiga bagian utama, yakni:

a. Elemen pengindra

Elemen pengindra ini berfungsi untuk merasakan besaran-besaran listrik seperti tegangan, arus, frekuensi. Tergantung dari jenis *relay* yang digunakannya. Dalam elemen pengindra ini besaran- besaran listrik tadi akan dirasakan apakah besaran dalam keadaan normal atau dalam keadaan abnormal, kemudian besaran listrik tadi akan dilanjutkan ke elemen pembanding.

b. Elemen pembanding

Dalam elemen pembanding besaran yang tadi dikirimkan oleh elemen pengindra akan diterima kemudian akan dibandingkan dengan nilai seting yang telah ditetapkan oleh *relay* atau besaran arus kerja *relay* dalam keadaan normal. Hasil perbandingan tadi kemudian akan dikirimkan ke elemen pengukur.

c. Elemen pengukur/penentu

Elemen ini berfungsi mengadakan perubahan secara cepat atas informasi yang diterima dari elemen pembanding. Elemen ini akan menerima informasi dari elemen pembanding. Jika informasi dari elemen pembanding keadaan besaran listrik tidak sesuai dengan besaran listrik keadaan normal maka *relay* akan memberikan sinyal ke PMT (pemutus tenaga) untuk trip.

2.2.3.3 Fungsi *relay* proteksi

Berikut adalah fungsi atau peranan *relay* proteksi:

- a. Untuk mendeteksi adanya keadaan abnormal atau gangguan yang dapat merusak sistem atau peralatan saluran transmisi.
- b. Untuk memisahkan bagian sistem yang mengalami gangguan atau keadaan abnormal dengan secepat mungkin, agar kerusakan terhadap peralatan atau sistem dapat dihindari.
- c. Untuk memberi cadangan proteksi bagi instalasi lainnya.
- d. Untuk memberikan pelayanan keandalan dan mutu listrik yang handal kepada konsumen.

- e. Untuk memproteksi manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

2.2.3.4 Syarat *relay* proteksi

Untuk mendapatkan sistem proteksi dengan kehandalan yang tinggi. Maka *relay* proteksi harus memenuhi syarat – syarat sebagai berikut:

- a. Sensitif

Karena *relay* proteksi berfungsi untuk mengamankan jaringan atau sistem dari kerusakan, maka *relay* proteksi harus memiliki tingkat sensitifitas yang tinggi terhadap adanya gangguan atau keadaan abnormal yang terjadi dalam suatu sistem. Kemudian *relay* akan memberikan isyarat ke PMT (pemutus tenaga) untuk trip.

- b. Selektif

Relay proteksi harus dapat memilih bagian dari sistem yang mengalami gangguan atau keadaan abnormal kemudian memisahkannya. *Relay* proteksi hanya boleh bekerja jika dalam sistem terdapat gangguan atau keadaan abnormal dan tidak boleh bekerja jika sistem dalam keadaan normal.

- c. Cepat

Relay proteksi harus bekerja secara cepat terhadap adanya gangguan. Semakin cepat *relay* proteksi bekerja maka akan meminimalkan adanya kerusakan yang ditimbulkan oleh gangguan atau keadaan abnormal yang terjadi.

- d. Handal

Handal disini adalah *relay* proteksi masih dapat bekerja dengan sangat baik pada saat terjadinya gangguan. Walaupun sudah berbulan-bulan tidak terjadi gangguan tetapi *relay* proteksi dituntut untuk dapat bekerja secara baik ketika adanya gangguan dalam suatu sistem. Kehandalan dari *relay* proteksi dapat dijaga dengan dilakukannya perawatan secara periodik pada *relay* proteksi.

e. Ekonomis

Relay proteksi dengan biaya yang kecil diharapkan memiliki kemampuan proteksi yang sebesar-besarnya atau dengan kualitas proteksi yang sangat baik.

