

BAB IV

PENGAMAN DIFFERENSIAL

Rele differensial adalah satu pengaman yang bekerja karena adanya perbedaan arus yang melalui rele tersebut. Rele jenis ini banyak digunakan untuk mengamankan transformator tenaga dan saluran tenaga listrik jarak pendek dari gangguan.

Rela differensial yang digunakan sebagai pengaman utama (*main protection*) pada transformator tenaga mampu mendeteksi hampir semua tipe kesalahan hubung singkat yang terjadi didalam transformator tenaga (kesalahan internal), baik hubung singkat antar fasa maupun hubung singkat salah satu fasa ke tanah serta hubung singkat antar belitan pada fasa yang sama.

4.1. Prinsip Kerja Rele Differensial Sebagai Pengaman Transformator Tenaga

Relay differensial diinstalasikan sedemikian rupa untuk mengamati arus masuk dan arus keluar pada setiap fasa dari suatu transformator-tenaga dengan cara memebandingkan satu terhadap lainnya. Arus masuk dan arus keluar yang dibandingkan ini merupakan arus sekunder dari transformator-transformator arus yang ditempatkan pada sisi primer dan sisi sekunder transformator-tenaga. Dengan demikian zona pengaman rele differensial adalah sangat

terbatas, yaitu daerah yang terletak diantara penempatan kedua set transformator-arus (CT) dimaksud, sehingga sering pengaman rele differensial ini disebut sebagai pengaman unit (*unit protection*).

Ratio kedua transformator tapi dipilih sedemikian rupa sehingga kuantitas scalar (*scalar magnitude*) arus sekunder keluarannya pada rangkaian/sirkuit pengaman rele differensial baik dari sisi primer maupun sekunder transformator-arus itupun harus diperhatikan dan diinstalasikan sedemikian sedemikian kuantitas vektor (*vector magnitude*) arus sekunder keluarannya yang mengalir atau bersikulasi melalui kumparan rele differensial akan saling meniadakan (sama dengan nol), yaitu hal kondisi pembebanan normal transformator-tenaga maupun untuk kejadian kesalahan eksternal diluar zona pengaman relay differensial.

Sebaliknya jika terjadi suatu kesalahan internal, maka kedua kuantitas vektor arus sekunder keluaran tersebut diatas yang mengalir melalui rele differensial akan saling memperkuat, dimana pada gilirannya apabila resultan kuantitas vektor arus tadi lebih besar dari pada setting yang diterapkan, maka akan menyebabkan rele differensial pick up dan selanjutnya memberikan komando/sinyal trip kepada Cicuit Breakers (CB) di kedua sisi transformator-tenaga. Diagram skematik sirkuit

Pada kondisi normal atau gangguan diluar daerah kerja rele (K_1) disebut juga gangguan eksternal, maka arus yang melalui relay R adalah :

$$I_r = I_1 - I_2 = 0 \quad \dots\dots\dots (4-1)$$

sehingga rele tidak akan bekerja menjatuhkan CB.

Jika terjadi gangguan pada daerah kerja rele (K_2) atau gangguan internal, maka arus yang mengalir melalui rele (R) adalah :

$$I_r = I_1 + I_2 = 0 \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

dan arus inilah yang menyebabkan rele bekerja menjatuhkan CB.

Agar diperoleh $I_r = 0$ seperti pada persamaan (4-1), maka arus sekunder dari kedua CT harus mempunyai besar dan arus yang sama, dan untuk mendapatkannya banyak faktor yang harus dipertimbangkan, salah satunya adalah pemilihan rasio CT yang sesuai.

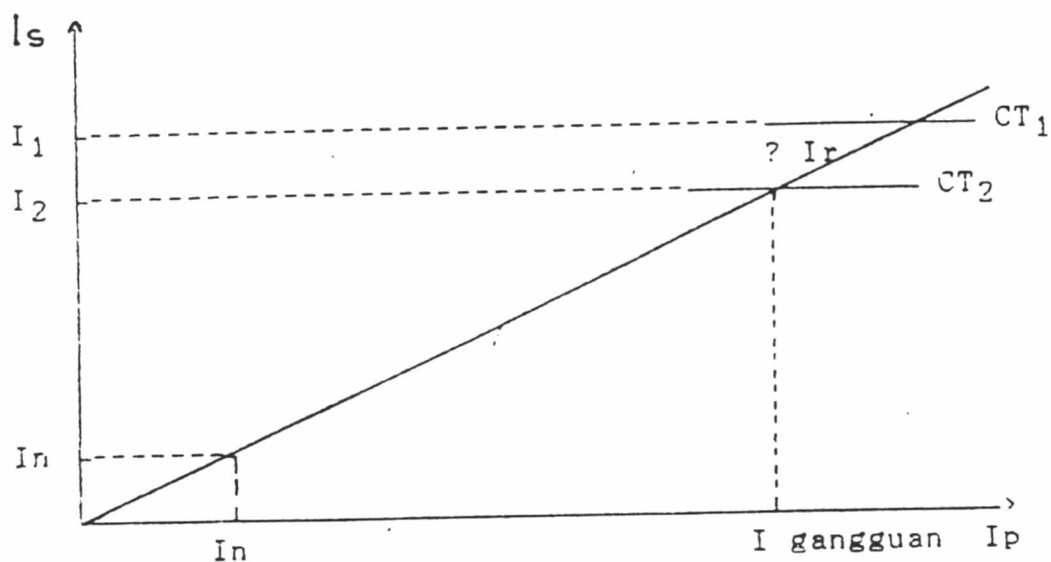
4.2. Arus Ketidak Seimbangan

Rele Differensial dapat bekerja dengan baik jika pada keadaan normal atau gangguan eksternal arus yang melalui rele yang sama dengan nol ($I_r = 0$), tetapi pada kenyataan hal ini sulit sekali dicapai. Karena faktor tertentu biasanya $I_r \approx 0$, arus inilah yang disebut dengan arus ketidak seimbangan. Jika arus ini tidak dieliminir maka rele bekerja pada kondisi normal atau pada gangguan

eksternal (rele salah kerja). Berikut adalah hal-hal yang dapat menyebabkan timbulnya arus ketidak seimbangan :

a. Karakteristik transformator-arus :

Pada prakteknya tidak ada transformator-arus yang mempunyai karakteristik indetik, baik ratio dan sudut phase maupun kurva kejenuhan/magnetisasi (saturation curve). Dalam hal ini pembebanan normal transformator-tenaga, kendala teknis ini tidak menjadi masalah, akan tetapi untuk kejadian gangguan eksternal dimana kontribusi arus gangguan (though fault current) yang menuju titik gangguan adalah sangat besar, maka kendala teknis ini akan mengakibatkan resultan kuantitas vektor arus keluaran dari kedua set transformator-arus yang mengalir melalui kumparan rele differensial tidak lagi sama dengan nol, melainkan cukup besar untuk membuat rele differensial pick up dan mal operated. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 4.3. berikut :



Arus primer (p.u.)

I_n : Arus nominal

I_r : arus ketidak seimbangan

Gambar 4.3
Karakteristik CT_1 DAN CT_2
Pada Rele Differensial

Dari gambar diatas tampak bahwa CT akan mengalami kejenuhan bila arus gangguan pada sisi primer CT (I_p) terlalu besa. Walaupun karateristik CT untuk rele differensial telah identik, namun kejenuhan tidak tepat sama. karena kejenuhan ini selain dipengaruhi oleh bahan dari inti CT juga dipengaruhi oleh beban dari masing-masing CT yang sudah barang tentu tidak sama. Beban CT ini adalah rele-rele dan kawat-kawat penghubung dari CT ke rele tersebut. Adanya perbedaan titik kejenuhan dari kedua CT pada rele differensial

dapat menimbulkan arus ketidak seimbangan yang dapat menyebabkan rele salah kerja, sedangkan besarnya arus ketidak seimbangan ini tergantung dari besarnya arus gangguan. Semakin besar arus gangguan yang terjadi semakin besar pula arus ketidak seimbangan yang timbul.

b. Efek Kerja Tap-changer

Pada umumnya hampir sebagian terbesar transformator-tenaga kapasitas besar dilengkapi dengan on-load tap changer. Biasanya ratio transformator-arus baik disisi primer maupun sekunder transformator-tenaga untuk keperluan pengaman rele differensial, dipilih/ditetapkan hanya pada satu posisi-ratio dimana perbandingan tegangannya adalah nominal. Apabila ternyata dalam pengusahaannya ratio transformator-tenaga tersebut diubah-ubah dikarenakan kendala operasi sistim tenaga listrik, maka pada kondisi pembebanan normal transformator-tenaga, resultan kuantitas vektor arus keluaran transformator-transformator arus yang mengalir melalui kumparan rele differensial tidak lagi sama dengan nol, dimana selanjutnya kemungkinan rele differensial mal-operated akan terjadi.

c. Arus inrush megnetisasi (magnetising inrush current)

Arus megnetisasi ini akan terjadi apabila suatu transformator-tenaga yang tidak berbeban diberi tegangan (energize) dari salah satu sisinya.

