



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Rele Proteksi¹

Rele proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidaknormalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan segera secara otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang tergantung dan memberi isyarat berupa lampu dan bel.

Rele proteksi juga dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika atau dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga umumnya dipasang pada generator, transformator daya, saluran transmisi, saluran distribusi dan sebagainya supaya masing-masing bagian sistem dapat dipisahkan sedemikian rupa sehingga sistem lainnya tetap dapat beroperasi secara normal.

2.2. Fungsi Rele Proteksi

Tugas rele proteksi berfungsi menunjukkan lokasi dan macam gangguannya. Dengan data tersebut memudahkan analisa dari gangguannya. Dalam beberapa hal rele hanya memberi tanda tanya gangguan atau kerusakan, jika dipandang gangguan atau kerusakan tersebut tidak membahayakan. Rele proteksi pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk :

- a. Merasakan, mengukur dan memisahkan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.

¹ Samaulah, Hazairin. 2004. "Dasar-dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik". Palembang: Penerbit Unsri.



- b. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- c. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d. Memperkecil bahaya bagi manusia.

2.3. Syarat-syarat Rele Proteksi²

Rele merupakan kunci kelangsungan kerja untuk menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik, maka untuk menjaga keandalan dari sistem tenaga listrik rele harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

1. Kepekaan (sensitivitas)

Sesitivitas adalah istilah yang sering dikaitkan dengan harga besaran penggerak minimum, seperti level arus minimum, tegangan, daya dan besaran lain di mana rele atau skema proteksi masih dapat bekerja dengan baik. Suatu rele disebut sensitif bila parameter operasi utamanya rendah. Artinya, semakin rendah besaran parameter penggerak maka perangkat tersebut dikatakan semakin sensitif.

Pada prinsipnya rele harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya meskipun dalam kondisi yang memberikan rangsangan yang minimum.

2. Keandalan

Pada keandalan pengaman ada 3 aspek, yaitu :

- a) Dependability

Yaitu tingkat kepastian bekerjanya (keandalan kemampuan bekerjanya). Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan dalam bekerja dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja.

² Sarimun, Wahyudi. 2016. "Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik". Depok: Garamond.



b) Security

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Salah satu kerja adalah kerja yang semestinya tidak harus kerja, misalnya karena lokasi gangguan di luar kawasan pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan, atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat.

c) Availability

Yaitu perbandingan antara waktu di mana pengaman dalam keadaan siap kerja (*actually in service*) dan waktu total operasinya.

d) Selektifitas

Pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi yang terganggu saja yang menjadi kawasan pengaman utamanya. Pengamanan sedemikian disebut pengamanan yang selektif.

Jadi rele harus dapat membedakan apakah gangguan terletak di kawasan pengamanan utamanya di mana ia harus bekerja cepat atau terletak di seksi berikutnya di mana ia harus bekerja dengan waktu tunda atau harus tidak bekerja sama sekali karena gangguannya di luar daerah pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan.

e) Kecepatan

Untuk memperkecil kerugian atau kerusakan akibat gangguan, dengan arus besar. Maka bagian yang terganggu, harus dipisahkan secepat mungkin dari sumbernya. Untuk menciptakan selektifitas yang baik, mungkin saja suatu pengaman yang terpaksa diberi waktu tunda (*time delay*). Antara pengaman terpaksa diberi waktu tunda itu harus secepat mungkin.



2.4. Penyebab Kegagalan Proteksi¹

Sistem proteksi tidak dapat sempurna walaupun sudah diusahakan pemilihan jenis rele yang baik dan penyetelan yang baik, tetapi adakalanya masih gagal bekerja. Hal yang menimbulkan kegagalan pengaman dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Kegagalan pada rele sendiri
- b. Kegagalan suplai arus dan atau tegangan ke rele tegangannya rangkaian suplai ke rele dari trafo tersebut terbuka atau terhubung singkat.
- c. Kegagalan sistem suplai arus searah tripping pemutus tenaga. Hal ini dapat disebabkan baterai lemah karena kurang perawatan, terbukanya atau terhubung singkat rangkaian arus searah.
- d. Kegagalan pada pemutus tenaga. Kegagalan ini dapat disebabkan karena kumparan trip tidak menerima suplai, kerusakan mekanis ataupun kegagalan pemutus arus karena besarnya arus hubung singkat melampaui kemampuan dari pemutus tenaganya.

2.5. Macam-Macam Gangguan³

- a. Gangguan beban lebih

Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri oleh arus tersebut. Karena arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik dan pengaman yang terpasang melebihi kapasitas peralatan, sehingga saat beban melebihi pengaman tidak trip. Misal: kapasitas penghantar 300 A dan pengaman disetting 350 A tetapi beban mencapai 320 A, sehingga pengaman tidak trip dan penghantar akan terbakar.

³ Sarimun, Wahyudi.2014. “*Buku Saku Pelayanan Teknik*”. Depok: Garamond.



b. Gangguan hubung singkat

Gangguan hubung singkat, dapat terjadi antar fasa (3 fasa atau 2 fasa) atau 1 fasa ke tanah dan sifatnya bisa temporer atau permanen.