2.2.4 Relay Jarak

Merupakan suatu alat pengaman utama yang digunakan pada saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) dan saluran udara tegangan tinggi (SUTT). Selain sebagai pengaman utama *relay* jarak juga merupakan pengaman cadangan atau *backup* bagi saluran yang ada didepannya. Untuk cakupan proteksi dari *relay* jarak dibagi menjadi 3 zona, yaitu zona1, zona2, dan zona3. *Relay* proteksi juga dilengkapi dengan teleproteksi (TP) agar kinerja proteksi selalu cepat dan selektif dalam daerah yang diproteksi.

2.2.4.1 Prinsip kerja *relay* jarak

Relay jarak ini bekerja dengan cara membandingkan impedansi yang ada pada saluran yang mengalami gangguan dengan nilai setting yang ada pada *relay*. Untuk perhitungan impedansinya dapat dicari dengan menggunakan rumus 2.1 :

$$Z_f = V_f / I_f \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

Z_f = Impedansi (ohm)

V_f = Tegangan (Volt)

I_f = Arus gangguan

Selain dengan membandingkan nilai impedansi pada saluran yang mengalami gangguan dengan nilai setting pada *relay*, *relay* jarak juga bekerja dengan mengikuti 2 ketentuan berikut ini:

- a. Jika nilai impedansi pada gangguan lebih kecil dari pada nilai impedansi setting, maka *relay* akan trip.

- b. Jika nilai impedansi pada gangguan lebih besar dari pada nilai impedansi setting, maka *relay* tidak akan trip.

2.2.4.2 Karakteristik *relay* jarak

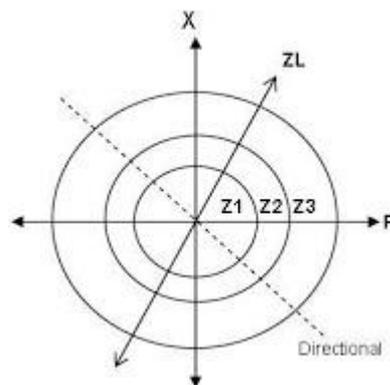
Relay jarak memiliki beberapa macam karakteristik. Karakteristik ini adalah penerapan langsung dari prinsip dasar *relay* jarak. Karakteristik *relay* jarak dapat digambarkan dalam diagram R-X. Dibawah ini adalah karakteristik dari *relay* jarak:

- a. Karakteristik impedansi

Untuk karakteristik impedansi ini memiliki beberapa ciri, yakni:

- Adalah lingkaran dengan titik pusat yang berada ditengah-tengah lingkaran, keadaan ini memiliki sifat *non directional*. Sehingga jika akan diaplikasikan untuk pengaman saluran udara tegangan tinggi perlu ditambah dengan *relay directional* atau *relay* arah.
- Memiliki keterbatasan dalam mengantisipasi *high resistance ground fault* atau gangguan tanah dengan resistansi tinggi.
- Untuk karakteristik impedansi ini sangat sensitif dengan adanya perubahan nilai beban, terutama pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) dengan saluran yang panjang. Hal ini menyebabkan jangkauan lingkaran impedansi dekat dengan daerah beban.

Berikut adalah gambar karakteristik impedansi *relay* jarak:

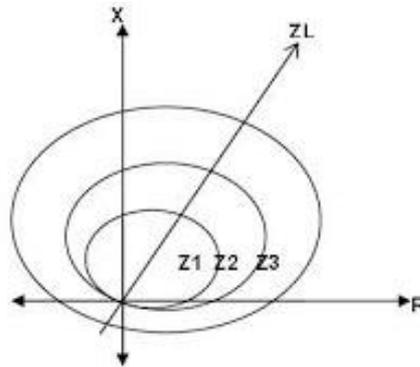


Gambar 2.3 Karakteristik impedansi

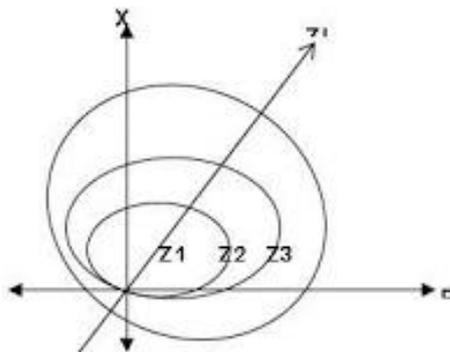
b. Karakteristik Mho

- Untuk karakteristik Mho ini titik pusatnya bergeser, sehingga karakteristik ini memiliki sifat *directional*.
- Memiliki keterbatasan dalam mengantisipasi *high resistance ground fault* atau gangguan tanah dengan resistansi tinggi.
- Pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) dengan saluran yang panjang dipilih zone-3 dengan karakteristik Mho lensa geser.
- Kecepatan *relay* jenis ini lebih cepat dibandingkan *relay* jenis quadrilateral.

Berikut adalah gambar karakteristik Mho *relay* jarak:



Gambar 2.4 Karakteristik Mho



Gambar 2.5 Karakteristik Mho Z1,Z2 parsial Cross-polarise Mho, Z3 Lensa geser

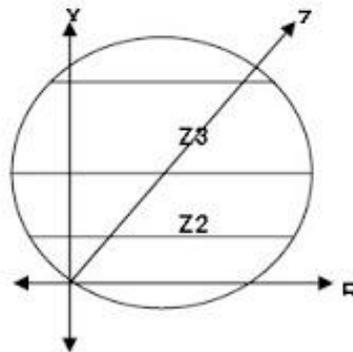
c. Karakteristik reaktansi

- Untuk karakteristik reaktansi ini sama dengan karakteristik impedansi yakni memiliki sifat *non directional*. Sehingga untuk

pemasangan pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) perlu ditambah dengan *relay directional* atau *relay arah*.

- Karakteristik reaktansi ini dapat mengantisipasi *high resistance ground fault* atau gangguan tanah dengan resistansi tinggi, dikarenakan pada karakteristik reaktansi ini memiliki seting jangkauan resitif yang cukup besar

Berikut adalah gambar karakteristik reaktansi *relay jarak*:

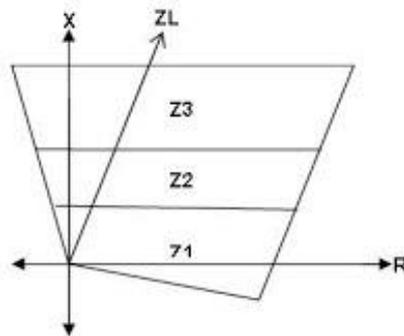


Gambar 2.6 Karakteristik reaktansi

d. Karakteristik quadrilateral

- Untuk karakteristik quadrilateral ini merupakan kombinasi dari 3 komponen, dimana ketiga komponen ini adalah reaktansi, resitif dan berarah.
- Karakteristik quadrilateral ini dapat mengantisipasi *high resistance ground fault* atau gangguan tanah dengan resistansi tinggi, dikarenakan pada karakteristik reaktansi ini memiliki seting jangkauan resitif yang cukup besar.
- Untuk kecepataannya *relay* quadrilateral lebih lambat dibandingkan dengan *relay* yang berkarakteristik Mho.

Berikut adalah gambar karakteristik reaktansi *relay jarak*:



Gambar 2.7 Karakteristik quadrilateral

2.2.4.3 Pengukuran impedansi gangguan oleh *relay* jarak

Terdapat 3 jenis gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik, yakni gangguan hubung singkat satu fasa ketanah, gangguan hubung singkat dua fasa, dan gangguan hubung singkat tiga fasa. Gangguan tersebut harus dapat dideteksi oleh *relay* jarak, karena *relay* jarak adalah pengaman utama. Setelah mendeteksi adanya gangguan yang merupakan salah satu dari ke-3 jenis gangguan tadi, *relay* jarak kemudian akan memisahkan sistem yang terganggu dengan sistem yang tidak terganggu agar gangguan tidak merusak sistem tenaga listrik.

