



2.2 Prinsip Dasar Sistem Rele Pengaman

Sistem rele pengaman pada sistem tenaga listrik tidak akan beroperasi selama sistem tersebut berada di dalam keadaan normal, akan tetapi sistem rele pengaman harus cepat beroperasi dengan baik bila terjadi suatu gangguan atau keadaan tidak normal untuk mencegah kerusakan yang fatal terhadap peralatan-peralatan listrik.

Penggunaan peralatan pada sistem rele pengaman ini harus disesuaikan dengan tujuan dan fungsinya. Pada umumnya sistem rele pengaman digunakan untuk mendeteksi dan mengamati kondisi tidak normal yakni gangguan hubung singkat yang dapat mengganggu kestabilan sistem.

Untuk sistem rele pengaman yang mendeteksi gangguan terdapat dua jenis proteksi, yaitu:

- a. Pengaman utama yang pada umumnya selektif dan cepat, dan malah jenis tertentu memiliki jenis selektifitas mutlak misalnya rele differensial.
- b. Pengaman cadangan umumnya mempunyai perlambatan waktu hal ini untuk memberikan kesempatan pada pengaman utama bekerja terlebih dahulu dan jika pengaman utama gagal maka pengaman cadangan bekerja².

Adapun penyebab kegagalan bekerjanya pengaman utama yaitu:

- a. Arus atau tegangan yang menyuplai rele mengalami kegagalan atau tidak sempurna.
- b. Kegagalan pada sumber dc tripping.
- c. Kegagalan pada pemutus tenaga (PMT) itu sendiri, baik pada mekanisnya maupun pada rangkaian pemutusannya.

Tidak semua bagian atau peralatan sistem tenaga listrik mempunyai kedua jenis sistem rele tersebut diatas, hal ini adalah sangat tergantung pada tingkat kepentingan peralatan sistem tenaga listrik itu sendiri dan besarnya akibat gangguan yang mungkin terjadi³.

² Hazairin Samaulah, 2004, hal.5

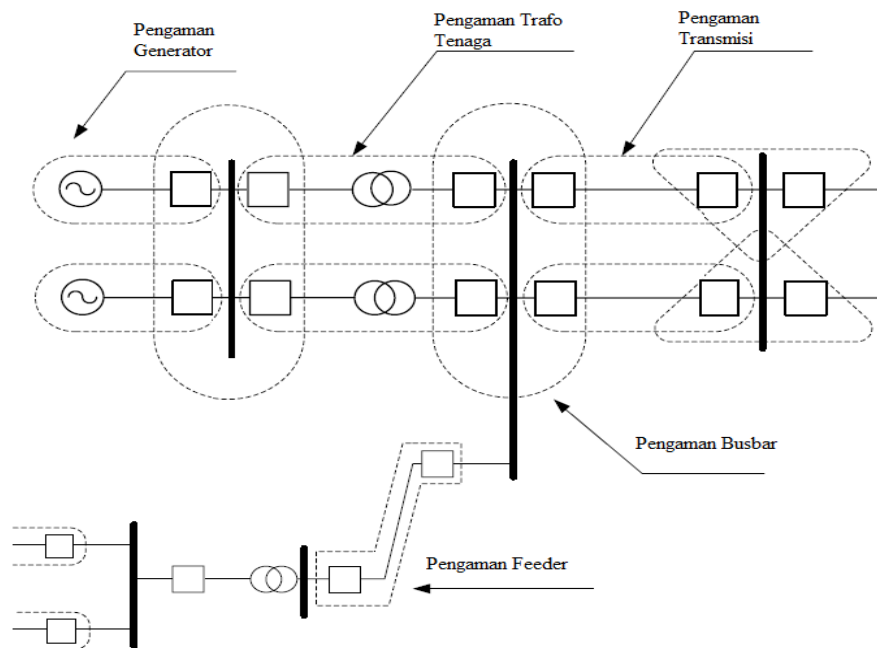


2.3 Daerah Pengamanan Rele Proteksi

Sistem tenaga listrik yang dibagi dalam daerah pengamanan adalah:

1. Generator
2. Transformator daya
3. Busbar
4. Transmisi
5. Feeder

Pembagian dalam 5 daerah pengamanan dilaksanakan dengan saling berhubungan meliputi daerah pengaman didekatnya. Sebagai contoh sistem tenaga listrik dan daerah pengamanannya Diperlihatkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pengaman Utama Pada Sistem Tenaga⁴

2.4 Syarat – Syarat Rele Pengaman

Bilamana terjadi suatu gangguan di dalam rangkaian listrik, instalasi harus diamankan dan bagian yang terganggu harus dipisahkan dalam waktu yang secepatnya guna mencegah atau memperkecil kerusakan yang diakibatkan oleh gangguan tersebut. Hal ini perlu dilakukan secara otomatis dan selektif, sehingga

⁴ Hazairin Samaulah, Dasar – Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik: hal 11



bagian instalasi yang tidak terganggu dapat berfungsi secara kontinyu. Untuk itu rele pengaman harus mempunyai sifat – sifat utama suatu pengaman, yaitu:

1. Selektifitas

Sistem proteksi harus selektif dan memilih dengan tepat bagian mana dari instalasi yang terganggu dan harus dipisahkan dari rangkaian yang tidak terganggu dan harus terus beroperasi.

2. Sensitifitas

Sistem proteksi perlu memiliki suatu tingkat sensitifitas tinggi, agar gangguan dapat dideteksi sedini mungkin sehingga bagian yang terganggu, atau kemungkinan terjadinya kerusakan menjadi sekecil mungkin.