Gangguan Permanen antara lain :

Gangguan hubung singkat, bisa terjadi pada kabel atau pada belitan transformator tenaga yang disebabkan karena arus gangguan hubung singkat melebihi kapasitasnya, sehingga penghantar menjadi panas yang dapat mempengaruhi isolasi atau minyak transformator, sehingga isolasi tembus. Pada generator, yang disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau pembebanan yang melebihi kapasitas. Sehingga rotor memasok arus dari eksitasi berlebih yang dapat menimbulkan pemanasan yang dapat merusak isolasi sehingga isolasi tembus. Di sini pada titik gangguan memang terjadi kerusakan yang permanen. Peralatan yang terganggu tersebut, baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperrbaiki atau diganti.

Gangguan Temporer, antara lain:

Flashover karena sambaran petir (penghantar terkena sambaran petir) flashover dengan pohon, penghantar tertiuip angin yang dapat menimbulkan gangguan antar fasa atau penghantar fasa menyentuh pohon yang menimbulkan gangguan 1 fasa ke tanah. Gangguan ini yang tembus (*breakdown*) adalah isolasi udaranya., oleh karena itu tidak ada kerusakan yang permanen. Setelan arus gangguannya terputus, misalnya karena terbukanya circuit breaker oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali.

Gangguan hubung singkat dapat merusak peralatan:

- Secara Thermis

Thermis atau pemanasan berlebih pada peralatan listrik yang dilalui oleh arus gangguan dapat merusak peralatan listrik.



Dimana kerusakan akibat arus gangguan tergantung pada besar dan lamanya arus gangguan.

Panas yang terjadi, akan menaikkan suhu penghantar yang dilalui oleh arus gangguan. Jika terlalu lama, suhu penghantar akan naik sehingga dapat merusak isolasinya atau mempercepat penuaiannya. Arus juga dapat merusak atau menghancurkan selain isolasi juga penghantar tersebut.

- Secara mekanis

Mekanis atau gaya tarik menarik/tolak-menolak pada penghantar fasa yang terganggu karena adanya frekwensi elektrik yang dapat menimbulkan frekwensi mekanis.

Dimana arus gangguan hubung singkat yang terjadi, dapat menimbulkan gaya tarik menarik atau tolak menolak pada penghantar yang dilalui arus gangguan tersebut.

c. Gangguan Tegangan Lebih

Gangguan tegangan lebih terjadi akibat adanya kelainan pada sistem tenaga listrik, antara lain:

- ✓ Tegangan lebih dengan power frekwensi, misal: pembangkit kehilangan beban yang diakibatkan adanya gangguan pada sisi jaringan, sehingga *over speed* pada generator. Tegangan lebih ini dapat juga terjadi adanya gangguan pada pengatur tegangan secara otomatis (*Automatic Voltage Regulator*) yang terpasang pada generator.
- ✓ Tegangan lebih *Transient* karena adanya surja petir yang mengenai peralatan listrik disebut surja petir atau saat pemutus (PMT) terbuka karena adanya gangguan listrik yang menimbulkan kenaikan tegangan disebut surja hubung.



d. Gangguan Ketidakstabilan

Gangguan ketidakstabilan sistem disebabkan karena adanya gangguan hubung singkat di sistem tenaga listrik atau lepasnya pembangkit, dapat menimbulkan ayunan daya (*power swing*) atau menyebabkan unit-unit pembangkit lepas sinkron, ayunan dapat menyebabkan salah kerja rele. Lepas sinkron dapat menyebabkan berkurangnya pembangkit, karena tripnya pembangkit yang besar dari *spining reserve*, maka frekuensi akan terus turun atau terpisahnya sistem tenaga listrik yang selanjutnya dapat menyebabkan gangguan yang lebih luas bahkan sistem terjadi keruntuhan listrik (*collapse*).

2.6. Sistem Pengamanan⁴

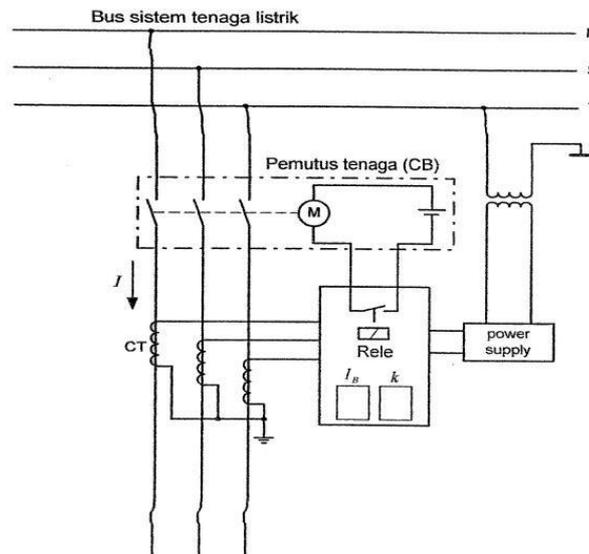
Untuk mengamankan sistem tenaga listrik dari gangguan seperti arus lebih atau hubung singkat, turun dan naiknya tegangan, turun dan naiknya frekuensi dan kegagalan isolasi atau melemahnya isolasi pada sistem tenaga listrik dilakukan dengan memasang alat pengaman atau pelindung, sedangkan untuk menghilangkan gangguan dengan cepat diperlukan sistem proteksi yang tepat dan benar. Oleh karena itu, suatu sistem pengamanan haruslah mempunyai sifat-sifat dan kriteria operasi yang handal, selektif dan sederhana.