- a. Gangguan hubung singkat satu fasa ketanah

Untuk menghitung besarnya nilai impedansi saat terjadinya gangguan hubung singkat satu fasa ketanah, tegangan yang diambil adalah tegangan ketika terjadi gangguan, dan untuk arus yang diambil adalah arus ketika terjadinya gangguan dengan ditambah dengan arus sisa dikali faktor kompensasinya. Contoh telah terjadi gangguan hubung singkat pada fasa R ke tanah, maka untuk menghitung impedansinya dengan rumus 2.2:

$$Z_R = V_R / (I_R + K_0 \cdot I_n) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

Z_R = Impedansi gangguan pada fasa R

Tegangan pada <i>relay</i>	= V_{relay}	= V_R
Arus pada <i>relay</i>	= I_{relay}	= $I_R + K_0 \cdot I_n$
Arus netral	= I_n	= $I_R + I_S + I_T$
Kompensasi urutan nol	= K_0	= $1/3 (Z_0 - Z_1/Z_2)$

Tabel 2.1 Tegangan dan arus masukan *relay* gangguan hubung singkat satu fasa ketanah

Fasa yang terganggu	Tegangan	Arus
R-N	V_R	$I_R + K_0 \cdot I_n$
S-N	V_S	$I_S + K_0 \cdot I_n$
T-N	V_T	$I_T + K_0 \cdot I_n$

Impedansi urutan nol akan timbul pada gangguan tanah. K_0 adalah kompensasi urutan nol. Fungsi dari K_0 yaitu untuk mengkompensasi impedansi urutan nol. Sehingga impedansi menjadi benar seperti yang terukur

b. Gangguan hubung singkat dua fasa

Untuk menghitung nilai impedansi yang terjadi pada gangguan hubung singkat dua fasa ini, tegangan yang diambil oleh komparatr *relay* adalah tegangan fasa yang terganggu, sedangkan untuk arusnya adalah arus selisih (secara vektor) arus-arus yang mengalami gangguan. Contoh telah terjadi gangguan hubung singkat antar fasa R dan S, maka untuk menghitung nilai impedansinya dengan menggunakan rumus 2.3:

$$Z_R = V_{relay} / I_{relay} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

Z_R = Impedansi terbaca oleh *relay*

$$V_{relay} = V_R - V_S \quad I_{relay} = I_R - I_S$$

c. Gangguan hubung singkat tiga fasa

Untuk gangguan hubung singkat tiga fasa ini, saat terjadi gangguan tiga fasa yang simetris ini menyebabkan amplitudo tegangan pada fasa R,S, dan T turun. Tetapi saat amplitudo tegangan mengalami penurunan beda fasa antar ketiga fasa tetaplah masih 120° . Untuk menghitung nilai impedansi yang terjadi pada saat gangguan hubunf singkat tiga fasa dapat dilakukan dengan rumus 2.4:

$$Z_R = V_R / I_R \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

Z_R = Impedansi terbaca oleh *relay*

V_R = Tegangan fasa ke netral

I_R = Arus fasa

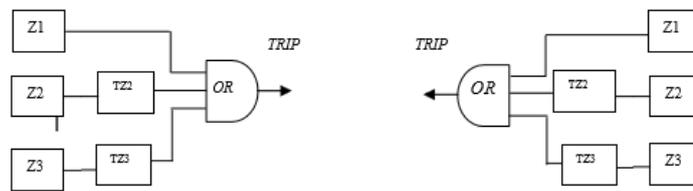
2.2.4.4 Pola proteksi *relay* jarak

Terdapat 4 pola proteksi yang digunakan untuk melindungi SUTT. *Relay* perlu dilengkapi dengan teleproteksi supaya gangguan yang terjadi sepanjang SUTT dapat di tripkan dengan waktu yang sangat singkat pada kedua sisi ujung saluran SUTT. Untuk 4 pola proteksi itu sendiri yaitu pola dasar, pola PUTT (*Permissive Underreach Transfer Trip*), POTT (*Permissive Overreach Transfer Trip*), dan yang keempat adalah pola *Blocking*.