Besarnya arus inrush magnetisasi ini bisa mencapai beberapa kali arus beban-beban transformator-tenaga, dan karena hanya terjadi disalah satu sisi transformator-tenaga saja, maka arus inrush magnetisasi ini akan dideteksi oleh rele differensial sebagai kesalahan internal yang menyebabkan mal-operated.

Sebagian terbesar arus inrush magnetisasi ini terdiri dari komponen harmonisa kedua (frek. harmonisa kedua = $2 \times$ frek. gel fundamental).

d. Pengaruh harmonisa

Telah diterangkan sebelumnya ada BAB II. bahwa secara umum harmonisa dapat menyebabkan bertambahnya rugi histerisasi. Adanya rugi histerisasi ini menunjukkan bahwa antara gelombang input dan output dari transformator tenaga ada pergeseran fasa.

Harmonisa ketiga untuk sistem tiga fasa akan selalu ada dan mempunyai arah sama, karenanya akan terjadi ketidak seimbangan arus pada sisi sekunder transformator tenaga.

Dua kendala teknis diatas akan mengakibatkan resultan kuantitas vektor arus keluaran dari kedua set transformator-arus yang mengalir melalui kumparan rele differensial tidak lagi sama dengan nol. melainkan cukup besar untuk membuat rele differensial pick up dan mal operated.

4.3. Cara Mengeliminir Arus Ketidak Seimbangan

Arus ketidak seimbangan akan mengakibatkan rele differensial bekerja pada kondisi normal atau pada saat terjadi gangguan eksternal, sehingga keberadaannya harus dieliminir agar rele tidak bekerja pada kondisi tersebut. Penggunaan rele differensial tipe percentage sangat membantu dalam hal ini, karena rele ini tidak akan bekerja pada kondisi normal atau pada saat terjadi gangguan eksternal selama arus ketidak seimbangan yang terjadi tidak melampaui batas yang telah ditentukan.

Agar rele differensial tipe persentase tidak salah kerja, maka sebelum rele tersebut dioperasikan harus diusahakan sedemikian rupa sehingga arus ketidak seimbangan yang terjadi tidak melampaui batas yang telah ditentukan. Oleh karena itu perlu ditentukan hal-hal sebagai berikut :

1. Pemilihan karakteristik dua CT yang sama atau paling tidak mendekati sama (karena dalam prakteknya tidak ada karakteristik dua CT yang sama persis), dan tingkat penelitian yang tinggi (dipilih kelas CT yang mempunyai error kecil untuk kenaikan arus yang cukup besar).
2. Bila arus ketidak seimbangan yang timbul karena efek kerja tap-changer terlalu besar, maka harus ditinjau kembali CT yang digunakan, bila rasionya sudah tidak sesuai harus diganti. Juga perlu dilakukan setting

ulang rele sambungan perubahan yang terjadi pada transformator tenaga.

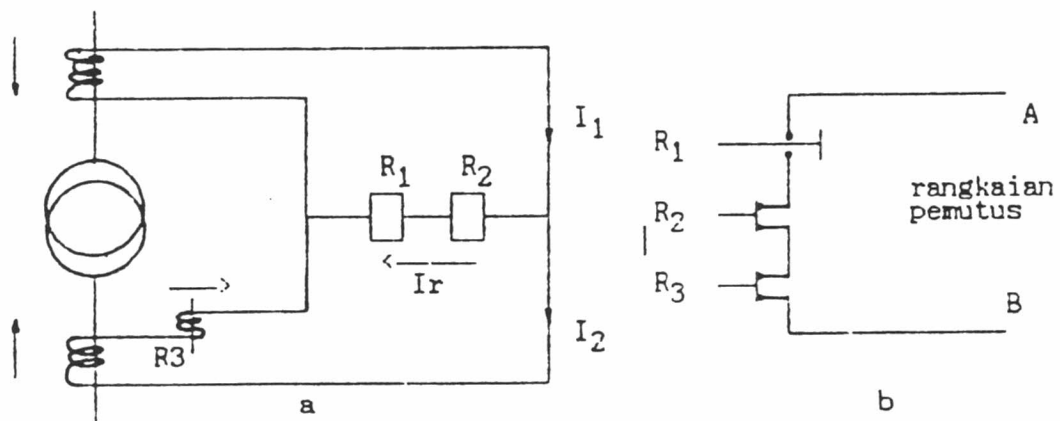
3. Untuk menghilangkan arus ketidak seimbangan akibat inrush current terhadap rele differensial tipe persentase dapat dilakukan dengan menambahkan filter harmonisa kedua, yang dapat memblokir kerja rele differensial saat inrush current muncul.
4. Arus ketidak seimbangan yang timbul akibat pengaruh harmonisa dapat diatasi dengan cara menggunakan transformator tiga belitan dengan tersier delta, atau dapat juga dilakukan dengan pengetanahan pada titik bintangnya. Cara tersebut sangat membantu untuk mengurangi kandungan harmonisa ketiga rangkaian.

Bila rele differensial tidak bekerja pada saat transformator tenaga dimasukkan kesistem (energize), berarti filter harmonisa kedua telah berfungsi sebagaimana mestinya. Kemudian setelah beban transformator tenaga dimasukkan dan rele tetap tidak bekerja menunjukkan bahwa pada kondisi normal arus ketidak seimbangan yang terjadi masih dibawah batas yang telah ditentukan.

Gangguan eksternal dengan arus gangguan yang cukup besar akan menyebabkan kejenuhan pada CT yang pada akhirnya dapat menimbulkan arus ketidak seimbangan pada rele differensial. Bila pada kondisi tersebut rele tidak bekerja menjatuhkan CB hal ini menunjukkan bahwa besarnya

arus ketidak seimbangan yang terjadi tidak melampaui batas yang telah ditentukan.

Kadang-kadang rele differensial tipe persentase bekerja meniatuhkan rangkaian pemutus (CB) saat terjadi gangguan eksternal hal ini dikarenakan arus ketidak seimbangan yang timbul terlalu besar sehingga batas yang telah ditentukan terlampaui. Untuk mengatasinya perlu ditambahkan directional overcurrent yang dipasang pada sisi sekunder CT_2 yang digunakan untuk memblokir kerja rele bila arus gangguan yang terjadi melampaui batas yang ditentukan. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 4.4.



Gambar 4.4
Rele Differensial Yang Dilengkapi Dengan Filter
Harmonisa Kerja Dan Directional Overcurrent

Dari gambar 4.4a. Tampak rele differensial dengan tiga elemen rele, yaitu R1 (elemen differensial percentage), R2 (elemen filter harmonisa kedua), dan R3 (elemen directional overcurrent). masing-masing elemen mengendalikan sebuah kontak yang tersusun seri seperti tampak pada gambar 4.4b. Rangkaian pemutus akan bekerja bila terminal A dan B terhubung. terminal A dan B dapat terhubung bila ketiga kontak dalam keadaan tertutup. dan kondisi seperti ini hanya dapat terpenuhi saat terjadi gangguan internal. Sedangkan kemungkinan lain yang dapat terjadi dari kombinasi ketiga kontak tersebut dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4.1
Pengelolaan Kerja Rele Differensial Oleh Elemen Filter
Harmonisa Kedua Dan Elemen Directional Overcurrent

KONTAK			TERMINAL A-B	KETERANGAN
R1	R2	R3		
I	I	I	TERHUBUNG	Gangguan Internal
I	I	O	TERBUKA	Gangguan Eksternal dengan I_r »
I	O	I	TERBUKA	Energize
I	O	O	-	-
O	I	I	TERBUKA	Normal atau gangguan Eksternal dengan I_r »
O	I	O	-	-
O	O	I	-	-
O	O	O		

Keterangan : I = tertutup O = terbuka
 I_r : arus ketidak seimbangan

Dari tabel diatas diatas tampak bahwa pada saat terjadi gangguan eksternal dengan arus ketidak seimbangan yang sangat besar kerja rele differensial diblokir oleh elemen instanteneous overcurrent (R_2), dan pada saat transformator tenaga dimasukkan kesistim (energi), kerja relay differensial diblokir oleh elemen filter harmonisa kedua. Pada kondisi normal atau gangguan eksternal dengan arus ketidak seimbangan yang sangat kecil. kontak elemen differensial percentage (R_1) terbuka, sedangkan kontak elemen filter harmonisa kedua dan kontak elemen directional overcurrent (R_3) dalam keadaan tertutup.