Suatu sistem pengamanan terdiri dari alat-alat utama yaitu pemutus tenaga atau CB, peralatan ukur atau transformator ukur terdiri dari transformator arus (CT) dan transformator tegangan (PT) dan rele untuk memonitori besaran gangguan. Gangguan pada sistem tenaga listrik merupakan suatu besaran seperti arus yang telah melampaui batas keadaan normal. Keadaan ini dapat mengganggu dan merusakkan peralatan sistem tenaga listrik. Untuk mengatasi persoalan tersebut, sebelum dilakukan pemisahan bagian yang terganggu oleh pemutus tenaga (CB), besaran gangguan harus dapat terdeteksi atau dimonitori oleh suatu peralatan. Peralatan yang dapat memonitori besaran gangguan atau

⁴ RS, Carlos dan Rumiasih. 2010. "Praktikum Sistem Proteksi". Palembang: Laboratorium Teknik Listrik Politeknik Negeri Sriwijaya.



terjadinya pada saat yang sama memberikan daya pada rangkaian trip pada pemutus tenaga (CB) agar pemutus tenaga pembuka kontaknya adalah rele.



Gambar 2.1 Peralatan dan hubungan sistem pengamanan³.

Naiknya arus atau naik/turunnya tegangan yang disebabkan oleh gangguan dapat digunakan sebagai tanda terjadinya suatu gangguan pada sistem tenaga listrik. Gangguan tersebut akan diatasi oleh rele. Rele yang bekerja dengan sangat cepat untuk memerintahkan pemutus tenaga (CB) untuk trip.

2.7. Daerah Pengamanan²

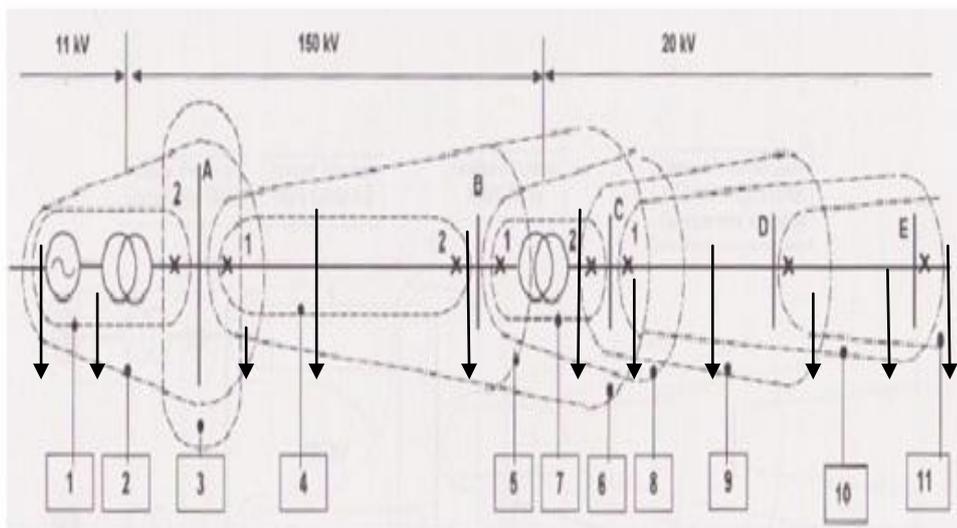
Daerah pengamanan dibagi dalam seksi-seksi yang dibatasi pemutus tenaga dimana tiap seksi ada rele pengamanan dan punya daerah pengamanan.

Pengaman cadangan lokal terletak di tempat yang sama dengan pengaman utamanya. Sedangkan pengaman cadangan jauh terletak di seksi sebelah hulunya. Oleh karena itu, akan terjadi *overlapping* antara kawasan pengaman utama dan pengaman cadangannya, baik cadangan jauh maupun cadangan lokal. Ini berarti gangguan yang terjadi pada kawasan pengaman utama akan dideteksi baik oleh pengaman utama maupun pengaman cadangan lokal. Untuk menghindari



terlepasnya dua seksi sekaligus (seksi kawasan pengaman utama oleh rele pengaman utama dan seksi sebelah hulunya oleh rele pengaman cadangan jauh) maka rele pengaman jauh diberi waktu tunda.

Kegagalan PMT dapat terjadi untuk mendeteksi arus gangguan yang seharusnya sudah terbuka tapi gagal, disebabkan karena lemahnya baterai, terputusnya rangkaian trip atau gangguan mekanis pada PMT, hal ini perlu adanya cadangan pengaman seperti yang telah dijelaskan di atas.



Gambar 2.2 Daerah pengamanan sistem tenaga listrik²

Keterangan gambar :

- 1) Pengaman utama generator-trafo (Differential Relay)
- 2) Pengaman cadangan lokal generator-trafor, pengaman cadangan busbar A (*Over Current Relay*)
- 3) Pengaman utama busbar A (Differential Busbar)
- 4) Pengaman utama saluran AB (*Distance Relay zone 1 di A1*)



- 5) *Distance Relay* zone 2 di A1, pengaman utama busbar B, pengaman cadangan-jauh sebagian trafo di B
- 6) *Distance Relay* zone 3 di A1, pengaman cadangan-jauh trafo di B sampai di busbar C
- 7) Pengaman utama trafo (Differential Relay)
- 8) Pengaman cadangan lokal trafo (Over Current Relay 150 kV), pengaman cadangan-jauh busbar C
- 9) Pengaman distribusi (OCR dan GFR)
- 10) Pengaman distribusi (OCR dan GFR)/ Recloser
- 11) Pengaman distribusi (OCR dan GFR)/ Recloser

2.8. Rele Arus Lebih³

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 digunakan sebagai pola pengamanan arus lebih atau hubung singkat. Rele arus lebih tidak hanya bekerja karena adanya kenaikan arus tetapi yang terpenting adalah kemampuan rele untuk mendeteksi atau memonitor kenaikan arus bila telah melampaui batas arus dan waktu yang telah ditentukan. Unjuk kerja (*performance*) rele dipengaruhi oleh konstruksinya yaitu dengan prinsip elektromekanik atau elektronik dengan saklar statis.