a. Pola dasar

Pola dasar mempunyai ciri-ciri khusus, yakni:

- Pada pola dasar ini tidak memiliki fasilitas sinyal PLC
- Pada pola dasar, untuk gangguan yang berada pada lokasi 80% - 100% *relay* yang akan bekerja adalah *relay* yang berada pada zona-2 dengan waktu yang tertunda.



Gambar 2.8 Rangkaian *logic* pola dasar

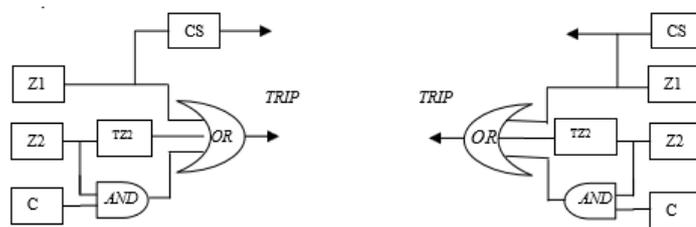
Dimana:

Z_2 = *Timer zone 2* TZ_3 = *timer zona-3*

b. Pola PUTT (*Permissive Underreach Transfer Trip*)

Pada pola PUTT prinsip kerjanya adalah sebagai berikut:

- Pada pola PUTT ini kejadian trip seketika oleh teleproteksi akan terjadi apabila *relay* jarak pada zona-2 aktif atau bekerja disertai dengan menerima sinyal.
- Pada pola PUTT pengiriman sinyal trip (*carrier send*) dilakukan oleh *relay* jarak yang ada pada zona-1.
- Pada pola PUTT saat mengalami keadaan kegagalan PLC, maka pada keadaan itu *relay* jarak akan berubah pola kembali menjadi pola dasar.
- Pada pola PUTT ini memiliki kelebihan yaitu dapat menggunakan *relay* jarak yang berbeda dan tipe yang berbeda.



Gambar 2.9 Rangkaian *logic* pola PUTT

Dimana:

Z_2 = *Trip zona-2*

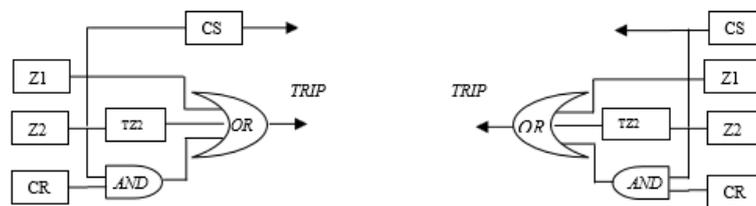
TZ_2 = *Waktu trip zona-2*

CS = Sinyal kirim
 CR = Sinyal terima

c. Pola POTT (*Permissive overreach Transfer Trip*)

Pada pola POTT prinsip kerjanya adalah sebagai berikut:

- Pada pola POTT ini kejadian trip seketika oleh teleproteksi akan terjadi apabila *relay* jarak pada zona-2 aktif atau bekerja disertai dengan menerima sinyal.
- Pada pola POTT pengiriman sinyal trip (*carrier send*) dilakukan oleh *relay* jarak yang ada pada zona-2.
- Pada pola POTT saat mengalami keadaan kegagalan PLC, maka pada keadaan itu *relay* jarak akan berubah pola kembali menjadi pola dasar.
- Pada pola POTT ini memiliki kelebihan yaitu dapat menggunakan *relay* jarak yang berbeda dan tipe yang berbeda.