4.4. Rele Differensial Tipe Percentage (Biases)

Rele differensial tipe percentage mempunyai dua kumparan. yaitu :

1. Kumparan kerja (Operating coil)
2. Kumparan penahan (Restraining coil)

Kumparan kerja dipasang diantara titik netral transformator arus dan titik tengah kumparan penahan. arus differensial pada kumparan kerja adalah sebanding dengan $(I_1 - I_2)$.

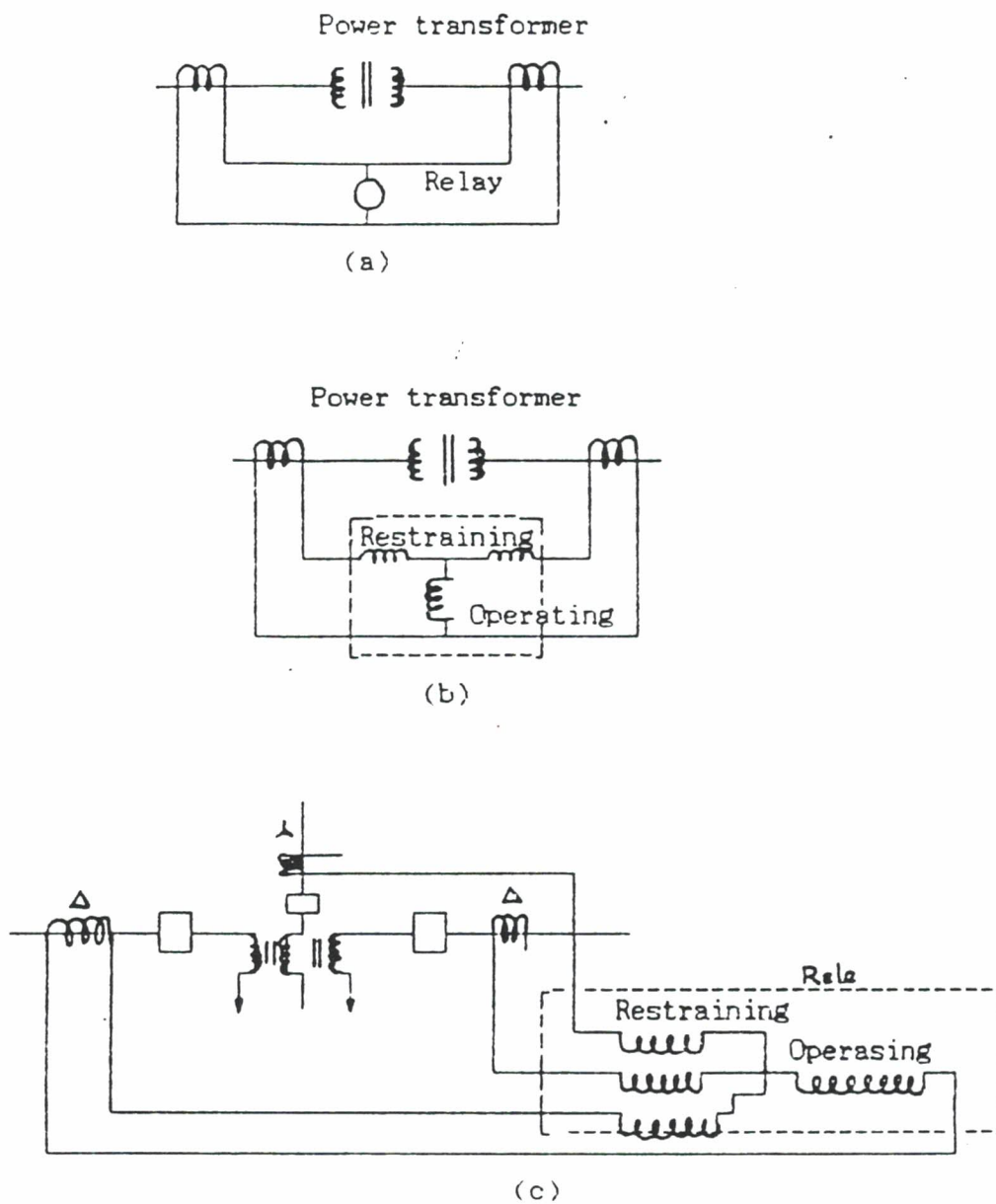
Misalkan jumlah lilitan pada kumparan kerja adalah No. maka besar ampereturn kumparan ini adalah sebanding dengan No $(I_1 - I_2)$.

Jika jumlah lilitan pada kumparan penahan adalah Nr , maka jumlah lilitan yang dilalui arus I_1 dan I_2 masing-masing adalah $Nr/2$. Jadi ampereturn total pada kumparan penahan adalah sebanding dengan :

$$\frac{1}{2} Nr (I_1 + I_2)$$

atau dapat dikatakan arus yang melalui kumparan penahan adalah :

$$\frac{1}{2} (I_1 + I_2)$$



Gambar 4.5
 Rele Differensial Tipe Percentage¹⁴⁾

¹⁴⁾ Ibid. hal. 391.

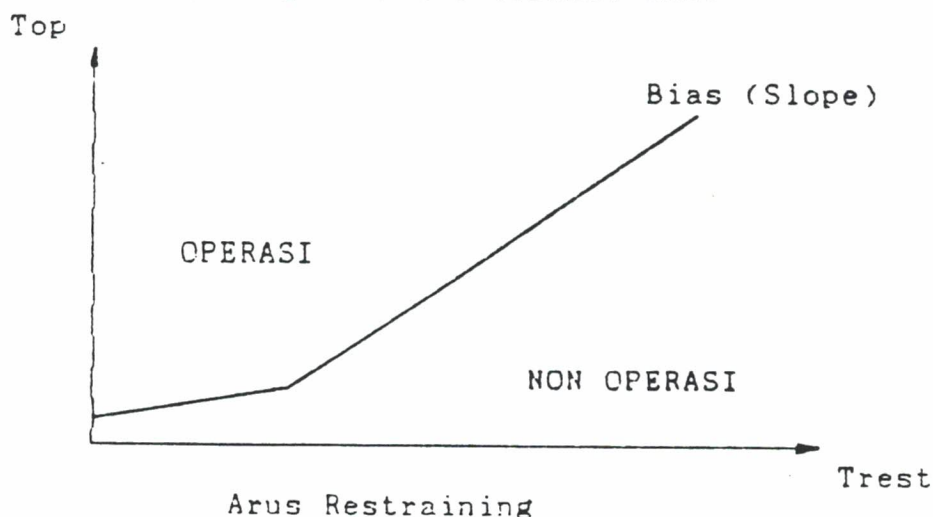
Sehingga pada keadaan setimbang berlaku persamaan :

$$N_o (I_1 - I_2) = \frac{1}{2} N_r (I_1 - I_2) + S$$

Dimana S adalah gaya penahan yang disebabkan oleh pegas. untuk harga arus yang besar gaya penahan ini bisa diabaikan sehingga :

$$\frac{(I_1 - I_2)}{\frac{1}{2} (I_1 + I_2)} = \frac{N_r}{N_o}$$

Dari persamaan diatas, terlihat bahwa perbandingan antara arus diferensial terhadap arus penahan rata-rata adalah konstan. sehingga rele diferensial dengan percentage mempunyai karakteristik kerja seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6 berikut ini.