2.7.1. Keuntungan dan Fungsi Rele Arus Lebih¹

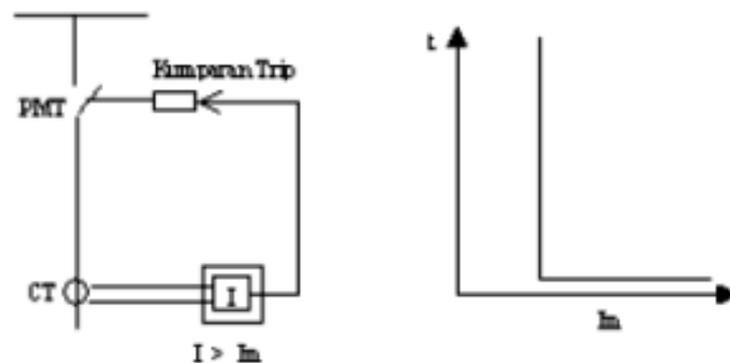
- Sederhana dan murah.
- Mudah penyetelannya.
- Merupakan rele pengaman utama dan cadangan.
- Mengamankan gangguan hubung singkat antar fasa maupun hubung singkat satu fasa ke tanah dan dalam beberapa hal dapat digunakan sebagai beban lebih (*overload*).
- Pengaman utama pada jaringan distribusi dan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



2.7.2. Karakteristik Waktu Kerjanya

a) Rele Arus Lebih Seketika (*Moment*)

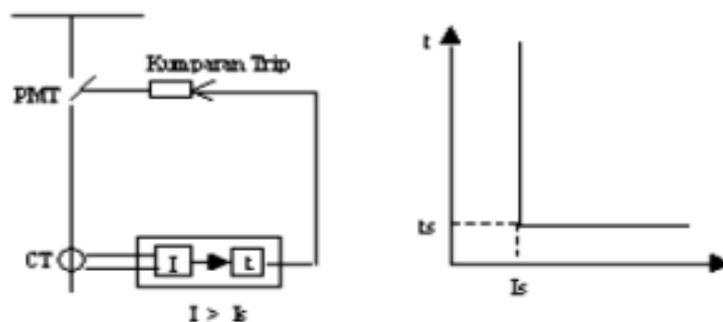
Rele arus lebih dengan karakteristik waktu kerja seketika (*moment*) ialah jika jangka waktu rele mulai saat rele arusnya pick up sampai selesainya kerja rele sangat singkat (20-100 ms), yaitu tanpa penundaan waktu. Rele ini umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu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



Gambar 2.3 Karakteristik Instantaneous Relay¹

b) Rele Arus Lebih dengan Karakteristik Waktu Tertentu (*definite time*)

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

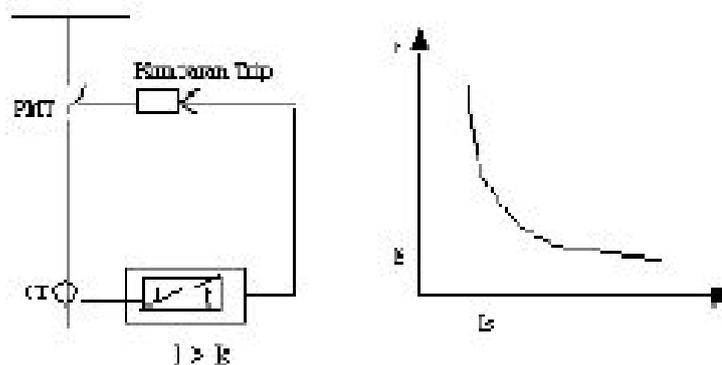


Gambar 2.4 Karakteristik Rele Arus lebih Waktu Tertentu¹



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

Rele arus lebih 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 2.5 Karakteristik Rele Waktu Terbalik¹

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*)

d) Rele Arus Lebih Inverse Definite Minimum Time

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



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

2.9. Data Yang Diperlukan⁵

Secara umum, data yang diperlukan untuk melakukan penyetelan rele arus lebih antara lain :

1. Diagram satu garis sistem tenaga listrik yang mau diproteksi. Data yang diperlihatkan pada diagram satu garis antara lain adalah jenis dan rating peralatan proteksi, serta trafo arus terkait dengan sistem proteksi tersebut.
2. Impedansi semua elemen (trafo, mesin, saluran transmisi dan sebagainya) dalam ohm, persen, atau dalam unit.
3. Besar arus hubung singkat maksimum dan minimum yang dapat mengalir pada masing-masing perangkat proteksi.
4. Besar arus beban maksimum yang dapat mengalir melalui perangkat proteksi.
5. Besar arus *strating* motor dan waktu *starting* motor induksi.
6. Besar arus serbu (*inrush*) trafo, ketahanan panas dan karakteristik kerusakan atau *damages characteristic*.
7. Kurva arus gangguan yang memperlihatkan derajat penurunan dari arus gangguan yang dapat dialirkan dari generator.
8. Kurva kinerja trafo arus.