3. Andal

Sistem proteksi perlu memiliki suatu taraf keandalan yang tinggi dan senantiasa dapat bekerja pada kondisi – kondisi gangguan yang terjadi.

4. Cepat

Sistem proteksi perlu memiliki tingkat kecepatan sebagaimana ditentukan, sehingga meningkatkan waktu pelayanan, keamanan manusia dan peralatan, serta stabilitas operasi.

5. Perluasan sistem

Sistem proteksi harus didesain sedemikian rupa sehingga tidak akan mengganggu kemungkinan perluasan instalasi atau jaringan di waktu yang akan datang⁵.

2.5 Bagian Dari Suatu Sistem Proteksi

Dalam usaha untuk meningkatkan keandalan penyediaan dan penyaluran energi listrik, kebutuhan sistem proteksi yang memadai tidak dapat dihindarkan. Sistem proteksi atau pengaman tenaga listrik tersebut adalah merupakan suatu kesatuan antara PMT atau CB, transduser dan rele. Adanya kesalahan dari salah satu komponen tersebut dapat berakibat sistem proteksi tersebut tidak dapat berjalan dengan baik.

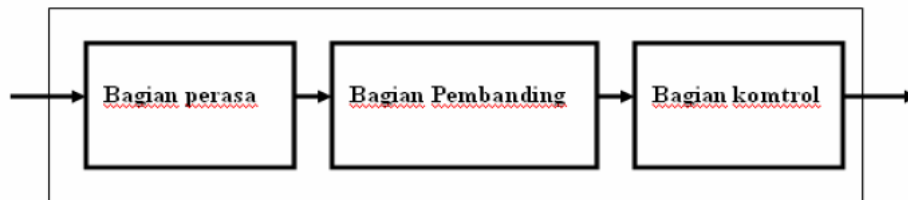
⁵ Hazairin Simaulah, 2004, Dasar –dasar sistem proteksi tenaga listrik: hal.93



2.5.1 Rele

Rele proteksi adalah susunan peralatan pengaman yang dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau ketidakstabilan sistem yang kemudian secara otomatis dapat memberikan respon berupa sinyal untuk menggerakkan sistem mekanisme pemutus tenaga untuk memisahkan sistem yang terganggu sehingga sistem yang lainnya dapat beroperasi secara normal.

Secara garis besar bagian dari sistem proteksi terdiri dari tiga bagian utama, seperti gambar di bawah ini:



Gambar 2.3 Bagian rele pengaman⁶

- Bagian perasa
Pada bagian ini, perubahan dari besaran ukur yang dirasakan yang selanjutnya diteruskan ke bagian pembanding.
- Bagian pembanding
Yang akan membandingkan dan menentukan apakah besaran ukur itu masih dalam keadaan normal atau tidak.
- Bagian kontrol
Pada bagian ini pembukaan pemutus tenaga (PMT) atau pemberian sinyal/tanda diatur dan dilaksanakan⁷.

2.5.2 Transformator Ukur

Sebagai alat yang mentransfer besaran listrik primer dari sistem yang diamankan ke rele (besaran listrik sekunder), transformator arus (CT) berfungsi sebagai pengindera yang apakah keadaan yang diproteksi dalam keadaan normal atau mendapatkan gangguan. Transformator arus adalah suatu transformator yang

⁶ Hazairin Simaulah, Dasar – Dasar istem Proteksi Tenaga Listrik, hal.12

⁷ Hazairin Simaulah, Dasar – Dasar istem Proteksi Tenaga Listrik, hal.69



berfungsi mengubah besaran arus primer yang tinggi menjadi arus sekunder yang lebih rendah serta memisahkan sisi sekundernya dengan sisi primer secara listrik dari jaringan tegangan tinggi.

2.5.3 *Circuit breaker* (CB) / Pemutus tenaga (PMT)

PMT berfungsi untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu. PMT dapat dioperasikan yaitu ditutup atau dibuka dengan mempergunakan sistem proteksi. Dengan demikian sebuah pemutus tenaga dapat secara otomatis membuka suatu rangkaian bilamana arus saluran, tegangan saluran atau frekuensi sistem melampaui batas tertentu.

Jenis – jenis pemutus tenaga berdasarkan media pemutusannya yaitu:

1. Pemutus tenaga minyak (oil circuit breaker)

Pemutus tenaga minyak terdiri atas sebuah tangki atau bejana yang terbuat dari baja yang diisikan dengan minyak isolasi. Pada salah satu versi, isolator tembus (*bushing*) memasukkan tegangan fasa dan dihubungkan dengan suatu kontak tetap yang tidak bergerak. Kontak yang bergerak dikendalikan oleh rele yang dapat menutup atau membuka rangkaian.

Ketika rangkaian berada dalam keadaan tertutup, dan kontak tetap lalu kontak bergerak berada dalam keadaan terhubung maka arus listrik mengalir. Bilamana beban lebih sehingga arus lebih bekerja, kontak bergerak akan ditarik keluar dari kontak tetap agar hubungan jaringan menjadi terbuka. Pada saat kedua kontak membuka, terjadi suatu busur api yang sangat kuat dan juga gas – gas panas. Tekanan dari gas panas inilah yang menyebabkan terjadinya turbulensi dari minyak sekitar busur api. Hal itu mengakibatkan minyak yang dingin mengitari busur api dan memadamkannya. Pada pemutus tenaga minyak yang modern busur api dialokasikan dalam ruang pemadam sehingga tekanan gas panas menghasilkan suatu semburan minyak melintasi busur api.



