

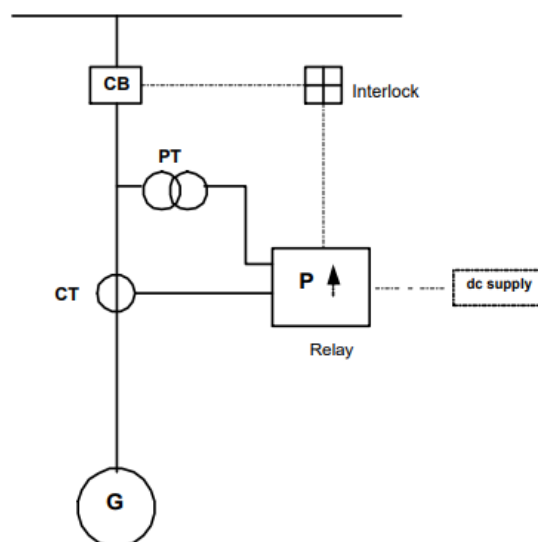
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Proteksi

2.1.1 Pengertian Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah suatu tindakan untuk menjaga atau melindungi komponen-komponen yang dapat menimbulkan gangguan atau bahaya. Dalam sistem tenaga listrik, sistem proteksi merupakan suatu alat pengaman yang dipasang pada peralatan kelistrikan sistem tenaga listrik agar proses penyaluran energi listrik dari pembangkit tenaga listrik, saluran transmisi sampai ke saluran distribusi tenaga listrik dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik dengan aman (Tasiam, 2012). Gambar 2.1 menunjukkan sistem kerja dari rangkaian sistem proteksi.



Gambar 2. 1 Rangkaian Sistem Proteksi

(Sumber :(Priowirjanto, Gatot, 2003))

2.1.2 Fungsi Sistem Proteksi

Fungsi sistem proteksi adalah untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan listrik dan peralatan terkait, dan pada saat yang sama berkontribusi untuk memastikan sistem beroperasi secara normal. Sistem proteksi ini berfungsi untuk mendeteksi dan mengatasi gangguan yang terjadi, seperti arus lebih, arus gangguan, dan gangguan tanah. Sistem proteksi juga berperan dalam menjaga keselamatan masyarakat, meningkatkan kelangsungan pelayanan dan menjamin kualitas tenaga listrik (Marta yudha, 2008).

Menurut (Gator Priowirjanto, 2003b) terdapat tiga fungsi sistem proteksi diantaranya sebagai berikut :

- a. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya pada bagian sistem yang diamankannya (*fault detection*)
- b. Melepaskan bagian sistem yang terganggu (*fault clearing*)
- c. Memberitahu operator adanya gangguan dan lokasinya (*announciation*)

2.1.3 Syarat-syarat Rele Proteksi

Menurut (Aryanto and Sunardiyo, 2013) terdapat syarat-syarat pada pemasangan sistem proteksi dalam suatu rangkaian sistem tenaga listrik yaitu :

- a. Kepekaan (sensitifitas)

Kepekaan atau sensitifitas adalah kepekaan rele proteksi terhadap segala jenis gangguan secara akurat, khususnya gangguan yang terjadi pada zona proteksi. Sensitifitas sistem proteksi ditentukan oleh nilai terkecil gaya penggerak pada saat gawai proteksi mulai beroperasi. Nilai minimum

amplitudo motor dikaitkan dengan nilai minimum arus gangguan di wilayah yang dilindunginya.

b. Kecepatan

Sistem proteksi harus mempunyai tingkat kecepatan tertentu untuk meningkatkan kualitas pelayanan, keselamatan manusia, peralatan dan stabilitas operasional. Karena sistem tenaga listrik memiliki kestabilan yang terbatas dan terkadang gangguan sistem bersifat sementara, maka relai yang perlu merespons dengan cepat harus diperlambat (*time delay*).

c. Selektifitas dan diskriminatif

Selektif artinya sistem proteksi harus dapat memilih bagian mana dari sistem yang perlu diisolasi jika relai proteksi mendeteksi adanya gangguan. Bagian yang sedapat mungkin dipisahkan dari sistem yang sehat adalah bagian yang terganggu. Diskriminasi berarti sistem perlindungan harus mampu membedakan kondisi normal dan tidak normal atau membedakan apakah kondisi abnormal terjadi di dalam atau di luar zona perlindungan. Dengan cara ini, setiap tindakan akan tepat dan gangguan dapat diminimalkan.

d. Keandalan (*reliability*)

Suatu sistem proteksi dapat dianggap andal jika selalu beroperasi sesuai dengan yang diharapkan. Suatu sistem proteksi dikatakan tidak dapat diandalkan apabila tidak beroperasi sebagaimana mestinya dan jika beroperasi pada saat sistem proteksi tidak seharusnya beroperasi. Keandalan

rele dikatakan cukup baik jika mempunyai nilai antara 90 sampai 99%.