Gambar 4.6
Karakteristik Kerja Rele Diferensial
Dengan Percentage

Dari gambar diatas tampak bahwa kurva berbentuk linier. kecuali pada arus yang kecil dimana pengaruh pegas pengatur menyebabkan kurva tidak linier. Daerah kerja rele ini adalah dibagian atas kurva tersebut, yaitu bila perbandingan antara diferensial terhadap arus penahan rata-rata lebih besar dari Nr/No . Dan hanya arus gangguan internal saja yang terletak pada daerah kerja rele.

Dalam perhitungan selanjutnya, harga Nr/No dapat diatur sehingga kemiringan karakteristik kerja rele dapat disesuaikan dengan arus ketidakseimbangan yang mungkin timbul pada rangkaian diferensial. Dengan demikian maka arus ketidakseimbangan yang timbul tidak lagi akan menyebabkan rele salah kerja.

Relay differensial tipe percentage sangat membantu untuk mengatasi timbulnya arus ketidak seimbangan yang dapat mengakibatkan rele terlalu besar akibat gangguan hubung singkat tiga phase yang terjadi di luar daerah pengaman. kadang-kadang rele tipe percentage tidak mampu mengatasinya. sehingga rele tersebut masih penuh penyempurnaan lagi. yaitu dengan menambahkan instanteneous overcurrent yang diletakkan disisi sekunder dari transformator arus kedua (CT₂). dengan tujuan untuk memblokir kerja rele differensial dikarenakan arus ketidak seimbangan yang terlalu besar.

Beberapa hal praktis yang juga harus diketahui dan patut diperbaiki dalam kaitannya dengan instalasi pengawatan pengaman rele differensial pada suatu transformator-tenaga adalah :

1. Pada Transformator-tenaga (3), dimana grup vektornya adalah wye-delta, dengan sisi wye ditanahkan langsung atau melalui suatu tahanan/impedensi/reaktansi, maka :

- a. Set transformator-arus (main) di sisi-wye harus dibuat hubungan-delta, sedangkan set transformator arus di sisi delta dibuat dalam hubungan-wye, maksudnya adalah untuk mengoreksi pergeseran phase (phase shirf) arus line yang mengakibatkan transformator wye-delta.

Selain ini juga dimaksudkan untuk mengekiminir komponen arus urutan nol yang akan timbul di sisi wye apabila terjadi kesalahan asimetris eksternal (misal hubung singkat phase ketanah) pada sisi yang sama, sedimikian mencegah rele differensial mal-operasted.

- b. Set transformator arus utama disisi wye maupun delta keduanya dibuat hubungan wye, selanjutnya koreksi pergeseran phase karena transformator wye-delta tersebut dilakukan dengan menggunakan transformator interposing, dimana :

- Di sisi wye transformator tenaga : sisi primer transformator arus interposing dibuat dalam hubungan wye, dan sisi sekundernya adalah dalam hubungan delta.
- Diatas dekta transformator tenaga : sisi primer transformator arus interposing tersebut tetap dibuat dalam hubungan wye, dan sisi sekundernya adalah dalam hubungan wye.

Selain itu aplikasi transformator arus interposing ini juga adalah untuk mengoreksi jika ternyata ratio kedua set transformator arus utama yang dipergunakan tidak bisa match satu terhadap lainnya.

2. Pada transformator tenaga tiga fasa yang mempunyai group vektor wye-wye, dimana salah satu atau kedua sisinya ditanahkan secara langsung atau melalui tahanan/impedensi/reaktansi, maka untuk mengoreksi pergeseran fasa dapat dilakukan dengan cara seperti pada transformator tenaga wye-delta.

4.5. Seting Rele Differensial

Untuk mendapatkan hasil yang baik, maka rele differensial yang digunakan untuk mengamankan transformator tenaga harus diset lebih dahulu. prosedur pengesetan dilakukan sebagai berikut :

4.5.1. Prosedur Pengesetan dari Tap Arus¹⁵⁾

4.5.1.1. Data yang dibutuhkan

Spesifikasi transformator tenaga yang diamankan harus diketahui lebih dulu, yaitu :

- Range kapasitas (KVA)
- Renga tegangan primer, sekunder dan tersier
- Rasio transformator arus (CT) dari ketiga kumparan transformator tenaga 3 belitan atau rasio CT kedua kumparan transformator 2 belitan.
- Pengawatan dari transformator (CT).

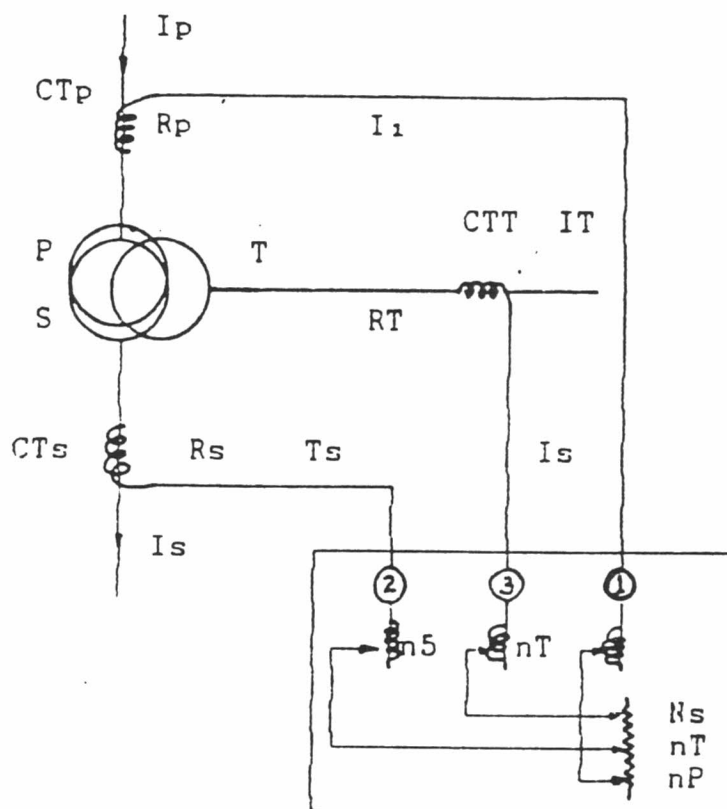
4.5.1.2. Prosedur hitungan untuk transformator tiga belitan

Harga dari masing-masing arus dihitung dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} I_r &= \frac{P}{\sqrt{3} V_r} \\ I_s &= \frac{P}{\sqrt{3} V_s} \dots\dots\dots (4-3) \\ I_r &= \frac{P}{\sqrt{3} V_t} \end{aligned}$$

dimana P : Kapasitas terbesar dari ketiga kumparan.
 Vr, Vs, Vr : Range tegangan dari masing-masing belitan transformator tenaga.
 Ir, Is, Ir : Arus/primer dari transformator arus (CT).

¹⁵⁾ Nissin Electric Co. Ltd. Kyoto Japan. Static Type Percentage Differensial Relay With Second Harmonic Restaint. hal 7.



Gambar 4.7
Penempatan Rele Differensial
Untuk Transformator Tiga Belitan

Kemudian arus sekunder CT (sebagai arus input dari rele differensial) dihitung dengan persamaan berikut :

$$I_1 = \frac{\sqrt{3} I_p}{R_p}$$

$$I_2 = \frac{\sqrt{3} I_s}{R_s} \dots \dots \dots (4-4)$$

$$I_3 = \frac{\sqrt{3} I_T}{R_T}$$

dimana I_1 , I_2 , I_3 : arus sekunder transformator arus (CT)

R_r , R_s , R_t : rasio dari CT

CATATAN : Dalam suatu CT dengan multi tap, rasio dari CT harus diseleksi dikarenakan arus sekundernya antara 2,9A sampai dengan 6.7A Lihat tabel 4.2.

Tabel 4.2.
Spesifikasi Rele Differensial¹⁶⁾

Tipe		EAH-H	EAH-H2
Aplikasi		Trafo 3 kumparan	Trafo 2 kumparan
Batas Arus		8,7 A cont	
Batas Frekwensi		50Hz atau 60 Hz	
Batas Set - ting	Tap Arus	2.9-3,2-3,5-3,8-4,1-4,5-5,0,8,7 A	
	Elemen differensial Percentage	Arus operasi minimum	30%
		Rasio tap elemen	35% - 50%
	Elemen Overcurrent instan	1000%-1500%-2000% dari tap arus	

Kemudian pemilihan tap setting dilakukan sebagai berikut :
Dengan mengasumsikan bahwa harga terbesar dari I1,I2 dan I3 adalah sebagai tap dasar dari 6.7 A, dihitung dengan persamaan berikut :

¹⁶⁾ Ibid. hal. 3.

$$\frac{I_1}{N_p} = \frac{I_2}{N_s} = \frac{I_3}{N_t}$$

dan dipilih tap yang lebih mendekati sebagai hasil dari hitungan.