2. Pemutus tenaga udara tiup (air blast circuit breaker)

Pemutus tenaga udara tiup tidak menggunakan minyak. Pada pemutus jenis ini udara bertekanan tinggi dengan kecepatan supersonic melintasi busur api. Udara bertekanan tinggi itu disimpan dalam sebuah tangki dan diisi sebuah compressor, sehingga pemutus tenaga udara bertekanan dengan daya besar dapat membuka arus hubung singkat sebesar 40 kA pada tegangan 500 kV. Kebisingan yang terjadi saat pelepasan udara itu sedemikian nyaring sehingga lebih menyerupai ledakan yang dahsyat. Bilamana GI terletak dekat daerah pemukiman, perlu diatus agar kebisingan itu dikurangi.

3. Pemutus tenaga SF6 (SF6 circuit breaker)

Pemutus tenaga SF6 merupakan sistem yang sepenuhnya tertutup, dan diisolasi dengan gas Sulfur Hexafluorida (SF6). Jenis pemutus tenaga ini sangat baik namun mahal. Karena bentuknya yang kompak, peralatan yang berisolasi SF6 dipakai ditempat – tempat yang harga tanahnya tinggi, seperti di tengah kota besar. Kini terdapat pula GI yang berisolasi yang berisolasi gas SF6. Gas SF6 merupakan suatu terobosan sebagai bahan isolasi dan pemadaman bagi pemutus tenaga yang memiliki stabilitas termal yang tinggi, tidak beracun dan tidak mengganggu kelestarian lingkungan.

Pada tekanan yang sama, gas SF6 memiliki kekuatan dielektrik 2,5 sampai 3 kali dari udara dan juga pada tekanan yang lebih rendah, gagal isolasi masih tinggi, dan menyamai yang dari minyak atau bahan isolasi padat. Kemampuan isolasi SF6 untuk sebagian diperoleh dari sifatnya yang elektromagnetik sehingga menarik elemen – elemen bebas ke molekul.

4. Pemutus tenaga vakum (vacuum circuit breaker)

Pemutus tenaga vakum bekerja atas dasar prinsip lain, karena terdapat gas yang dapat berionisasi bilamana kontak – kontak terbuka.



Pemutus tenaga jenis ini tertutup secara rapi, tidak boleh bocor karena tidak terdapat kebisingan atau polusi. Kemampuannya terbatas hingga kira – kira 30 kV. Untuk tegangan yang lebih tinggi pemutus ini dipasang secara seri. Pemutus tenaga vakum banyak dipakai pada sistem bawah tanah ACR (automatic circuit recloser)⁸.

2.6 Rele Arus Lebih

Relay arus lebih adalah relay yang bekerja terhadap arus lebih, ia akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai settingnya (I set).

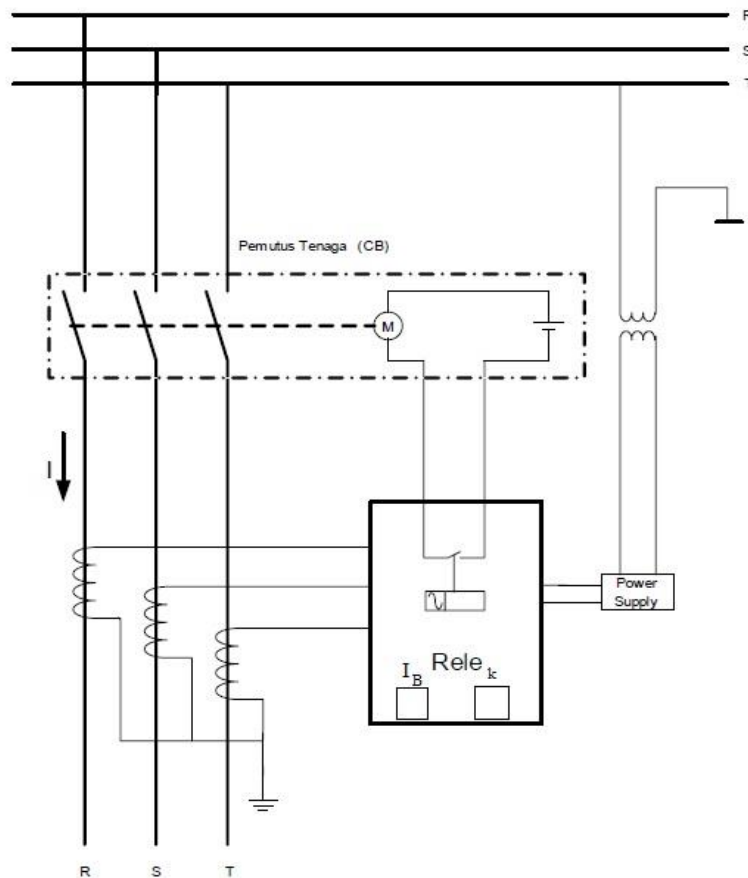
Prinsip kerja

Pada dasarnya relay arus lebih adalah suatu alat yang mendeteksi besaran arus yang melalui suatu jaringan dengan bantuan trafo arus. Harga atau besaran yang boleh melewatinya disebut dengan setting. Rele arus lebih tidak hanya bekerja karena adanya kenaikan arus, tetapi yang terpenting adalah kemampuan rele yang mendeteksi atau memonitoring kenaikan arus bila rele melampaui batas arus dan waktu yang telah di tentukan. Unjuk kerja (*performance*) rele dipengaruhi oleh konstruksinya yaitu dengan prinsip elektromekanik atau elektronik dengan saklar statis.