Keandalan dapat di bagi 2 macam, yaitu :

1. *Dependability* : relay harus dapat diandalkan setiap saat.
2. *Security* : tidak boleh salah kerja / tidak boleh bekerja yang bukan seharusnya bekerja.

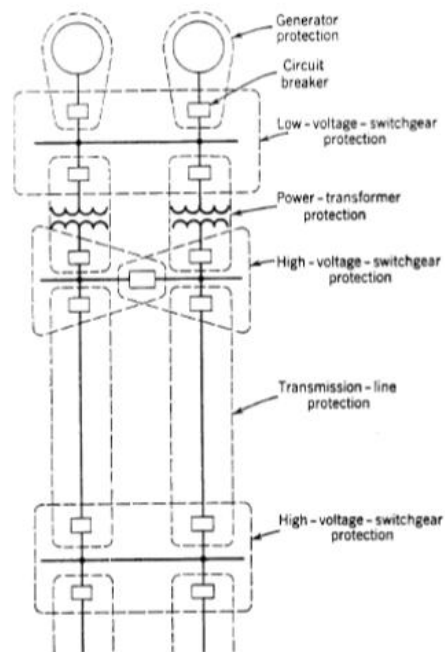
e. Ekonomis

Perencanaan teknik yang baik tidak lepas dari pertimbangan nilai keekonomiannya. Rele proteksi yang digunakan harus seekonomis mungkin tanpa mengurangi pengoperasian dan keandalannya. Tipe Proteksi Ada dua kategori proteksi yang dikenal yaitu proteksi utama (*main protection*) dan proteksi pembantu (*back up protection*). Proteksi utama adalah pertahanan utama dan akan membebaskan gangguan pada bagian yang akan diproteksi secepat mungkin. Mengingat keandalan 100 % tidak hanya dari perlindungan tetapi juga dari trafo arus, trafo tegangan dan pemutus rangkaian yang tidak dapat dijamin, untuk itu diperlukan perlindungan pembantu (*auxiliary protection*) pada alat proteksi tersebut. Proteksi pembantu bekerja bila rele utama gagal dan tidak hanya melindungi daerah berikutnya dengan perlambatan waktu yang lebih lama dari pada rele utamanya.

2.1.4 Zona Proteksi

Daerah pengamanan (zona proteksi) dalam sistem tenaga listrik memiliki beberapa tingkatan mulai dari generator, transformator daya, bus bar, saluran transmisi, subtransmisi, distribusi hingga beban. Setiap bagian mempunyai rele

pengaman dan zona pengamanan (*Zone of Protection*). Setiap zona memiliki satu atau lebih bagian sistem kelistrikan selain dua sakelar. Setiap sakelar terhubung ke dua zona proteksi yang berdekatan. Batas setiap zona menunjukkan bagian sistem yang bertanggung jawab untuk mengisolasi kegagalan di zona tersebut dari sistem lainnya. Aspek penting lainnya yang perlu dipertimbangkan ketika membagi kawasan lindung adalah bahwa kawasan yang berdekatan saling tumpang tindih, yang berarti tidak ada sistem yang tidak dilindungi. Pembagian zona proteksi ini memastikan zona tidak terganggu tetap dapat beroperasi sehingga mengurangi waktu pemadaman listrik (Schegner, 2021). Gambar 2.2 menunjukkan zona proteksi mulai dari pembangkit sampai distribusi.



Gambar 2. 2 Zona Proteksi

(Sumber : (Pandjaitan, 2012))

2.2 Gangguan-gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Sistem kelistrikan tidak lepas dari terjadinya berbagai jenis gangguan. Pada hakekatnya gangguan merupakan suatu keadaan dimana sistem menyimpang dari keadaan normalnya sehingga dapat mengganggu proses penyediaan tenaga listrik. Apabila terjadi suatu kejadian, sistem proteksi tenaga listrik harus mampu mengisolasi arus gangguan untuk menghindari kerusakan peralatan dan menjaga pasokan tenaga listrik tanpa adanya gangguan (Karyono, 2013).