Kesalahan dari tap penyetelan (error of setting taps) dihitung dengan persamaan berikut :

$$S^{PS} = \frac{\frac{I_2}{I_1} - \frac{n^S}{n^P}}{K^{PS}} \times 100 (\%) \quad (K^{PS} \text{ adalah harga terkecil antara } \frac{I_3}{I_1} \text{ dan } \frac{n^S}{n^P})$$

$$S^{PT} = \frac{\frac{I_3}{I_1} - \frac{n^T}{n^P}}{K^{PT}} \times 100 (\%) \quad (K^{PT} \text{ adalah harga terkecil antara } \frac{I_3}{I_1} \text{ dan } \frac{n^T}{n^P})$$

$$S^{ST} = \frac{\frac{I_3}{I_1} - \frac{n^T}{n^S}}{K^{ST}} \times 100 (\%) \quad (K^{ST} \text{ adalah harga terkecil antara } \frac{I_3}{I_1} \text{ dan } \frac{n^T}{n^S})$$

dimana N^P, N^S, N^T : Harga dari tap menurut hitungan
 n^P, n^S, n^T : Harga dari tap yang dipilih

Harga dari S^{PB}, S^{PS}, S^{PT} dan S^{ST} tidak boleh melebihi $\pm 5\%$

4.5.1.3. Prosedur Hitungan Untuk Transformator Dua Belitan

Harga dari masing-masing arus dihitung dengan persamaan berikut :

$$I_r = \frac{P}{V_p}$$

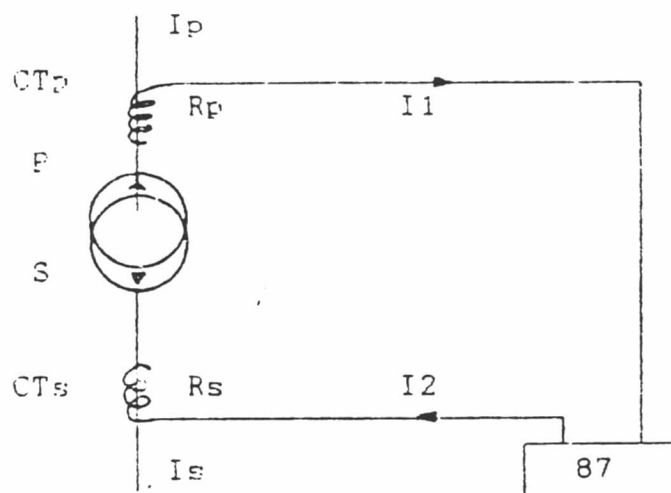
..... (4-5)

$$I_s = \frac{P}{V_s}$$

dimana P : Kapasitas transformator

Vp, Vs : Range tegangan dari masing-masing belitan transformator tenaga

Ip, Is : Arus primer dari transformator arus (CT)



Gambar 4.8
Penempatan Rele Differensial
Untuk Transformator Dua Belitan

Kemudian arus sekunder CT (sebagai arus input dari rele differensial) dihitung dengan persamaan berikut :

$$I_2 = \frac{I_r}{R_r}$$

$$I_2 = \frac{I_s}{R_s}$$

..... (4-6)

dimana I_2 : Arus sekunder transformator arus (CT)
 R_r, R_s : Rasio dari CT

Catatan : Dalam suatu CT dengan multi tap, rasio dari CT harus diseleksi dikarenakan arus sekundernya antara 2.9A sampai dengan 8,7A Lihar Tabel 4.2.

Kemudian pemilihan tap setting dilakukan sebagai berikut Dengan mengasumsikan bahwa harga terbesar dari I_1 dan I_2 adalah sebagai tap dasar dari 8,7A, dihitung dengan persamaan berikut :

$$\frac{I_1}{N_p} = \frac{I_2}{N_s}$$

dan dipilih tap yang lebih mendekati sebagai hasil dari hitungan.

Kesalahan dari tap pengesetan (error of setting taps) dihitung dengan persamaan berikut :

$$Sps = \frac{\frac{I_2}{I_1} - \frac{n^s}{n^r}}{Kps} \times 100 (\%)$$

(Kps adalah harga terkecil antara $\frac{I_3}{I_1}$ dan $\frac{n^r}{N^p}$)

dimana N_p, N_s : Harga dari tap menurut hitungan

n^P, n^S : Harga dari tap yang dipilih

Harga dari Srs tidak boleh melebihi $\pm 5\%$

4.5.2. Prosedur Pengesetan dari Tap Differensial Percentage.

Hal-hal berikut digunakan untuk bahan pertimbangan pengesetan tap differensial percentage.

1. Kesalahan CT pada Overcurrent ϵ (%)

Kesalahan ini ditentukan oleh pabrik pembuat Ct, dan besar kesalahan dapat diketahui dari nama plate CT tersebut.

2. Kesalahan pengesetan tap arus

Dari hasil pengesetan yang telah dilakukan diatas dapat diketahui besarnya kesalahan ini, yaitu tidak boleh melebihi $\pm 5\%$. Untuk pengesetan tap differensial dipakai 5%.

3. (Changing band of L.R.T (half band of changing tap) ϵ (%)

Kesalahan ini didapat dari rumus berikut :

$$\epsilon = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\text{cont}}} \times 100\%$$

Rumus ini dari buku petunjuk PLN tentang relay differensial

Dimana :

V_{mak} : tap maksimum dari transformator tenaga

V_{min} : tap minimum dari transformator tenaga

V_{cont} : tap nominal dari transformator tenaga

4. Setting allowance α (X)

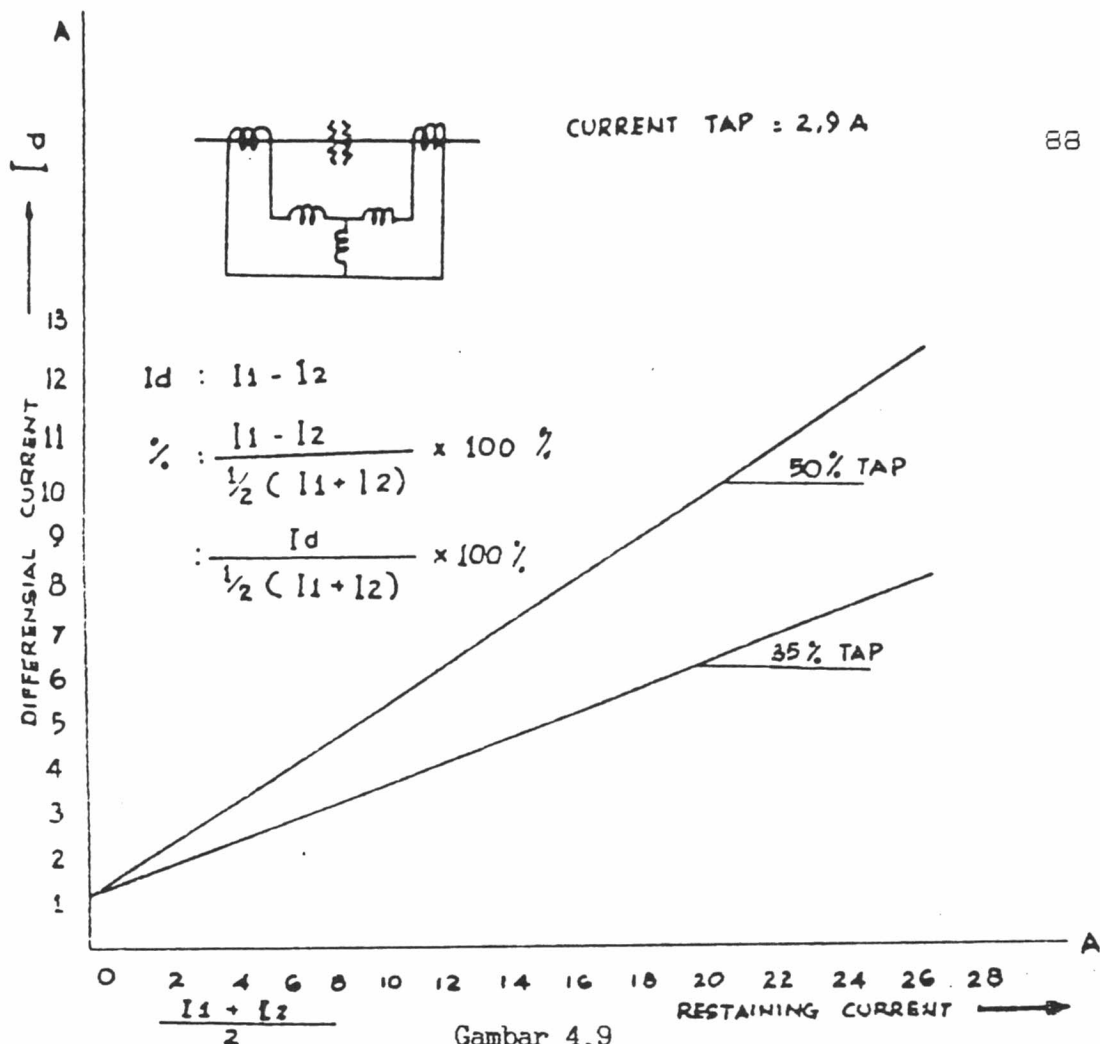
Setting allowance diperlukan untuk keamanan, dan biasanya digunakan 5%