Keuntungan dan fungsi rele arus lebih

1. Sederhana dan murah
2. Mudah penyetelannya
3. Merupakan rele pengaman utama dan cadangan
4. Mengamankan gangguan hubung singkat antara fasa maupun hubungan singkat satu fasa ke tanah dan dalam beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih (overload)
5. Pengaman utama pada jaringan distribusi dan sub transmisi radial
6. Pengamanan cadangan untuk generator, trafo tenaga dan saluran transmisi

⁸ Hazairin Simaulah, Dasar – Dasar sistem Proteksi Tenaga Listrik, hal.89-92



Gambar 2.4. Hubungan Rele Arus Lebih pada jaringan⁹

Dalam hubungannya dengan kecepatan sensitifitas dari rele ada beberapa karakteristik rele tersebut, yaitu:

- Rele arus lebih waktu seketika (Instantaneous relay)
- Rele arus lebih waktu tertentu (definite time relay)
- Rele arus lebih waktu terbalik (inverse time relay)

2.6.1 Rele arus lebih waktu seketika (Instantaneous relay)

Rele waktu seketika ialah rele yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, rele akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). Rele ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik yang lain.

⁹ Bonar Panjaitan, Praktik- Praktik Proteksi Sistem tenaga listrik. Hal. 67



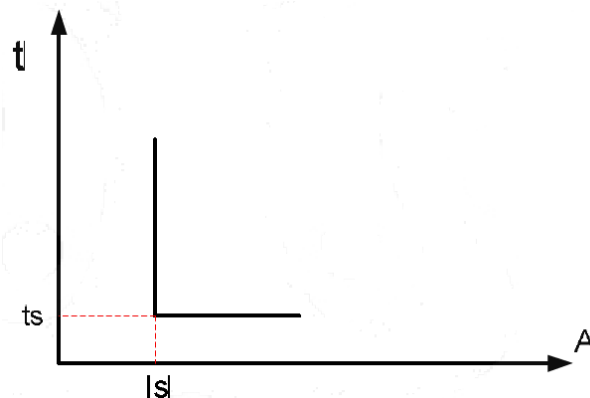
Gambar.2.5. Karakteristik rele waktu seketika

2.6.2 Rele arus lebih waktu tertentu (definite time relay)

Rele ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya (I_s), dan jangka waktu kerja rele mulai pick up sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan rele.

Keuntungan dan kerugian karakteristik rele ini adalah :

1. Koordinasi mudah, hanya dengan peningkatan waktu.
2. Tidak terpengaruh dengan kapasitas pembangkit.
3. Semakin dekat kesumber waktu kerja semakin panjang.

Gambar.2.6. Karakteristik rele waktu definite¹⁰

¹⁰ Sarimun Wahyudi, Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik, hal. 29



2.6.3 Rele arus lebih waktu terbalik

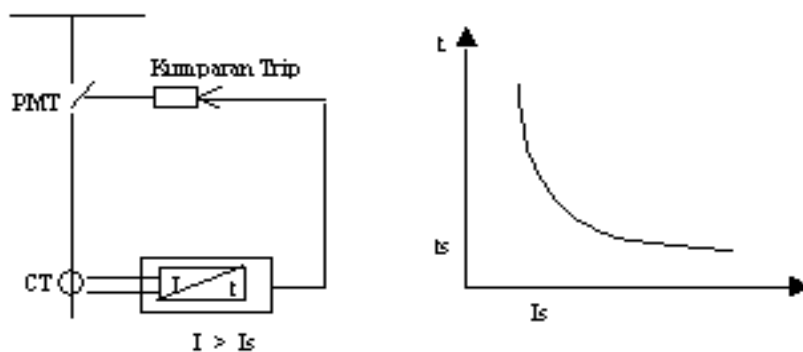
Rele ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (inverse time), makin besar arus makin kecil waktunya.

Keuntungan dan kerugian karakteristik rele ini adalah :

- Perlu perhitungan yang teliti terutama untuk kapasitas pembangkit yang berubah-ubah.
- Sebagai pengaman banyak saluran, inverse time dapat menekan akumulasi waktu, yang dapat memberikan pengamanan yang cepat baik diujung maupun didekat sumber.
- Sensitivitas terhadap perubahan pembangkit.

Karakteristik ini bermacam-macam, Setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda, karakteristik waktunya dibedakan dalam 4 kelompok :

- ⌚ Standar invers
- ⌚ Very inverse
- ⌚ extremely inverse
- ⌚ dan long time standard earth fault¹¹



Gambar.2.7. Karakteristik rele waktu Inverse¹²

¹¹ Bonar Panjaitan. *Praktik –praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Hal 72-73

¹² Sarimun Wahyudi, *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, hal. 34



2.7 Pengertian load shedding

Over Load Shedding (OLS) adalah suatu skema pelepasan beban yang mana diterapkan pada suatu relay yang akan menjalankan skema pelepasan beban tersebut dengan melepas penyulang atau membuka PMT. Input yang menjadi acuan OLS untuk bekerja adalah frekuensi atau arus. Adapun tujuan OLS adalah untuk mengamankan suplai daya untuk sebagian sistem yang masih dapat diselamatkan dari kemungkinan terjadi pemadaman total.