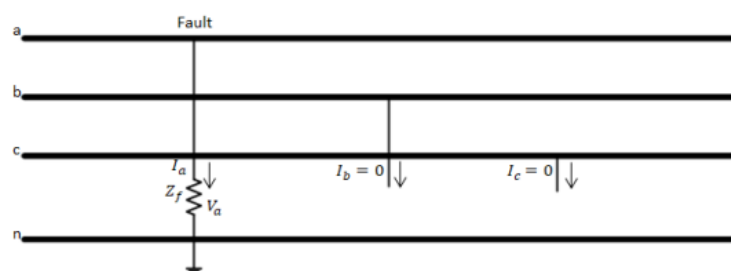
Dalam sistem tenaga listrik, terdapat beberapa gangguan yang dapat terjadi seperti :

2.2.1 Gangguan hubung Singkat

Berdasarkan jenis gangguan fasa, gangguan hubung singkat dapat dibagi dalam 3 jenis, yaitu :

1. Gangguan satu fasa dengan tanah

Gangguan satu fasa ke tanah akan menyebabkan kenaikan arus pada fasa terganggu dan tegangan menjadi nol, sedangkan arus pada fasa lain menjadi nol yang diikuti dengan kenaikan tegangan pada fasa yang lain (Sampeallo, Fischer and Nursalim, 2019). Gambar 2.3 menunjukkan konsep dari gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.



Gambar 2. 3 Gangguan Hubung Singkat 1 fasa ke tanah.

(Sumber : (Sampeallo, Fischer and Nursalim, 2019))

Gangguan satu fasa ke tanah pada fasa a pada Gambar 2.3 menyatakan bahwa untuk gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah yang tidak melalui suatu impedansi Z_f , dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$I_f = 3 \times \left(\frac{\frac{V}{\sqrt{3}}}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \right) \quad [2. 1]$$

Keterangan :

I_f = Arus Gangguan Hubung Singkat (A)

V = Tegangan (V)

Z_0 = Impedansi Urutan Nol (Ohm)

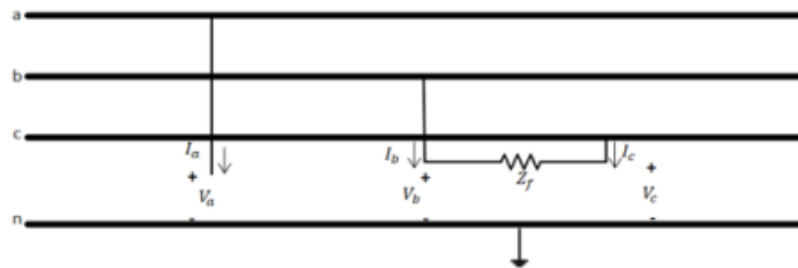
Z_1 = Impedansi Urutan Positif (Ohm)

Z_2 = Impedansi Urutan Negatif (Ohm)

2. Gangguan fasa ke fasa

Gangguan fasa ke fasa adalah gangguan yang terjadi dari penyebab putusnya kawat fasa tengah pada transmisi atau distribusi dengan konfigurasi tersusun vertikal. Kemungkinan lain adalah dari penyebab kerusakan isolator di transmisi atau distribusi sekaligus dua fasa. Atau bisa juga akibat *back flashover* antara tiang dan dua kawat fasa sekaligus sewaktu tiang transmisi atau distribusi yang mempunyai tahanan kaki tiang yang tinggi tersambar petir, dan lain-lain. Perhitungan arus gangguan untuk suatu hubung singkat phase ke fasa pada sistem tenaga sama halnya dengan hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat satu fasa ke tanah, dimana digunakan asumsi-asumsi untuk penyederhanaan perhitungan (Sampeallo,

Fischer and Nursalim, 2019). Gambar 2.4 menunjukkan konsep dari gangguan hubung singkat 2 fasa.



Gambar 2. 4 Gangguan Hubung Singkat 2 fasa
(Sumber : (Sampeallo, Fischer and Nursalim, 2019))

Pada Gambar 2.4 menunjukkan gangguan antar fasa ke fasa, dimana gangguannya terjadi melalui suatu impedansi gangguan Z_f . Jika gangguannya tidak melalui suatu impedansi gangguan Z_f , maka persamaan arus gangguan sama seperti persamaan berikut:

$$I_f = \frac{V}{Z_1 + Z_2} \quad [2. 2]$$

Keterangan :

I_f = Arus Gangguan Hubung Singkat (A)

V = Tegangan (V)