Dalam koordinasi proteksi, perhitungan setelan rele adalah pekerjaan pertama yang perlu dilakukan. Pekerjaan ini dilakukan berdasarkan besarnya arus gangguan maksimum yang diperlukan untuk menentukan lama waktu *tripping* tercepat yang bisa dicapai dan sekaligus juga untuk memastikan apakah rele tersebut tetap dapat bekerja pada arus gangguan maksimum yang mungkin terjadi pada tempat yang lebih jauh dari posisi rele.

⁵ Pandjaitan, Bonar. 2012. "Paraktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik". Yogyakarta: CV Andi Offset Yogyakarta



Cara yang biasa dilakukan dalam koordinasi rele adalah dengan menggambarkan kurva rele peralatan proteksi termasuk proteksi lain seperti misalnya sebuah sekering yang dirancang bekerja secara seri dengan peralatan yang diproteksi. Biasanya parameter proteksi dinyatakan pada level tegangan terendah atau pada daya dasar (MVA base) atau dinyatakan secara terpisah satu sama lain berdasarkan sistem tegangannya.

Prinsip-prinsip dasar yang diperlihatkan dalam koordinasi rele supaya sistem proteksi berfungsi dengan baik antara lain adalah :

1. Sejauh mungkin menggunakan rele dengan kurva karakteristik yang sama yang akan tersambung secara seri satu sama lain.
2. Pastikan bahwa rele dengan lokasi yang terjauh dari sumber mempunyai setelan arus sama atau kurang dari rele di belakangnya, yaitu bahwa arus primer yang dibutuhkan untuk mengoperasikan rele di depan selalu sama atau kurang dari arus primer yang diperlukan untuk mengerjakan rele di belakangnya.

2.10. Setelan Arus

Rele arus lebih mempunyai arus kerja maksimum yang disebut setelan arus rele tersebut. Setelan arus harus dipilih sedemikian rupa sehingga rele tidak akan bekerja pada arus beban maksimum yang mungkin timbul pada jaringan yang akan diproteksi, tetapi harus bekerja pada arus yang sama atau lebih dengan arus gangguan minimum yang bisa terjadi. Meskipun menggunakan setelan arus yang persis hanya di atas arus beban maksimum dalam jaringan, namun pada tingkat tertentu sistem juga dilengkapi dengan proteksi lain yang dapat bekerja terhadap arus beban lebih. Perlu diingat bahwa fungsi utama rele arus lebih adalah untuk mengisolasi gangguan utama (hubung singkat) dan bukan sebagai rele proteksi beban lebih.

Pada umumnya, setelan arus dipilih di atas arus beban maksimum yang dapat ditahan oleh jaringan dalam waktu singkat. Mengingat rele-rele mempunyai



sifat-sifat histeris pada nilai setelan arus mereka, maka setelan arus harus dibuat cukup tinggi untuk memungkinkan rele reset pada kondisi arus nominalnya. Besarnya histeris dalam setelan arus ditandai dengan rasio perbandingan *pick-up* dan *drop-off* rele tersebut yang besarnya sekitar 0,95. Inilah alasan mengapa setelan arus minimum suatu rele dibuat paling sedikit 1.05 kali dari arus hubung singkat nominal.

2.11. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat²

• Perhitungan Arus gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Impedansi yang digunakan adalah impedansi urutan positif ekuivalen. Perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{3fasa} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} = \frac{kV/\sqrt{3}}{Z_{1eq}} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$I_{2fasa} = \frac{E_{ph-ph}}{2.x Z_{1eq}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

I_{3fasa} = Arus gangguan hubung singkat 3 fasa

I_{2fasa} = Arus gangguan hubung singkat 2 fasa

E_{ph-ph} = Tegangan fasa-fasa

V_{ph} = Tegangan fasa-netral

Z_{1eq} = Impedansi Z_1 ekuivalen

Sebelum menghitung arus gangguan hubung singkat pada sistem terlebih dahulu hal yang harus dihitung adalah menghitung impedansi sumber, reaktansi trafo, impedansi penyulang dan impedansi ekuivalen jaringan.



Setelah mendapatkan nilai dari hasil perhitungan ketiga hal tersebut, barulah kita dapat menghitung gangguan arus hubung singkat dan nilai gangguan arus hubung singkat itu digunakan untuk menentukan langkah *setting* rele arus lebih.