Dalam pelaksanaannya pelepasan beban dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu:

1. Pelepasan beban manual (Manual Load Shedding)
2. Pelepasan beban otomatis (Automatic Load Shedding)

2.8 Pelepasan Beban Manual (Manual Load Shedding)

Pelepasan beban secara manual hanya berlaku pada kondisi sistem yang tidak kritis dan dalam hal ini operator harus mengambil inisiatif sendiri untuk melepaskan sebagian beban.

Kekurangan –kekurangan pelepasan beban secara manual adalah sebagai berikut :

1. Diperlukan operator yang banyak
2. Dapat terjadi pelepasan beban berlebih (over shedding)
3. Kelambatan waktu bertindaknya operator.

Pada kondisi yang kritis dimana arus naik sangat cepat, tindakan pelepasan beban secara manual sulit untuk mengantisipasi kenaikan arus.

2.9 Pelepasan Beban Otomatis (Automatic Load Shedding)

Pelepasan beban secara otomatis direncanakan khusus untuk mengatasi kondisi sistem yang kritis. Alat yang dipakai dalam Tugas Laporan Akhir ini adalah jenis Pengaman Arus Lebih yang lebih dikenal dengan Overload Shedding (OLS). Alat ini khusus untuk mengatasi beban lebih dan bekerja akibat kenaikan arus yang melebihi suatu batas tertentu. Hal ini dilakukan agar OLS bekerja lebih



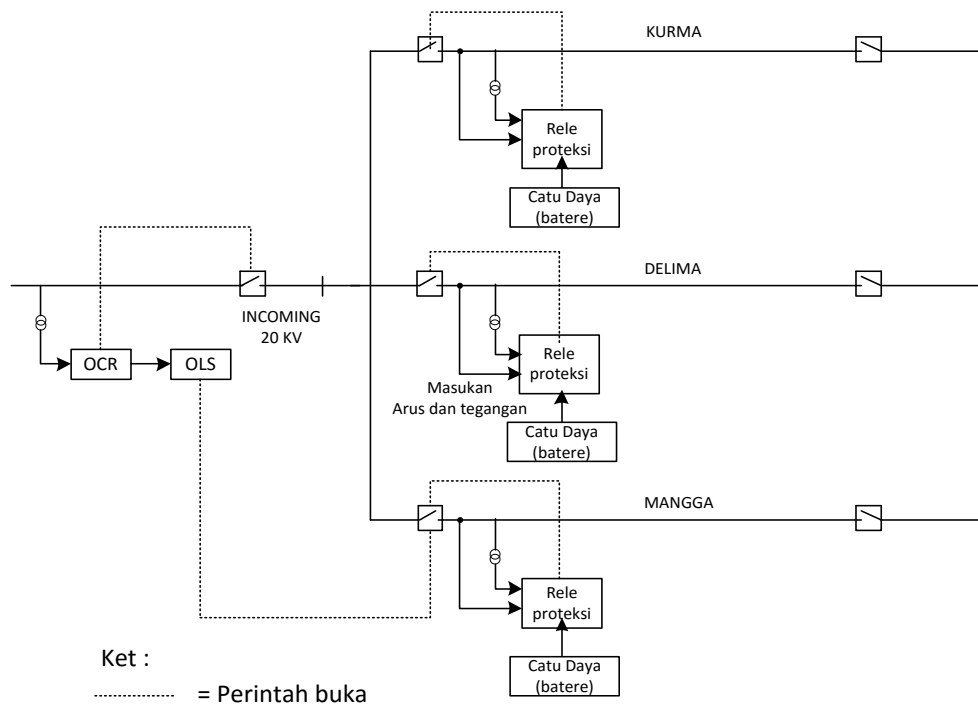
dahulu daripada pengaman hubung singkat pada saat terjadi gangguan beban lebih. Oleh sebab itu setting OLS harus dikoordinasikan dengan setting OCR yang mengatasi gangguan hubung singkat.

Cara kerja relai OLS diatas yaitu :

1. Relai OLS terletak di incoming 20 kV bekerja mentripkan PMT penyulang mangga apabila relai tersebut mencapai setting beban lebih sebesar 822,7 A.
2. Bila beban trafo mencapai setting overload (beban lebih) , Relai OLS bekerja dengan cara mengirim masukan / mengirim tegangan ke tripping coil PMT penyulang mangga (memberi perintah buka PMT mangga), sesuai waktu kerja yang sudah ditentukan yaitu 1 detik, menggunakan waktu tunda (definite).
3. Sesudah PMT penyulang mangga trip, maka indikasi yang keluar yaitu OLS yang terdapat pada relai micom P141 pada incoming 20 kV.
4. Koordinasi waktu relai OLS dan OCR pada incoming 20 kV dan juga OCR penyulang Mangga sangat dibutuhkan untuk selektifitas pada pengamanan gangguan.



Dibawah ini merupakan skema pelepasan beban relai OLS pada penyulang



Gambar 2.8 Rangkaian tripping OLS

2.10 Pelepasan Beban Lebih (Overload Shedding)

Pelepasan beban dilakukan secara bertahap agar sistem tidak mengalami pelepasan beban yang terlalu besar atau pelepasan beban yang tidak diperlukan.