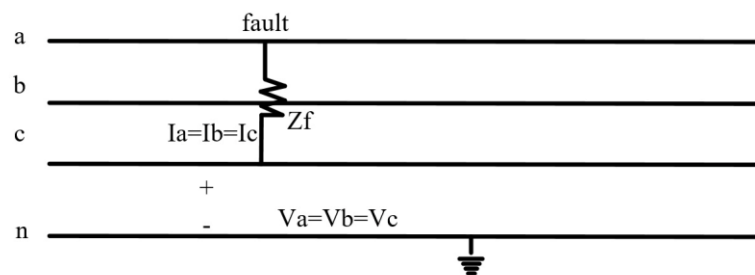
Z_1 = Impedansi Urutan Positif (Ohm)

Z_2 = Impedansi Urutan Negatif (Ohm)

3. Gangguan tiga fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, dimana arus maupun tegangan setiap fasa-nya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Sehingga pada sistem seperti ini dapat dianalisis

hanya dengan menggunakan urutan positif saja. Tipe gangguan ini sangat jarang terjadi, tetapi merupakan tipe gangguan yang paling parah karena pada setiap saluran arus gangguan sama besarnya (Sampeallo, Fischer and Nursalim, 2019). Gambar 2.5 menunjukkan konsep dari gangguan hubung singkat 3 fasa.



Gambar 2. 5 Gangguan Hubung Singkat 3 fasa
(Sumber : (Sampeallo, Fischer and Nursalim, 2019))

Gambar 2.6, menunjukkan gangguan antar fasa pada suatu sistem tenaga tiga phase, dimana gangguannya terjadi melalui suatu impedansi gangguan Z_f . Jika gangguannya tidak melalui suatu impedansi gangguan Z_f , maka persamaan arus gangguan sama seperti persamaan berikut:

$$I_f = \frac{V}{Z_1} \quad [2. 3]$$

Keterangan :

I_f = Arus Gangguan Hubung Singkat (A)

V = Tegangan (V)

Z_1 = Impedansi Urutan Positif (Ohm)

Selain itu gangguan dapat digolongkan menjadi dua yaitu, gangguan simetri dan tak simetri (asimetris). Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk pada gangguan hubung singkat simetris, sedangkan gangguan lainnya merupakan

gangguan hubung singkat tak simetri (asimetris). Adanya gangguan hubung singkat dapat mengakibatkan rusaknya peralatan listrik, berkurangnya stabilitas daya, dan terhentinya kontinuitas daya akibat membukanya circuit breaker (Fadliyah, 2017).

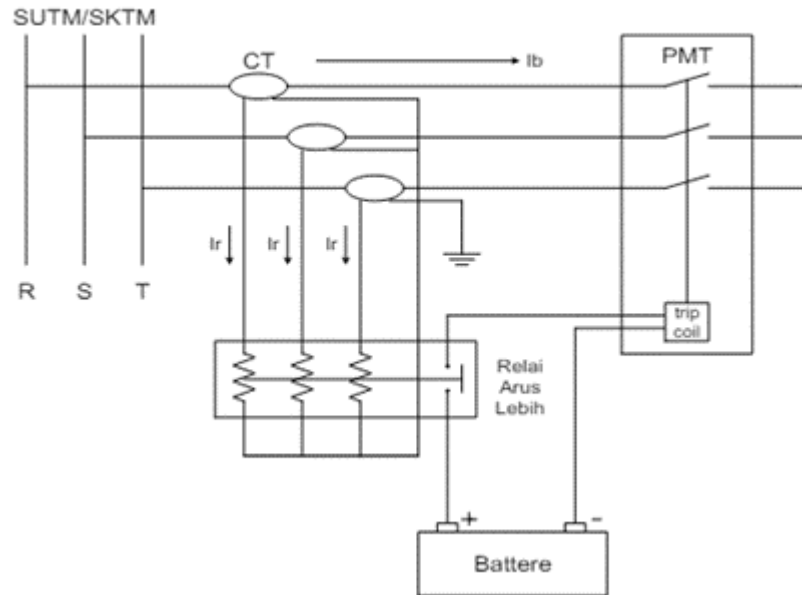
2.2.2 Gangguan Arus Beban Lebih (*Over Loads*)

Beban arus lebih (atau *overload current*) merujuk pada kondisi dimana arus yang mengalir melalui suatu sistem listrik atau perangkat melebihi kapasitas yang telah ditetapkan atau diizinkan untuk sistem atau komponen tersebut. Sebagai contoh, jika suatu transformator dibebani melebihi kapasitas rating-nya, maka dampak jangka panjangnya adalah umur dari transformator semakin pendek.