Gambar 2.10 Rangkaian *logic* pola POTT

Dimana:

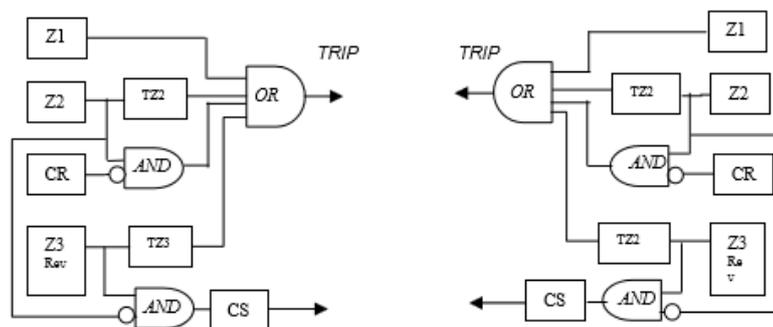
TZ₂ = Waktu trip zona-2
 CS = Sinyal kirim
 CR = Sinyal terima

d. Pola *blocking*

Pada pola *blocking* prinsip kerjanya adalah sebagai berikut:

- Pada pola *Blocking* sinyal *block* (*carrier send*) dikirimkan oleh *relay* jarak yang ada pada zona-3 *reverse*.

- Pada pola *blocking* ini kejadian trip seketika oleh teleproteksi akan terjadi apabila *relay* jarak pada zona-2 aktif atau bekerja disertai dengan tidak adanya penerimaan sinyal *block (carrier receipt)*.
- Pada pola *blocking*, saat mengalami keadaan kegagalan sinyal PLC, maka pada saat keadaan itu pula *relay* jarak akan mengalami malas kerja.
- Pada pola *blocking* ini membutuhkan sinyal PLC dengan cukup *half duplex*.
- Pada pola *blocking* memiliki perbedaan dengan pola PUTT dan POTT, yakni pada pola *blocking* membutuhkan *relay* jarak dengan merk dan tipe *relay* yang sejenis.



Gambar 2.11 Rangkaian *logic* pola *blocking*

2.2.4.5 Penyetelan daerah jangkauan *relay* jarak

Seperti yang diketahui bahwa *relay* jarak bekerja dengan mengukur nilai impedansi pada saluran yang mengalami gangguan kemudian membandingkannya dengan nilai setting *relay*. Dimana jika nilai impedansi yang terukur/dirasakan lebih kecil dari pada nilai impedansi seting, maka *relay* jarak akan trip. Sebaliknya jika nilai impedansi yang terukur lebih besar dari pada nilai impedansi seting, maka *relay* tidak akan bekerja/trip. Prinsip kerja itulah yang kemudian memberikan selektivitas dalam pengamanannya, dengan cara menyeting hubungan antara waktu dan jarak dari *relay*. Untuk penyetelan yang ada dalam *relay* jarak terdiri dari tiga daerah pengamanan. Ketiga daerah pengamanan tersebut adalah penyetelan zona-1 dengan waktu kerja *relay*

adalah t_1 , zona-2 dengan waktu kerja *relay* adalah t_2 , dan zona-3 dengan waktu kerja *relay* adalah t_3 . Masing-masing zona penyetelan mempunyai pengaturan yang berbeda-beda, untuk pengaturannya seperti dibawah ini:

a. Penyetelan zona-1

Pada penyetelan zona-1 ini zona yang dipilih wajib mencakup daerah sejauh mungkin dari saluran yang diproteksi. Untuk penyetelan pada zona-1 ini dengan mempertimbangkan adanya keadaan *over reaching*. *Over reaching* adalah keadaan dimana proteksi melebihi saluran yang ada didepannya. *Over reaching* pada rele disebabkan adanya kesalahan- kesalahan yang berasal dari data saluran, PT, CT, dan kesalahan dari penunjang lain dengan presentase sebesar 10% - 20%. Karena hal itu maka *relay* pada zona-1 akan disetel 80% dari panjang saluran yang diproteksi/diamankan.