2.12. Perhitungan Impedansi Sumber

Impedansi sumber diambil dari arus beban puncak yang mengalir dari sistem interkoneksi ke Gardu Induk atau *Gas Insulated Switchgear* (GIS). Perhitungan impedansi sumber didapatkan dari rumus berikut ini :

$$MVA_{\text{hubung-singkat}} = \sqrt{3} \times V \cdot I \text{ (MVA)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan menyelesaikan persamaan di atas dihasilkan :

$$X_{sc} = \frac{kV^2}{MVA_{\text{hubung-singkat}}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Perlu diingat bahwa impedansi sumber ini adalah nilai tahanan pada sisi primer, karena arus gangguan hubung singkat yang akan dihitung adalah gangguan hubung singkat pada sisi sekunder, maka impedansi sumber itu harus dikonversikan dulu ke sisi sekunder. Untuk mengkonversikan impedansi tersebut, dilakukan dengan cara berikut ini :

$$Z_2 = \frac{kV_2^2(\text{sekunder})}{kV_1^2(\text{primer})} \times X_{sc} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

X_{sc} = Impedansi transformator tenaga sisi primer

Z_2 = Impedansi transformator tenaga sisi sekunder

kV_1 = Tegangan transformator tenaga sisi primer

kV_2 = Tegangan transformator tenaga sisi sekunder



2.13. Perhitungan Reaktansi Trafo

Sebelum menghitung reaktansi trafo, hitung impedansi dasar pada trafo (100%) sisi sekunder. Data yang dibutuhkan yaitu daya yang digunakan pada trafo dan ratio tegangan pada trafo. Untuk perhitungan impedansi dasar pada trafo (100%) digunakan rumus berikut ini :

$$X_T (\text{pada } 100\%) = \frac{(kV)^2}{(MVA)} \dots\dots\dots (2.6)$$

Nilai impedansi urutan positif, negatif ($X_{T1} = X_{T2}$) transformator tenaga :

$$X_{T1} = X_{T1} (\%) \times X_T (\text{pada } 100\%) \dots\dots\dots (2.7)$$

- Sebelum menghitung reaktansi urutan nol (X_{t0}) terlebih dahulu harus diketahui data trafo tenaga itu sendiri yaitu data kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo :

- ✓ Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan ΔY dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan bintang, maka :

$$X_{t0} = X_{t1} \dots\dots\dots (2.8)$$

- ✓ Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan $YY\Delta$ dimana kapasitas belitan delta adalah sepertiga dari kapasitas bintang (belitan Y adalah belitan yang digunakan untuk menyalurkan daya, sedangkan untuk belitan Δ tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilainya adalah :

$$X_{t0} = 3 \times X_{t1} \dots\dots\dots (2.9)$$

- ✓ Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka untuk menghitung besarnya X_{t0} berkisar antara :

$$9 \text{ s.d } 14 \times X_{t1} \dots\dots\dots (2.10)$$



2.14. Perhitungan Impedansi Penyulang

Impedansi penyulang yang akan dihitung di sini tergantung dari besarnya impedansi per km (km/ohm) dari penyulang yang dihitung, dimana nilainya ditentukan oleh jenis penghantar, luas penampang dan panjang jaringan SUTM.

Nilai impedansi penyulang disimulasikan gangguan untuk lokasi 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, sehingga dapat dihitung dengan rumus berikut ini :

$$\text{Impedansi Penyulang} = \text{Panjang Penyulang} \times Z \text{ per km} \dots\dots\dots (2.11)$$

2.15. Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan impedansi ekuivalen jaringan adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekuivalen urutan positif dan impedansi ekuivalen urutan negatif dari titik gangguan sampai ke sumber.

Perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} langsung dapat menjumlahkan impedansi-impedansi yang ada, yaitu dengan menjumlahkan impedansi sumber, impedansi trafo dan impedansi penyulang.

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_s + Z_{tl} + Z_{l \text{ penyulang}} \dots\dots\dots (2.12)$$

2.16. Perhitungan Setting Rele Arus Lebih

1. Setelan arus⁶

Rumus yang digunakan untuk menghitung setelan arus sisi primer yaitu :

$$I_{set(primer)} = 1-1,2 \times I_n \text{ Peralatan Terkecil} \dots\dots\dots (2.13)$$

Setelah mendapatkan nilai arus sisi primer, untuk mendapatkan nilai sekunder yang disetkan pada rele arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan ratio *Current Trafo* (CT) atau trafo arus yang terpasang di penyulang tersebut, yaitu sebagai berikut :

⁶ PT. PLN (Persero). "Perhitungan Setting Relai Proteksi Gardu Induk". Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan



$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{ratio\ CT} \dots\dots\dots (2.14)^2$$

Keterangan :

I_{set} (primer) : Arus yang disetting di sisi primer

I_{set} (sekunder) : Arus yang disetting di sisi sekunder

Ratio CT : Setting trafo arus yang dipasang di penyulang

2. Setelan Waktu (tms)²

Untuk setelan waktu rele *standart inverse* dihitung dengan menggunakan rumus kurva waktu dan arus. Rumus ini bermacam-macam sesuai dengan pabrikan pembuatan rele, dalam hal ini diambil rumus kurva waktu dan arus standar British, sebagai berikut :

$$tms = \frac{t \left\{ \left(\frac{I_{fault\ 3\ fasa}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right\}}{0,14} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left\{ \left(\frac{I_{fault\ 3\ fasa}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right\}} \dots\dots\dots (2.16)$$

keterangan :

t = Waktu tripnya rele sesuai dengan arus gangguan (detik)

tms = Time Multiple Setting pada OCR atau GFR (tanpa satuan)

I_{fault} = Besarnya arus gangguan hubung singkat (amp)

I_{set} = Arus *setting* primer pada OCR

2.17. Pemeriksaan Selektifitas Kerja Rele Arus Lebih

Hasil perhitungan setelan rele arus lebih yang didapat masih harus diperiksa, apakah untuk nilai arus gangguan hubung singkat yang lain. Pemeriksaan ini dilakukan terutama pada rele arus lebih dari jenis *standart inverse*, karena setelan waktu (tms) pada rele arus lebih jenis *standart inverse* bukan menunjukkan lamanya waktu kerja rele tersebut. Lamanya waktu kerja rele tersebut ditentukan oleh besarnya arus yang mengalir pada rele. Semakin besar arus gangguan hubung singkat yang mengalir pada rele semakin cepat juga rele tersebut bekerja atau menutup kontaknya, kemudian memberikan tripping PMT.