2.3 Rele Arus Lebih/*Over Current Relay* (OCR)

2.3.1 Pengertian OCR

Rele arus lebih atau yang biasa disebut *Over Current Relay* (OCR) merupakan peralatan proteksi yang mendeteksi adanya arus lebih. Rele ini digunakan untuk mengamankan peralatan terhadap gangguan hubung singkat antar fasa, hubung singkat satu fasa ke tanah dan beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih. Rele ini dapat digunakan sebagai pengaman utama ataupun pengaman cadangan (Drs. F.J. Tasiyam, 2017a). Gambar 2.6 dibawah menunjukkan prinsip kerja dari rele arus lebih/*over current relay*.



Gambar 2. 6 Prinsip Kerja Rele Arus Lebih

(Sumber : (Sofwan, 2021))

2.3.2 Jenis-jenis OCR

Berdasarkan jenisnya rele arus lebih atau *overcurrent relay* memiliki tiga jenis yaitu sebagai berikut :

1. Rele arus lebih seketika (*moment-instantaneous*)

Rele arus lebih seketika adalah jenis relay arus lebih yang paling sederhana dimana jangka waktu kerja rele yaitu mulai saat rele mengalami *pick-up* sampai selesainya kerja rele sangat singkat yakni sekitar 20 -100 mili detik tanpa adanya penundaan waktu.

2. Rele arus lebih waktu tertentu (*definite time*)

Rele arus lebih waktu tertentu adalah jenis rele arus lebih dimana jangka waktu rele mulai *pick-up* sampai selesainya kerja rele dapat diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang

mengerjakannya (tergantung dari besarnya arus setting, melebihi arus *setting* maka waktu kerja rele ditentukan oleh waktu *setting*-nya)

3. Relay arus lebih berbanding terbalik (*inverse*):

Rele arus lebih dengan karakteristik waktu-arus berbanding terbalik adalah jenis rele arus lebih dimana jangka waktu rele mulai *pick-up* sampai dengan selesainya kerja rele tergantung dari besarnya arus yang melewati kumparan relenya, maksudnya rele tersebut mempunyai sifat terbalik untuk nilai arus dan waktu bekerjanya.

Ketentuan rumus umum untuk *standard inverse* yaitu :

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{PSM^{0,02} - 1} \quad [2. 4]$$

Keterangan :

t = *time setting delay* (s)

TMS = standar waktu *setting* relai

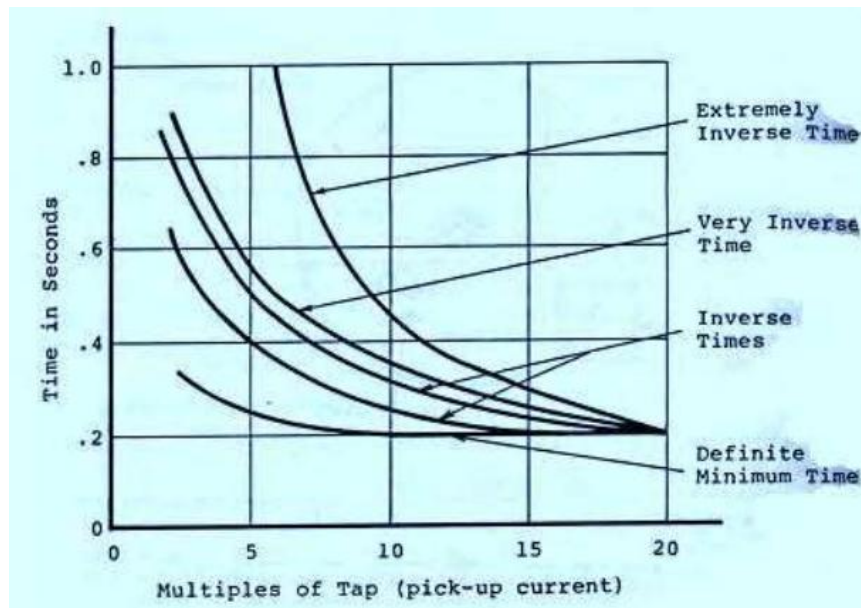
K = konstanta *standar inverse* (0,14)

α = konstanta *standar inverse* (0,02)

Bentuk perbandingan terbalik dari waktu arus ini sangat bermacam – macam, akan tetapi dapat digolongkan sebagai berikut :

- a) Rele berbanding terbalik biasa (*standar inverse*)
- b) Rele sangat berbanding terbalik (*very inverse*)
- c) Rele sangat berbanding terbalik sekali (*extremely inverse*)

Gambar 2.7 dibawah menunjukan kurva karakteristik rele arus lebih dengan melihat perbandingan waktu dan arusnya.