$$\text{Penyetelan zona-1} = 0,8 \times Z_{L1(\text{saluran})} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana:

Z_{L1} = nilai impedansi saluran transmisi yang diamankan

Dengan ketentuan waktu kerja *relay* seketika, ($t_1=0$) atau dengan kata lain tidak dilakukan penyetelan waktu pada penyetelan zona-1

b. Penyetelan zona-2

Untuk penyetelan pada zona-2 ini daerah yang diproteksi harus mencakup sisa saluran transmisi yang tidak dapat diamankan oleh zona-1, tetapi tidak diperbolehkan *overlapping*. *Overlapping* pada zona-2 ini adalah keadaan dimana proteksi melebihi dari jangkauan proteksi zona-2. Untuk penyetelan pada zona-2 terdapat waktu setel tunda agar dapat dikoordinasikan dengan *relay* yang berada diujung terminal lainnya. Adanya waktu tunda ini disebabkan karena pertimbangan adanya kesalahann-kesalahan penyetelan pada zona sebelumnya atau zona-1, yakni kesalahan CT dan PT. Waktu tunda juga berfungsi agar *relay* tidak trip secara langsung terhadap gangguan yang berada diluar saluran transmisi yang diproteksinya. Hal inilah yang menyebabkan pada zona-2 terdapat penyetelan minimum dan maksimum.

Pada penyetelan zona-2 untuk penyetelannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Zona-2}_{\min} = 1,2 \times Z_{L1} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$\text{Zona-2}_{\text{maks}} = 0,8 (Z_{L1} + 0,8 \times Z_{L2}) \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

Z_{L1} = nilai impedansi saluran yang diproteksi

Z_{L2} = nilai impedansi saluran berikutnya yang terpendek (Ω)

Dengan waktu kerja *relay* adalah:

$$t_2 = 0,4 \text{ s/d } 0,8 \text{ detik}$$

c. Penyetelan zona-3

Pada zona-3 ini *relay* juga dapat berfungsi sebagai proteksi cadangan untuk saluran yang berada di zona depannya. Maka dari itu penyetelan diwajibkan meliputi seluruh saluran transmisi yang berada didepannya yang terpanjang.

Pada penyetelan zona-3 untuk penyetelannya mempunyai ketentuan sebagai berikut:

$$\text{Zona-3}_{\min} = 1,2 (Z_{L1} + 0,8 \times Z_{L3}) \dots \dots \dots (2.8)$$

$$\text{Zona-3}_{\text{maks1}} = 0,8 (Z_{L1} + 1,2 \times Z_{L3}) \dots \dots \dots (2.9)$$

Pemilihan pada zona-3 dipilih nilai yang terbesar antara zona-3 min dengan zona-3 maks 1. Untuk keadaan pada Gardu Induk (GI) yang berada didepannya memiliki trafo daya, maka jangkauan pada zona-3 tidak diperbolehkan melebihi nilai impedansi trafo daya. Untuk keadaan dimana terjadi *overlapping* dengan zona-3 selanjutnya maka waktu tunda *relay* dapat dikooordinasikan waktunya dengan waktu tunda dari zona-3 berikutnya. Dengan penyetelan sebagai berikut:

$$\text{Zona-3}_{\text{maks2}} = 0,8 (Z_{L1} + K \times Z_{TR}) \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

Z_{L1} = nilai impedansi saluran yang diproteksi

Z_{L3} = nilai impedansi saluran berikutnya yang terpanjang

K = bagian trafo yang dilindungi, nilai $k = 0,8$

Z_{TR} = nilai impedansi trafo

Dengan waktu kerja *relay* adalah:

$$t_3 = 1,2 \text{ s/d } 1,6 \text{ detik}$$

d. Penyetelan zona-3 *reverse*

Penyetelan zona-3 *reverse* ini berfungsi pada pemilihan teleproteksi pada pola *blocking*. Penyetelan zona-3 *reverse* ini terdapat dua jenis, yaitu :