Pemeriksaan ini dilakukan dengan bermacam-macam nilai gangguan hubung singkat sesuai hasil perhitungannya, dengan menggunakan persamaan *standart inverse*.

2.18. Bilangan Kompleks⁷

Bilangan kompleks dapat digunakan untuk operasi matematika dasar yaitu: penambahan, pengurangan, perkalian dan pembagian. Beberapa ketentuan dasar dan definisi harus dipahami sebelum menggunakan operasi ini.

Penulisan bilangan kompleks sebagai berikut:

1. Bentuk rektangular (Cartesian): $C = a + jb$

$a =$ bagian rill (nyata)

$b =$ bagian imajiner (khayal)

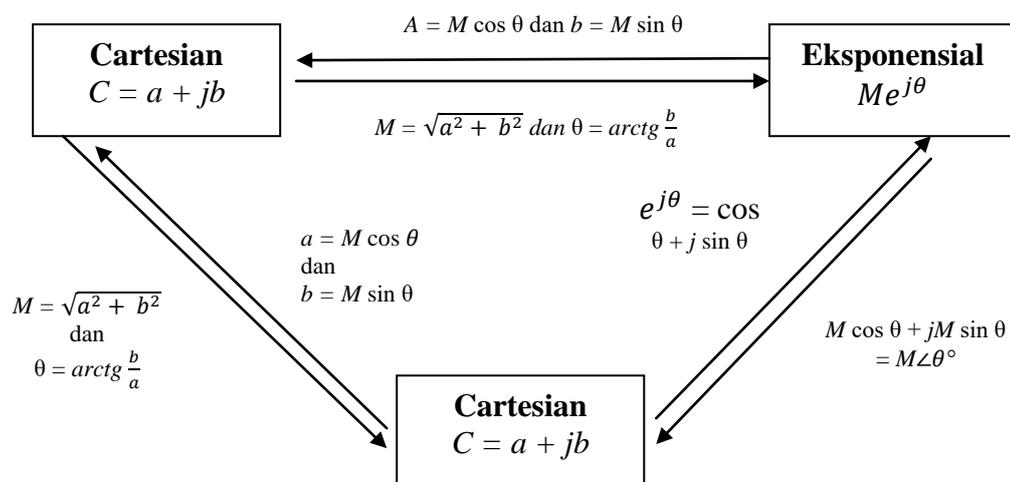
2. Bentuk Polar: $C = M \angle \theta^\circ$

$M =$ bagian magnituda

$\theta =$ bagian sudut phasa

3. Bentuk eksponensial: $C = Me^{j\theta}$

Hubungan antara bentuk Cartesian, bentuk Polar dan Eksponensial:



⁷ Ratnadewi, Agus Prijono dkk. 2015. "Dasar-dasar Rangkaian Listrik". Bandung: Alfabeta Bandung.



Contoh:

1. Ubahlah bentuk rektangulär berikut menjadi bentuk polar:

- $1 + j10$

Jawab:

$$M = \sqrt{(1)^2 + (10)^2} = \sqrt{101} = 10,05$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{10}{1} = 84,255^\circ$$

$$C = 10,05 \angle 84,255^\circ$$

2. Ubahlah bentuk polar berikut menjadi bentuk rektangulär:

- $15 \angle 5^\circ$

Jawab:

$$A = 15 \cos 5^\circ = 14,94$$

$$B = 15 \sin 5^\circ = 1,307$$

$$C = 14,94 + j1,307$$

2.19. Nomenklatur Kabel⁸

Tabel 2.1 Nomenklatur Kabel

Kode	Penjelasannya
N	Kabel standar atau penghantar berisolasi dengan penghantar tembaga sebagai inti.
A	Penghantar aluminium Contoh kabel: NAYY, NAYFGbY
A	Kabel berisolasi tunggal Contoh kabel: NYA, NGA, NYAF
A	Selubung perlindungan luar Contoh kabel: NKBA, NEKBA
AA	Dua lapisan selubung perlindungan luar Contoh kabel: NKZAA
B	Perisai pita baja Contoh kabel: NYBY
B	Selubung timah hitam (timbel) Contoh kabel: NYBUY

⁸ Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL). 2000. Lampiran C "Nomenklatur Kabel".