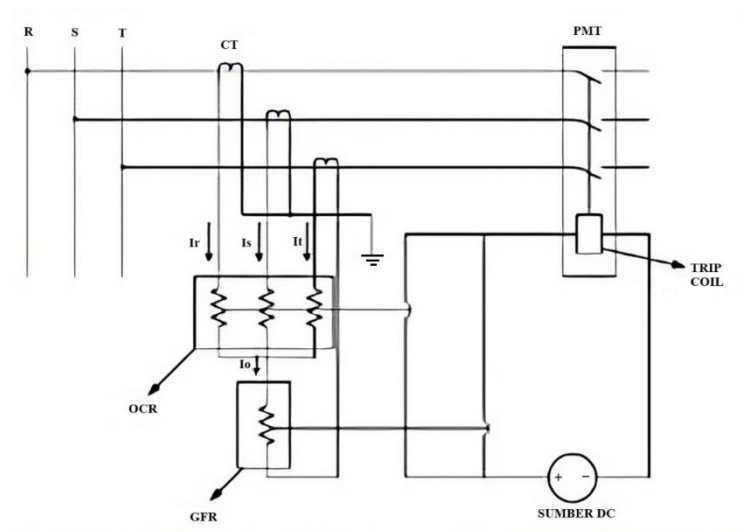
Gambar 2. 7 Karakteristik Rele Arus Lebih

(Sumber : (Yudha *et al.*, 2023))

2.4 Rele Hubung Tanah/*Ground Fault Relay (GFR)*

2.4.1 Pengertian GFR

Rele hubung tanah yang lebih dikenal dengan *Ground Fault Relay (GFR)* mempunyai prinsip kerja yang sama dengan rele arus lebih namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya. Bila OCR mendeteksi adanya hubung singkat antara fasa, maka GFR mendeteksi adanya hubung singkat fasa ke tanah (Ayu *et al.*, 2023). Gambar 2.8 dibawah menunjukkan prinsip kerja dari rele hubung tanah/*ground fault relay*.



Gambar 2. 8 Prinsip Kerja Rele Hubung Tanah

(Sumber : (Dermawan & Nugroho, 2017))

2.5 Dampak yang Muncul Akibat Kesalahan *Setting Relay*

Terdapat beberapa dampak yang dapat muncul akibat kesalahan *setting relay* antara lain:

1. Relay tidak bekerja

Jika relay proteksi tidak diatur dengan benar, bisa jadi mereka tidak akan mendeteksi gangguan atau kejadian yang seharusnya dilindungi. Ini dapat menyebabkan gagalnya sistem proteksi untuk merespon dan memutus aliran listrik pada saat dibutuhkan, sehingga meningkatkan risiko kerusakan pada peralatan atau bahkan kebakaran.

2. Keterlambatan dalam Respon terhadap Gangguan

Jika *relay* diatur dengan waktu tunda (*delay*) tetapi settingnya salah, maka waktu tunda yang terjadi tidak sesuai dengan yang diharapkan. Hal ini dapat mengganggu urutan kerja sistem atau timing perangkat dan dapat menyebabkan

keterlambatan dalam memutuskan sirkuit atau mengambil tindakan proteksi yang diperlukan.

3. Kerusakan pada Peralatan atau Komponen

Salah setting pada relay proteksi bisa menyebabkan pemutusan arus yang tidak perlu, atau sebaliknya, tidak melakukan pemutusan saat diperlukan. Hal ini bisa merusak peralatan listrik yang mahal dan menyebabkan downtime yang tidak terduga.

Untuk menghindari gangguan tersebut, penting untuk memastikan *setting relay* sesuai dengan kebutuhan, membaca petunjuk penggunaan dengan teliti, dan melakukan pengujian terlebih dahulu sebelum diimplementasikan (Kunsmann and Kobet, 2007).