Tap differensial percentage (R) dihitung sebagai berikut :

$$R \geq \epsilon + S + e + \alpha \quad (\%)$$

Karena tap relay differensial percentage hanya tersedia dua tap (35% dan 50%), maka R yang diperoleh dibulatkan yang terdekat dengan dua tap tersebut.

Karakteristik relay differensial percentage dengan tap pengesetan 35% dan 50% dapat dilihat pada gambar 4.7. Dari gambar terlihat bahwa daerah diatas garis karakteristik adalah daerah pengetripan (tripping zone), dan daerah dibawah garis karakteristik adalah daerah pengeblokan (blocking zone).



Gambar 4.9
Karakteristik Rele Differensial Percentage
Dengan Tap Pengesetan 35% Dan 50%¹⁷⁾

4.5.3. Prosedur Pengesetan Elemen Instaneous Overcurrent

Elemen ini menggunakan pengesetan tipe relay overcurrent. Elemen ini harus diset sehingga tidak terjadi kesalahan operasi karena arus kejut (inrush current). Biasanya tap standard pengesetan adalah tap 1000%, tetapi harus dirubah ke 1500% jika harus RMS inrush current melebihi 5 kali dari tap arus pada terminal input rele.

¹⁷⁾ Ibid. hal 12.

4.5.4. Rele Differensial

Rele differensial yang dipakai sebagai pengaman utama pada Transformator PLTGU Gresik yaitu type EAH-H2, MITSUBISI HEAVY INDUSTRI LTD. TAKASAGO MACHINERY WORK, JAPAN. Rele ini adalah rele arus differensial type statis yang digunakan sebagai pengaman gangguan internal transformator seperti hubung singkat pahas ke fasa hubung singkat antara belitan yang sama, dan gangguan tanah. Rele ini mempunyai penahan harmonisa kedua untuk mencegah rele salah kerja melawan inrush current transformator, juga mempunyai elemen instanteneous overcurrent. Pengkompensasian CT tidak diperlukan karena rele ini telah dilengkapi tap setting untuk kompensasi rasio arus.

4.6. Type Rele

4.6.1. Konstruksi dan Pengoperasian

Rele mempunyai elemen defferensial persentago, elemen penahan harmonisa kedua dan elemen instanteneous overcurrent. Diagram hubungan internal ini ditunjukkan pada lembar gambar.

4.6.2. Elemen Defferensial Percentage

CTp dan CTs dihubungkan dengan kumparan transformator tenaga. Masing-masing arus sekunder CTp dan CTs mengalir ketterminal no. 1 dan no. 2 pada rele, melalui

transformator-transformator penahan CT1 dan CT2, juga melalui transformator operasi CT4, oleh karenanya arus differensial (I_d) mengalir ke terminal no. 4.

Tap-tap untuk mengkompensasi rasio CT, disediakan dengan transformator penahan dan transformator operasi yang dihubungkan dengan kumparan sekunder transformator tenaga. Papan tap setting disediakan untuk penyesuaian tap. pada papan tersebut terdapat simbol P dan S yang menyimbulkan tap transformator CT1 dan CT2. Setting dilakukan dengan memasukkan baut tap kedalam masing-masing saluran tab. pada waktu yang sama dilakukan pengesetan transformator operasi.

4.6.3. Elemen Instantaneous Overcurrent

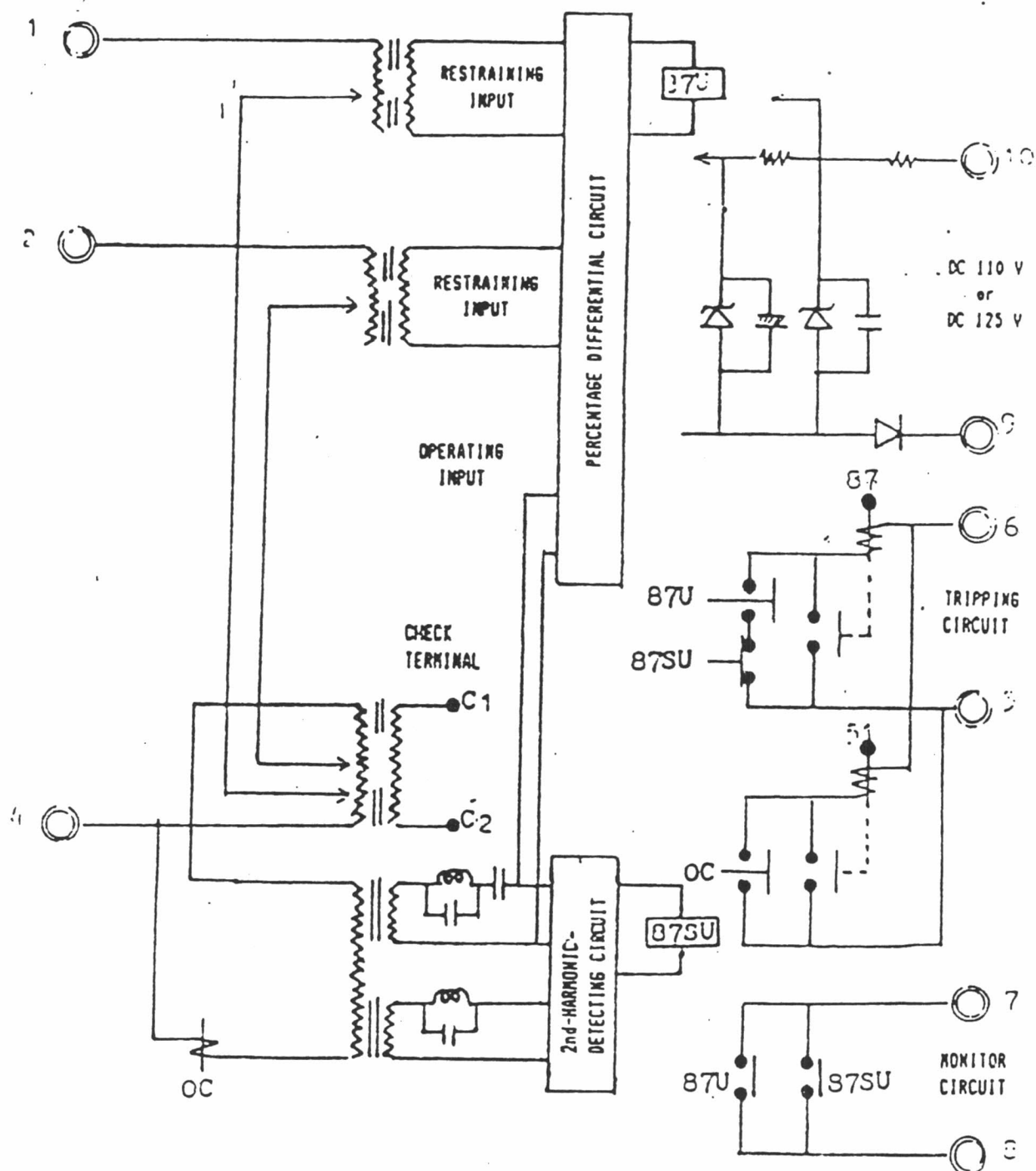
Elemen ini digunakan sebagai cadangan dari rele differensial dan akan beroperasi pada kondisi 1000% - 1500% harga tetap arus.