C	Kosentris penghantar tembaga Contoh kabel: NYCY
C	Selubung penghantar dibawah selubung luar Contoh kabel: NHSSHCu
CE	Penghantar kosentris pada masing-masing inti, dalam hal kabel berurat banyak Contoh kabel: NYCEY
CW	Penghantar kosentris pada masing-masing inti, yang dipasang secara berlawanan arah Contoh kabel: NYCWY
D	Spiral anti tekanan
E	Kabel dengan urat yang masing-masing berselubung logam Contoh kabel: NEKBA
F	Persai kawat baja pipih Contoh kabel: NYFGbY
F	Penghantar kawat halus Contoh kabel: NYAF
FA	Kabel lampu Contoh kabel: NYFA, NYFAZ, NYAFD
fl	Pipih Contoh kabel: NYLHYfl, NYMHYfl
G	Spiral dari kawat baja pipih Contoh kabel: NYKRG
G	Selubung isolasi dari karet Contoh kabel: NGA
2G	Selubung isolasi dari karet tahan panas Contoh kabel: N2GAU
Gb	Spiral dari pita baja Contoh kabel : NYFGbY
H	Pelindung medan electromagnet Contoh kabel: NHKBA
H	Selubung luar dari karet Contoh kabel : NLH, NMH, NSHöu



HY	Selubung luar dari bahan buatan Contoh kabel : NYLHY, NYMHY
J	System J: dengan urat berwarna majemuk hijau kuning Contoh kabel: NYRGbY J 4×6 re
K	Selubung dari timah hitam (timbel) Contoh kabel: NKA
KL	Selubung aluminium dengan permukaan licin Contoh kabel: NKLY
KWK	Selubung dari pita baja tembaga yang terpasang dan di las memanjang Contoh kabel : NKWK2Y
L	Perisai dari jalinan kawat baja bulat Contoh kabel: NTRLA
NI	Kabel bertekanan gas Contoh kabel: NIKLDEY
NO	Kabel bertekanan minyak Contoh kabel : NOKDEFOA
NP	Kabel dalam pipa bertekanan gas
O	System O: urat berwarna majemuk tanpa hijau kuning Contoh kabel: NYYFGbY O 3×120 sm
O	Perisai terbuka dari kawat-kawat baja Contoh kabel: NKROA
PL	Kabel gantung Contoh kabel: NPL, NYPLYw
Q	Jalinan (<i>braid</i>) kawat-kawat baja berselubung seng (<i>zinc coated</i>) Contoh kabel: NYKQ
R	Perisai dari kawat baja bulat Contoh kabel: NYRGbY
RR	Dua lapisan perisai kawat baja bulat Contoh kabel: NKRRGbY



rd	Bulat Contoh kabel: NYLHYrd, NYMHYrd
re	Penghantar padat bulat Contoh kabel: NYRGbY 4×10 re
rm	Penghantar bulat kawat banyak Contoh kabel: NYFGbY 4×25 rm
S	Kabel khusus Contoh kabel : NSYA, NSYAF
S	Pelindung (<i>shield</i>) dari tembaga Contoh kabel: NYSY
SL	Kabellas Contoh kabel : NSLFFöu
se	Penghantar padat bentuk sector Contoh kabel : NAYFGbY 3×120 se
sm	Penghantar kawat banyak bentuk sector Contoh kabel: NYFGbY 4×70 sm
T	Kawat gantung Contoh kabel: NYMT
W	Tahan cuaca Contoh kabel: NSYAW
w	Tahan panas Contoh kabel : NYFAw, NYFAZw
Y	Selubung isolasi dari PVC Contoh kabel: NYA, NYM, NYY
Y	Selubung luar dari PVC Contoh kabel: NYFGbY
Z	Perisai dari kawat baja yang masing-masing mempunyai bentuk “Z” Contoh kabel: NKZAA
Z	Kabel dengan pengurangan beban tarik Contoh kabel: NYMZ
Z	Selubung logam dari pita seng Contoh kabel: NYRUZY



Jenis-jenis kabel:

- NYA

N = Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga

Y = Isolasi PVC

A = Kabel tunggal

- NYM

N = Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga

Y = Isolasi PVC

M = Inti kabel lebih dari satu

- NYAF

N = Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga

Y = Isolasi PVC

A = Kabel tunggal

F = Penghantar kawat halus serabut

- NGA

N = Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga

G = Isolasi karet

A = Kabel tunggal

- NYM

N = Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga

Y = Isolasi PVC

M = Inti kabel lebih dari satu

H = Kabel fleksibel (serabut)

Y = Selubung luar isolasi PVC



- NYY

- N = Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga
- Y = Isolasi PVC
- Y = Selubung luar isolasi PVC

- NYYHY

- N = Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga
- Y = Isolasi PVC
- Y = Selubung luar isolasi PVC
- H = Kabel fleksibel (serabut)
- Y = Selubung luar isolasi PVC

- NYRGbY

- N = Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga
- Y = Isolasi PVC
- R = Pelindung kawat baja bulat
- Gb = Spiral dari pita baja
- Y = Selubung luar isolasi PVC

- NYFGbY

- N = Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga
- Y = Isolasi PVC
- F = Pelindung kawat baja bulat
- Gb = Spiral dari pita baja
- Y = Selubung luar isolasi PVC

- NYHGbY

- N = Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga
- Y = isolasi PVC
- H = Kabel Untuk Alat Bergerak



Gb = Spiral dari pita baja
Y = Selubung luar isolasi PVC

- AAAC

A = All
A = Aluminium
A = Alloy
C = Conductor

- NYBY

N = Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga
Y = Isolasi PVC
B = Perisai pita baja
Y = Selubung luar isolasi PVC

- NKA

N = Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga
K = Selubung dari timah hitam
A = Kabel tunggal

- NYSY

N = Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga
Y = Isolasi PVC
S = Pelindung dari tembaga
Y = Selubung luar isolasi PVC

- NKLY

N = Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga
KL = Selubung aluminium dengan permukaan licin
Y = Selubung luar isolasi PVC