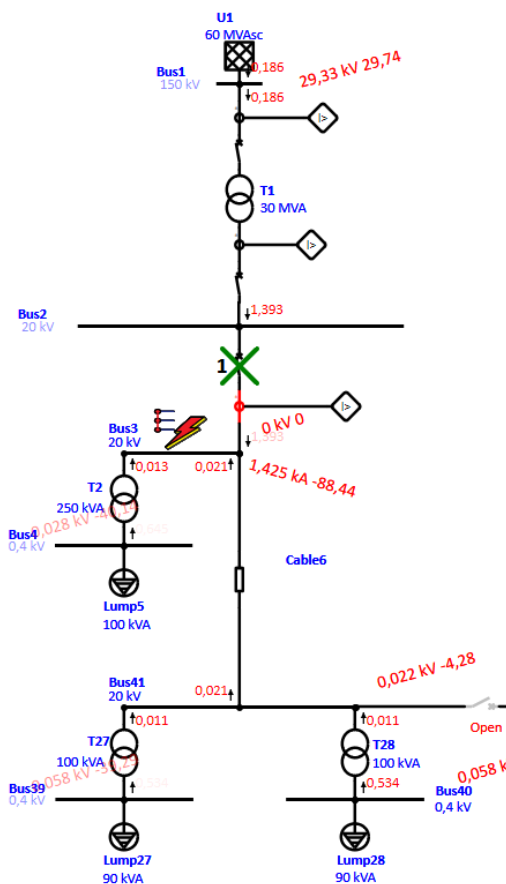
2.5.1 Operasi Rele Proteksi yang Benar

Terdapat beberapa syarat bahwasannya pengoperasian rele proteksi dikatakan benar, ditunjukkan oleh:

- a. Memiliki setidaknya satu relai utama yang beroperasi dengan benar.
- b. Tidak satupun rele cadangan bekerja karena gangguan yang sama.
- c. Area gangguan dapat diisolir secepat yang diharapkan.

Hampir 99% atau hampir seluruh *relay* beroperasi dengan baik dan sesuai dengan yang diharapkan yaitu sesuai rencana dan program. Pengoperasian yang benar tetapi tidak terduga menggambarkan beberapa kasus dimana *relay* dan perangkat pendukungnya beroperasi tetapi pengoperasiannya tidak sesuai dengan yang diharapkan. Misalnya, jika terjadi *blackout* pada suatu sistem, hal ini

sebenarnya tidak diharapkan (Yudha, Hendra Marta, 2023). Gambar 2.9 dibawah menunjukkan contoh ketika *setting* relay bekerja dengan benar.



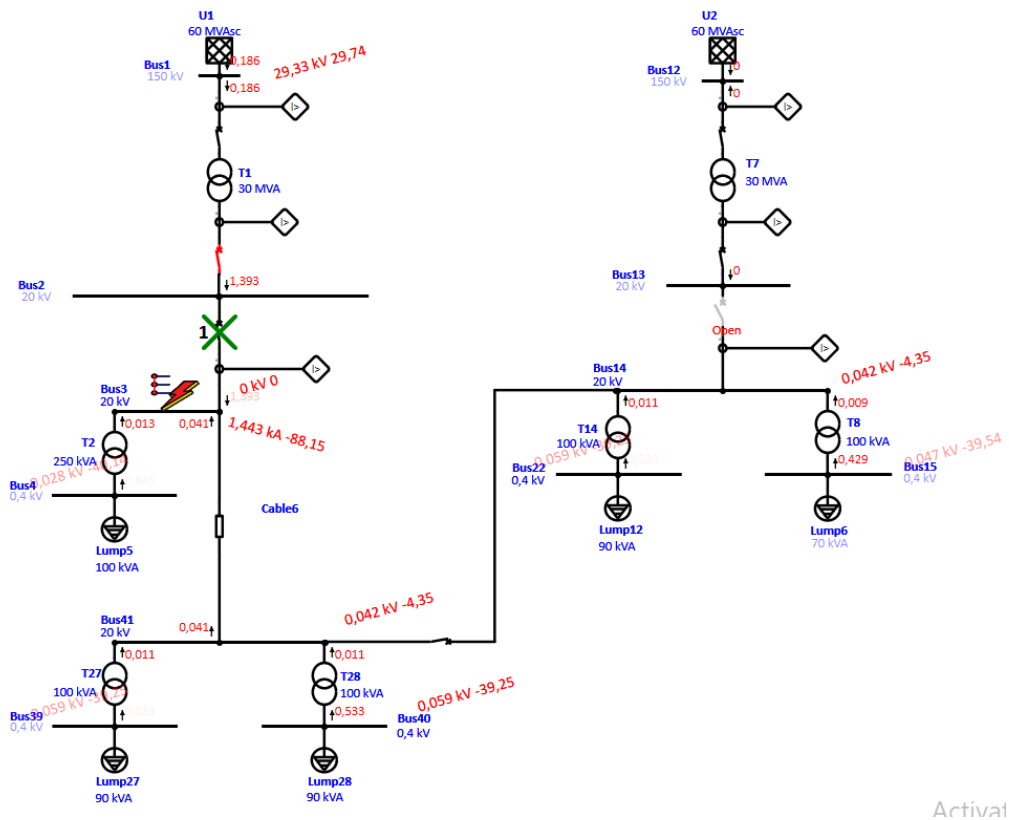
Gambar 2. 9 Contoh *Setting* Rele Proteksi yang Benar