4.6.4. Rangkaian Kontak

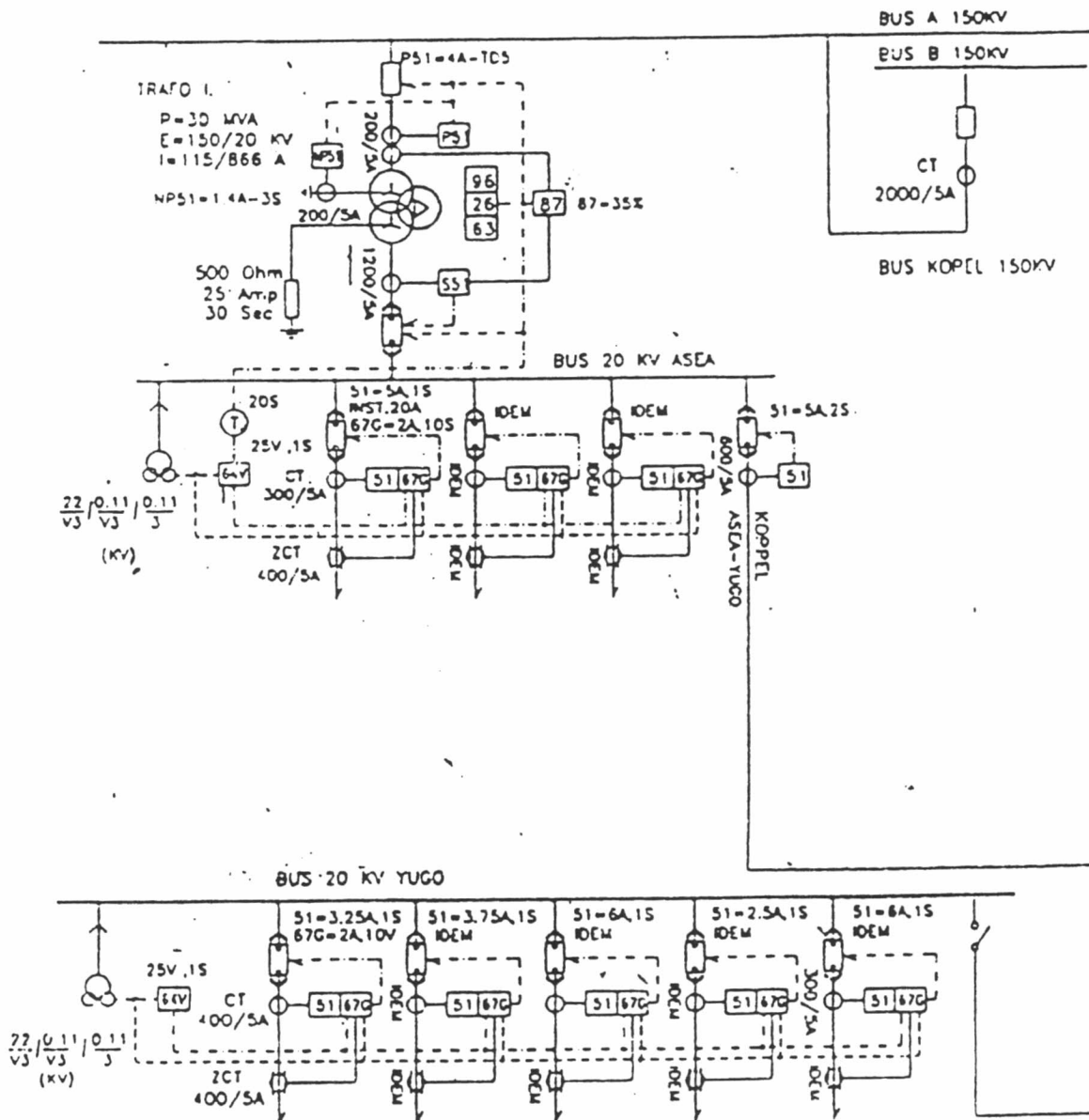
Terminal 5 dan 6 terhubung ketika terjadi gangguan internal. dimana kotak elemen differensial rele persentago terhubung dan kontak elemen penahan harmonisa kedua juga terhubung. Hal sama akan terjadi pada saat kontak elemen instantaneous overcurrent terhubung. Terminal 5 dan 6 ini digunakan untuk mengerjakan rangkaian pemutusan daya.

4.6.5. Indikator Operasi

Type rele ini dilengkapi dengan dua kontak indikator. yaitu untuk elemen instantaneous overcurrent dan untuk elemen rele differensial percentage dan elemen penahanan harmonisa kedua. Pada saat terjadi gangguan kotak-kotak ini terhubung dan jatuh kepapan sasaran sebagai indikasi rele mana yang jatuh (bekerja).



Gambar 4.10
Diagram Hubungan Internal Rele
Differensial Type EAH-112



Data rele sebagai berikut :

Pentanahan dengan impedansi 500 ohm ($I_m = 25$ amp) dilakukan dititik netral sekunder.

$$P = 30 \text{ MVA}$$

$$E = 150/20 \text{ KV}$$

$$V_{mak} = 161.000 \text{ Volt}$$

$$V_{oon} = 140.000 \text{ Volt}$$

$$V_{min} = 133.000 \text{ Volt}$$

$$CT1 = 200/5$$

$$CT2 = 1200/5$$

Setting tap arus

$$I_p = \frac{P}{V_p} = \frac{30 \times 10^6 \text{ VA}}{150 \times 10^3} = 200 \text{ A}$$

$$I_s = \frac{P}{V_p} = \frac{30 \times 10^6 \text{ VA}}{20 \times 10^3} = 1500 \text{ A}$$

$$I_1 = \frac{I_p}{R_p} = \frac{200}{200/5} = 5 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{I_p}{R_p} = \frac{1500}{1200/5} = 5 \text{ A}$$

$I_2 > I_1$, sehingga I_2 diset 5.0 A ($n_s = 5.0 \text{ A}$)

$$n_p = 5.0 \times \frac{5}{6.25} = 4 \text{ A}$$

Jadi tap yang dipakai : $n_p = 4.1$ dan $n_s = 5.0 \text{ A}$

Kesalahan tap setting :

$$Sps = \frac{\frac{I2}{I1} - \frac{ns}{np}}{Kps} \times 100 \%$$

$$Sps = \frac{\frac{6.25}{5} - \frac{5}{4.1}}{\frac{5}{4.1}} \times 100 \%$$

$$= 2.5 \%$$

Hasil yang diperoleh telah memenuhi syarat berikut :

- 5% , $Sps < 5\%$

Konsekuensinya np dan ns yang dipakai tetap yaitu :

np = 4,1 A

ns = 5.0 A

Setting tap defferensial percentage (R), data-data yang dipakai PLN :

1. Error of CT Overcurrent $\Sigma = 5\%$

2. Error of setting current $S = 5\%$

3. Changing band of L. R. T e = 20%

Vmak = 161.000 V

Vcon = 140.000 V

Vmin = 133.000 V

$$e = \frac{161.000 - 133.000}{140.000} \times 100 \%$$

$$= 20 \%$$

Setting allowance $\alpha = 5\%$

Sehingga diperoleh : $R \geq \Sigma + S + e + \alpha$

$$R \geq 5 + 5 + 20 + 5$$

$$R \geq 35.$$

Oleh karena itu tap yang dipakai adalah 35%.

4.7. Pengaruh Gangguan Hubung Singkat Tiga Phasa Pada Penyulang Terhadap Rele Differensial.

Dari data gangguan dapat diketahui bahwa gangguan hubung singkat tiga phasa pada penyulang dapat menyebabkan rele differensial salah kerja.