- Jika Z_3 *reverse* memberikan sinyal trip maka, penyetelannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Zona-3 reverse} = 1,5 \times (Z_3 - Z_{L1}) \dots \dots \dots (2.11)$$

- Jika Z_3 *reverse* tidak memberikan sinyal trip, maka penyetelannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Zona-3 reverse} = 2 \times (Z_3 - Z_{L1}) \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

Z_{L1} = nilai impedansi saluran yang diproteksi

Z_3 = nilai impedansi saluran berikutnya yang terpanjang

e. Penyetelan *starting*

Penyetelan *starting* ini berfungsi untuk:

- Mendeteksi adanya suatu gangguan yang terjadi
- Menentukan jenis dari gangguan
- Memilih fasa yang terganggu

Penyetelan *starting* terbagi menjadi 2, yakni:

1. *Starting* arus lebih:

$$\text{Arus (I) fasa-fasa} = 1,2 \times CT \dots \dots \dots (2.13)$$

$$\text{Arus (I) fasa-netral} = 0,1 \times CT \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana:

CT = (*Current Transformator*) Trafo arus

2. *Starting* impedansi:

$$Z_{Smin} = 1,25 \times \text{Zona-3} \dots \dots \dots (2.15)$$

$$Z_{Smaks} = 0,5 \times KV / (CT \times \sqrt{3}) \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana:

KV = nilai tegangan transmisi

CT = (*Current Transformator*) Trafo arus

2.2.5 Kegagalan Dalam Proteksi

Proteksi yang bekerja dengan baik akan mampu mengurangi terjadinya kerusakan pada saat sistem mengalami adanya gangguan atau keadaan abnormal. Proteksi yang bekerja dengan baik adalah proteksi yang bekerja cepat, sensitif, selektif dan handal dalam mengatasi adanya gangguan. Jika proteksi tidak dapat menangani gangguan maka akan ada arus gangguan yang berlangsung lama dalam sistem mengakibatkan panas yang berlebih. Panas yang berlebih ini dapat menyebabkan kebakaran, kerusakan pada peralatan saluran transmisi, dan ketidakstabilan sistem.

Keterlambatan proteksi atau kegagalan proteksi akan menyebabkan trafo daya meledak. Jika hal ini terjadi maka akan menyebabkan kerugian yang secara ekonomi sangatlah mahal, karena trafo daya harus diganti dengan trafo daya yang baru. Hal ini juga akan menyebabkan pemadaman pada sistem atau bahkan runtuhnya suatu sistem

Kegegalan dalam sistem proteksi dibabkan oleh berbagai macam hal, yakni:

- a. *Relay* proteksi mengalami kerusakan.
- b. Seting pada *relay* kurang tepat yang menyebabkan *relay* kurang sensitif terhadap adanya gangguan dan *relay* kurang cepat dalam menangani gangguan.
- c. Suplai daya atau baterai pada *relay* mengalami kegagalan, sehingga *relay* tidak dapat trip ketika adanya gangguan.
- d. Kerusakan pada kontak tripping yang ada pada *relay*
- e. Kegagalan PMT (pemutus tenaga) karena mekanisme tripping PMT yang kotor, berkarat, dan patah.
- f. Kegagalan PMT (pemutus tenaga) dalam memutuskan arus gangguan dikarenakan arus gangguan terlalu besar, sehingga PMT tidak mampu bekerja bahkan PMT akan rusak.

- g. Hubungan kontak yang kurang baik akan mengakibatkan ketidak sempurnaan dalam sistem proteksi.
- h. Adanya kegagalan dalam sistem teleproteksi yang disebabkan kegagalan saluran komunikasi dalam sistem teleproteksi.
- i. Rusaknya trafo arus atau CT yang menyebabkan kesalahan pembacaan arus oleh CT, sehingga besaran yang dirasakan *relay* tidak benar.