Yang menjadi masalah pokok dalam merencanakan pelepasan beban suatu sistem tenaga listrik, adalah :

- Jumlah tingkat pelepasan beban
- Besar beban yang dilepas pada setiap tingkat
- Setting arus setiap tingkat
- Kelambatan waktu pada setiap tingkat pelepasan

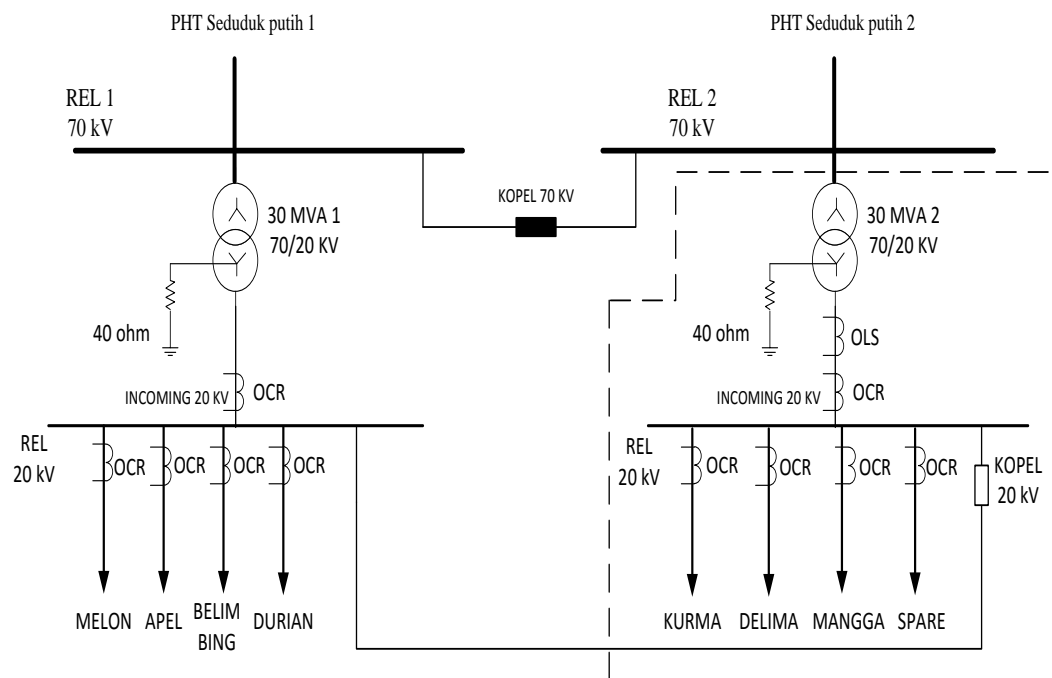
Over Load shedding (OLS) yang bekerja atas dasar arus, diset pada suatu harga setting arus dibawah arus nominalnya (I) dan kemudian akan memberikan perintah pemutus daya (PMT) untuk melaksanakan pelepasan beban feeder. Setting waktu untuk OLS ini menggunakan karakteristik waktu tunda tertentu (definite time).



Karena beban lebih merupakan salah satu gangguan yang menyebabkan arus lebih maka setting Overload Shedding (OLS) akan dikoordinasikan dengan setting Overcurrent relay (OCR) pada incoming 20 kV dan OCR penyulang 20 kV. Agar pada saat terjadi pemutusan PMT, tidak terjadi kesalahan waktu pemutusan dan indikasi relai yang kerja.

2.11 Single line Gardu induk Boom Baru

Gardu Induk Boom Baru memiliki dua buah transformator yang bertegangan 70/20 kV dengan kapasitas daya sebesar 30 MVA. Diagram satu garis dari sistem pada GI Boom Baru dapat dilihat pada Gambar dibawah ini :



Gambar 2.9 Single Line Gardu Induk Boom Baru

Penerapan relai OLS rencana penerapannya akan dipasang pada transformator daya 30 MVA pada sisi sekunder atau 20 kV dengan melepas beban penyulang 20 kV, yaitu pelepasan penyulang Mangga.



2.12 Data Saluran Distribusi pada penyulang

Dibawah ini merupakan data saluran distribusi penyulang 20 kV di GI Boom Baru.

Tabel 2.1 Data Saluran Distribusi 20 kV pada Transformator daya 30 MVA

Penyulang	Panjang jaringan (km)				(I) tertinggi sekarang (A)
	NA2XSY 240 mm ²	AAAC 70 mm ²	AAAC 150 mm ²	Panjang total	
KURMA	0,23	0,22	3,35	3,8	165
DELIMA	0,22	2,1	1,4	3,72	231
MANGGA	1,15	-	3,3	4,45	172

Diketahui nilai – nilai Impedansi dari jenis diatas

NA2XSY 240 mm² , $Z_1 = 0,1250+j0,097 \Omega/\text{km}$ ¹³

$$Z_0 = 0,2750+j0,290 \Omega/\text{km}$$

A3C 70 mm² , $Z_1 = 0,4608+j0,3572 \Omega/\text{km}$

$$Z_0 = 0,6088+j1,6447 \Omega/\text{km}$$

A3C 150 mm² , $Z_1 = 0,2162+j0,3305 \Omega/\text{km}$

$$Z_0 = 0,3631+j1,6180 \Omega/\text{km}$$

Tahanan Pentanahan = 40 Ω

2.13 Perhitungan Arus Hubung Singkat Pada Jaringan

Analisa hubung singkat (yang mungkin terjadi pada setiap titik didalam sistem) yang dipelajari terutama adalah besarnya kontribusi arus gangguan hubung singkat pada setiap cabang (bisa di transmisi, distribusi, trafo maupun dari sumber pembangkit) disamping perlu diketahui pula besar tegangan pada setiap feeder. Besar arus dan tegangan inilah yang diperlukan untuk penyetelan proteksi/pengaman, sehingga bila gangguan hubung singkat itu benar-benar terjadi dalam sistem, peralatan proteksi dalam hal ini rele arus lebih akan bekerja mengamankan sistem yang terganggu sesuai yang diharapkan.