2.5.2 Operasi Rele Proteksi yang Salah

Pengoperasian yang tidak tepat dapat terjadi karena kesalahan, kegagalan fungsi, atau pengoperasian sistem proteksi yang tidak terduga. Situasi ini dapat menyebabkan isolasi yang tidak perlu. Alasan pengoperasian yang salah mungkin disebabkan oleh satu atau lebih seperti berikut:

- Aplikasi rele yang salah.
- Setting* yang salah
- Kesalahan personal

d. Masalah peralatan atau kegagalan (rele, CB, CT, PT, batere, wiring, *pilot channel*, *auxilliary*, etc) (Yudha, Hendra Marta, 2023). Gambar 2.10 dibawah menunjukkan contoh ketika *setting relay* bekerja dengan salah.



Gambar 2. 10 Contoh *Setting Rele* Proteksi yang Salah

2.6 Penelitian Terkait

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait

No	Judul Jurnal	Nama Peneliti	Tempat dan Tahun Penelitian	Pembahasan Jurnal	Kebaruan Penelitian
1.	Analisis <i>Setting Over Current Relay</i> (OCR) dan <i>Ground Fault Relay</i> (GFR) Pada <i>Recloser Feeder</i> Indi PT.PLN (Persero) Rajapolah Dengan Aplikasi ETAP 16.0.0	Febri Aji Saputra	Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi (2022)	Jurnal ini mencari nilai rekonfigurasi peyetelan dan waktu pengoperasian OCR dan GFR sesuai dengan perkembangan beban yang ada. Adapun tahapan simulasi yang digunakan pada ETAP 16.0.0 adalah analisis gangguan hubung singkat. Perhitungan setting OCR dan GFR dihitung menggunakan perhitungan manual sebagai metode perhitungan dan menggunakan aplikasi ETAP.16.0.0. Penelitian ini diharapkan mampu menemukan Solusi berupa rekonfigurasi peyetelan OCR dan GFR serta membandingkannya dengan data lapangan yang dimiliki PT. PLN (Persero) Rajapolah.	Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terkait yaitu terletak pada pembahasan yang mana pada penelitian ini hanya berfokus kepada analisis pengaruh gangguan terhadap kinerja <i>setting relay</i> proteksi yang sudah ada dengan tidak melakukan <i>setting</i> ulang relay proteksi.
2.	Evaluasi Sistem Koordinasi Proteksi Gardu Induk Waru Termasuk Trafo 150 kV/20 kV	Muhammad Zaqi Mubarok	Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro Institut Teknologi	Jurnal ini membahas mengenai koordinasi proteksi yang baik dapat tercapai dengan mengatur CT, rating relay, serta time interval antar CB sesuai dengan kebutuhan beban. Sehingga,	Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terkait yaitu terletak pada pembahasan yang mana pada penelitian ini

No	Judul Jurnal	Nama Peneliti	Tempat dan Tahun Penelitian	Pembahasan Jurnal	Kebaruan Penelitian
			Sepuluh Nopember Surabaya (2019)	dapat tercipta koordinasi proteksi yang dapat menyesuaikan dengan kebutuhan beban di Gardu Induk Waru.	membahas mengenai pengaruh gangguan terhadap kinerja <i>setting relay</i> OCR, GFR dan DIFF pada sisi 150 kV, Sisi Incoming 20 kV, dan Feeder yang sudah ada di Gardu Induk Garut dengan tidak melakukan setting ulang relay proteksi.
3.	Evaluasi Koordinasi Rele Pengaman Pada Jaringan Distribusi 20 Kv di Gardu Induk Garuda Sakti, Panam-Pekanbaru	Hasrizal Rusymi	Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (2014)	Jurnal ini melakukan evaluasi dan analisis terhadap setting dan koordinasi peralatan pengaman pada GI Garuda Sakti, maka diharapkan GI Garuda Sakti mampu mendistribusikan dan menjamin terpasoknya daya listrik ke pelanggan secara optimal dari sebelumnya	Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terkait yaitu terletak pada pembahasan yang mana pada penelitian ini membahas mengenai pengaruh gangguan terhadap kinerja <i>setting relay</i> OCR, GFR dan DIFF pada sisi 150 kV, Sisi Incoming 20 kV, dan Feeder yang sudah ada di Gardu Induk Garut.