¹³ <https://rq2k.wordpress.com/impedansi-2/>



Gangguan yang mungkin terjadi dalam sistem pada jaringan adalah :

- a. Gangguan hubung singkat 3 fasa, dan
- b. Gangguan hubung singkat antar fasa
- c. Gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah
- d. Gangguan satu fasa ke tanah

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat pada sistem seperti di atas pertama yang harus dihitung adalah :

1. Impedansi sumber (reaktansi) yang dalam hal ini di dapat dari data hubung singkat di bus 150 kV yang ada pada gardu induk.
2. Reaktansi trafo tenaga
3. Menghitung impedansi feeder
4. Menghitung impedansi ekivalen dengan menjumlahkan ketiga hal di atas.

2.14 Impedansi sumber

Menghitung impedansi sumber di sisi busbar sekunder 20 kV, maka harus dihitung dulu impedansi sumber busbar di sisi primer 150 kV. Impedansi sumber di sisi primer diperoleh dengan rumus :

$$X_{sc1} = \frac{(kV_2)^2}{MVA_{sc}} \dots\dots\dots(2.1)^{14}$$

- Dimana: X_{sc1} = impedansi sumber pada sisi primer (sisi 150 kV)
 X_{sc2} = impedansi sumber pada sisi sekunder (sisi 150 kV)
 kV_1 = tegangan nominal sisi primer (sisi 150 kV)
 kV_2 = tegangan nominal sisi primer (sisi 150 kV)
 MVA = Daya hubung singkat (sisi 150 kV)
 $I_{(sc)}$ = Arus maks yang mewakili pada sisi primer trafo (A)

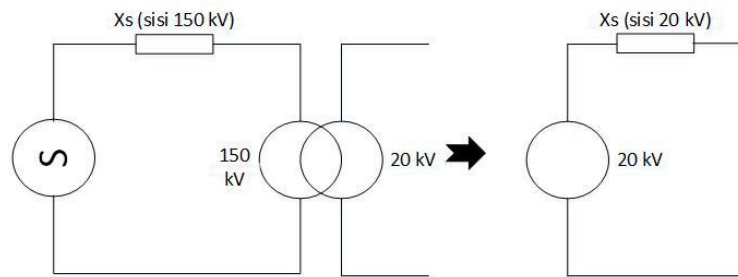
¹⁴ Pribadi Kadarisman & Wahyudi Sarimun, Proteksi Sistem Distribusi: hal. 22



Lalu untuk Perhitungan $MVA_{\text{short circuit}} (MVA_{SC})$

$$\text{Arus } (I_{sc}) = \frac{MVA(sc)}{\sqrt{3} \cdot V_{primer}} \dots\dots\dots(2.2)^{15}$$

Untuk mengkonversikan impedansi sumber pada sisi 150 kV ke sisi 20 kV, dilakukan dengan cara sebagai berikut:



Gambar 2.10 Transformasi impedansi transformator tenaga¹⁶

Daya transformator tenaga pada sisi primer dan sekunder sama, maka:

$$X_{sc2} = \frac{kV_2^2}{kV_1^2} \times X_{sc1} \dots\dots\dots(2.3)^7$$

2.15 Reaktansi transformator

Untuk transformator impedansinya dapat ditinjau dari sisi primer ataupun sekundernya. Apabila persen atau per unit impedansi dari suatu transformator ditinjau dari sisi tegangan rendahnya maka dasarnya juga dipilih pada sisi tegangan rendah dan bila ditinjau dari sisi dari sisi tegangan tingginya maka besarnya juga akan dipilih pada sisi tegangan tingginya. Pada perhitungan impedansi suatu transformator yang dapat diambil adalah harga reaktansinya (%).

Besarnya tergantung kapasitas trafo tenaga dimana $X_{T1} = X_{T2}$ dengan rumus :

$$X_T = \frac{(kV_2)^2}{MVA_{trafo}} \times \text{impedansitrafo}(\%) \dots\dots\dots(2.4)^{17}$$

¹⁵ <http://digilib.unimus.ac.id/download.php?id=9653>

¹⁶ Pribadi Kadarisman & Wahyudi Sarimun, Proteksi Sistem Distribusi: hal. 23



Dimana :

X_T = reaktansi trafo (ohm)

Impedansi trafo = impedansi pada name plat trafo (%)

kV_2 = Tegangan sekunder trafo (kV)

Reaktansi $X_T = X_{T1} = X_{T2}$ yaitu reaktansi positif (X_{T1}) dan reaktansi negatif (X_{T2}). Untuk impedansi urutan nol pada transformator (X_{T0}) perlu diperhatikan ada tidaknya belitan delta.

2.16 Impedansi penyulang

Data impedansi penyulang bisa didapat dengan cara dihitung dari tabel panjang saluran per km. Impedansi yang akan di hitung, disini tergantung dari besarnya impedansi/km dari data yang didapat dari tempat pengambilan data.

Dengan demikian nilai impedansi penyulang dapat dihitung dengan rumus:

$$Z_{Feeder} = \text{Panjang Feeder (km)} \times Z \text{ per km} \dots \dots \dots (2.5)^{18}$$

Untuk mendapatkan impedansi feeder secara keseluruhan maka disimulasikan lokasi gangguan per 1%, 25%, 50%, 75% dan 100%, maka dapat dibuat:

$$\% \times \text{panjang feeder} \times Z \text{ per km} \dots \dots \dots (2.6)^{10}$$

2.17 Impedansi ekivalen jaringan

Perhitungan yang akan dihitung disini adalah besar nilai impedansi positif (Z_{1eq}) dan impedansi urutan negatif (Z_{2eq}) dari titik gangguan ke sumber.

Karena dari sejak sumber ke titik gangguan impedansi yang berbentuk adalah terhubung seri, maka perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} dapat langsung dijumlahkan seperti berikut :

¹⁷ <http://digilib.unimus.ac.id/download.php?id=9653>

¹⁸ Pribadi Kadarisman & Wahyudi Sarimun, Proteksi Sistem Distribusi: hal .25



$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{sc} + Z_t + Z_{feeder} \dots\dots\dots(2.7)^{19}$$

Dimana: Z_s = Nilai impedansi sumber

Z_{tr} = Nilai reaktansi trafo

Z_{feeder} = Nilai impedansi feeder

Setelah mendapatkan impedansi ekivalen dengan lokasi gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar yang sudah dijelaskan sebelumnya, hanya impedansi yang mana yang dimasukkan ke dalam rumus tersebut adalah tergantung dari jenis gangguan hubung singkatnya.

Gangguan – gangguan tersebut dihitung untuk lokasi gangguan yang terjadi pada 1%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% dan 100% dari panjang penyulang yang dalam hal ini dianggap nilai dari $Z_{1eq} = Z_{2eq}$.

2.18 Gangguan hubung singkat 3 fasa

Rumus gangguan hubung singkat yang digunakan untuk menghitung besar arus gangguan hubung singkat 3 fasa adalah:

Sehingga arus gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{sc3} = \frac{V_n}{Z_{1eq}} = \frac{V_n}{\% \cdot R_{1jar} + j(X_{sc} + X_t + \% X_{1jar})} \dots\dots\dots(2.8)^{20}$$

Dimana :

I_{sc3} = Arus gangguan hubung singkat tiga fasa (A)

V_n = Tegangan fasa-netral sistem 20 kV = $\frac{20.000}{\sqrt{3}}$ (v)

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

¹⁹ Pribadi Kadarisman & Wahyudi Sarimun, Proteksi Sistem Distribusi: hal. 27

²⁰ Pribadi Kadarisman & Wahyudi Sarimun, Proteksi Sistem Distribusi: hal. 28



2.19 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Arus gangguan hubung singkat dua fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$I_{sc2} = \frac{V_{fasa}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \dots\dots\dots(2.9)^{21}$$

Dimana : I_{sc2} = Arus gangguan hubung singkat dua fasa (A)

V_{fasa} = Tegangan fasa-fasa sistem 20 kV = **20000** (v)

$Z_{1eq} = Z_{2eq}$ = Impedansi ekivalen urutan positif (Ω)

2.20 Penyetelan Rele Arus Lebih di Penyulang

1. Arus penyetelan dan penyetelan arus

Untuk rele arus lebih jenis normal (standard) inverse nilai arus penyetelan di penyulang dapat dihitung sebagai berikut:

$$I_{set(prim)} = 1,05 \times I_{beban} \dots\dots\dots(2.10)^{22}$$

Nilai setelan tersebut adalah nilai primer. Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada *Over Current Relay* (OCR), maka harus di hitung dengan menggunakan data rasio trafo arus yang terpasang di incoming 20 kV tersebut yaitu sebagai berikut :

$$I_{set(sek)} = I_{set(pri)} \times \frac{1}{RatioCT} \dots\dots\dots(2.11)^{23}$$

Dimana :

$I_{set(sek)}$ = nilai setting arus sekunder rele (Ampere)

$I_{set(pri)}$ = nilai setting arus primer rele (Ampere)

Ratio CT = Perbandingan Trafo arus terpasang (Ampere)

2. Penyetelan waktu (TMS)

²¹ Pribadi Kadarisman & Wahyudi Sarimun, Proteksi Sistem Distribusi: hal. 29

²² Wahyudi Sarimun, Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik, hal. 173

²³ <http://digilib.unimus.ac.id/download.php?id=9653>



Untuk setelan waktu rele standard inverse dapat dihitung dengan menggunakan rumus kurva waktu dan arus. Rumus ini bermacam-macam sesuai buatan pabrik pembuatan rele, dalam hal ini diambil rumus kurva waktu dan arus dari rele arus lebih merk Areva Micom P141, sebagai berikut :

Untuk menentukan nilai TMS yang akan disetting pada rele arus lebih diambil misal angka arus gangguan (I_{fault}) sebesar arus gangguan 3 fasa pada lokasi gangguan gangguan 1% panjang feeder, dan waktu kerja rele arus lebih di penyulang itu (sesuai keterangan waktu tercepat standar PLN yaitu 0,3 s), maka TMS yang akan disetting pada rele arus lebih adalah:

$$tms = \frac{t_{set} \times \left(\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right)}{\beta} \dots\dots\dots(2.12)^{24}$$

Dimana :

tms = faktor pengali terhadap waktu

I_{fault} = Arus gangguan hubung singkat 3 dan 2 fasa (Ampere)

I_{set} = Arus setting (Ampere)

t_{set} = Waktu setting (detik)

α dan β = konstanta

²⁴ Wahyudi Sarimun, Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik, hal. 173



Politeknik Negeri Sriwijaya