Secara teori telah/dibuktikan bahwa arus hubung singkat terbesar terjadi pada saat gangguan hubung singkat tiga phasa. Untuk mengetahui besarnya gangguan hubung singkat tiga phasa sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{hs\ 3\ \phi} &= \frac{MVA_{hs\ 3\phi} / 3}{KVb\ 1-1 / \sqrt{3}} \\ &= \frac{MVA_{hs\ 3\phi}}{\sqrt{3}\ KVb} \end{aligned}$$

dimana $I_{hs\ 3\ \phi}$ = Arus hubung singkat tiga phasa

$MVA_{hs\ 3\ \phi}$ = MVA hubung singkat tiga phasa pembangkit minimum.

KVb = Tegangan tembus

Dari keterangan diatas dapat diketahui bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga phasa pada penyulang arus gangguannya sangat besar. menyebabkan CT mengalami kejenuhan karena batas kejenuhan terlampaui. Bila salah satu CT telah mencapai titik kejenuhan, maka dapat dipastikan selisih arus sekunder dari kedua CT akan lebih besar dibandingkan sebelum CT mencapai titik kejenuhan. Bila pada kondisi seperti ini rele differensial bekerja berarti arus ketidak seimbangan yang terjadi telah melampaui batas yang telah ditentukan.

Bila pada kondisi normal rele differensial telah bekerja sebagaimana mestinya. Hal ini menunjukkan bahwa arus ketidak seimbangan yang timbul pada kondisi normal masih mampu diatasi dengan rele differensial type percentage dan hal ini juga menunjukkan bahwa karakteristik dari kedua CT telah mendekati sama. Akan tetapi pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga phasa dipenyulang, rele differensial type percentage tidak mampu lagi mengatasi timbulnya arus ketidak seimbangan.

Untuk mengulangi agar rele differensial tidak bekerja pada saat terjadi gangguan hubung singkat di penyulang, maka harus dilakukan pengeblokan terhadap kerja rele differensial dengan menggunakan directional overcurrent yang diletakkan pada disisi sekunder CT2. Elemen ini harus diset sedemikian rupa sehingga pada saat

terjadi gangguan hubung singkat dipenyulang, elemen ini dapat memblokir kerja rele differensial.

Gambar menunjukkan rangkaian internal dari rele differensial type percentage setelah ditambah elemen directional overcurrent yang digunakan untuk menanggulangi pengaruh gangguan eksternal. Tampak ada dua elemen overcurrent yaitu instanteneous overcurrent (OC1) dan elemen directional overcurrent (OC2). OC1 digunakan sebagai cadangan dari rele differensial type percentage, sedangkan OC2 digunakan untuk memblokir kerja rele differensial type percentage pada saat terjadi gangguan hubung singkat di penyulang. Rangkaian pemutus akan bekerja bila saklar differensial percentage (87U), saklar elemen penahan harmonisa kedua (87SU) dan saklar elemen directional overcurrent (OC2) ketiganya dalam keadaan tertutup.

Sedang data untuk besar arus hubung singkat sebagai berikut :

NVA hs 3ø = 2879 MVA

CTTp (Rp) = 200/5

CTs (Rp) = 1000/5

Transformator tenaga = 1500/20 KV (30 MVA)

Arus singkat tiga phasa pada bus 150 KV adalah :

$$I_{hs\ 3\ \phi\ (150\ KV)} = \frac{2879\ MVA}{\sqrt{3}\ 150\ KV} = 11081\ A$$

Arus hubung singkat tiga phasa di bus 20 KV adalah :

$$I_{hs} \ 3 \ \phi \ (20 \text{ KV}) = \frac{150}{20} \times 11081 = 83108 \text{ A}$$

Kondisi CT

Pada umumnya CT mengalami kejenuhan setelah mencapai kurang lebih 20 kali arus nominalnya (I_{nom}).

$$1. \text{ CTp} \quad R_p = 200/5 \text{ A} \ (I_{nom}) = 200/5)$$

$$\begin{aligned} I \text{ Jenuh (CT mulai jenuh)} &= \pm (20 \times I_{nom}) \\ &= \pm 4000 \text{ A} \end{aligned}$$

$$I \text{ has } 3 \ \phi \ (150 \text{ KV}) = 11081 \text{ A}$$

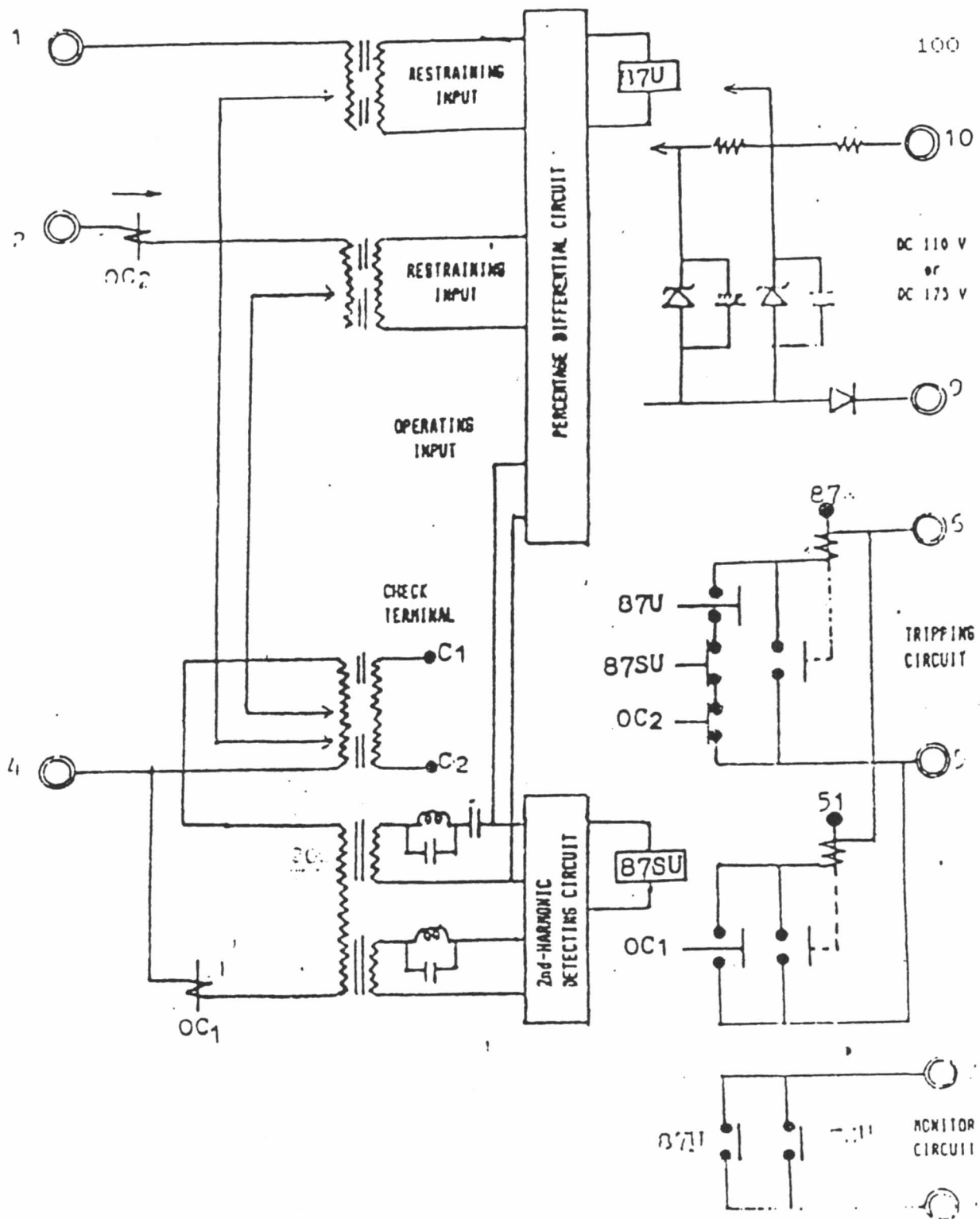
$$I \text{ has } 3 \ \phi \ (150 \text{ KV}) > \text{jenuh}$$

$$2. \text{ CTs} \quad R_s = 1500/5 \ (I_{nom} = 1500/5 \text{ A})$$

$$\begin{aligned} I_{jenuh} \text{ (CT mulai jenuh)} &= \pm (20 \times I_{nom}) \\ &= \pm 30.000 \text{ A} \end{aligned}$$

$$I \text{ has } 3 \ \phi \ (150 \text{ KV}) = 83108 \text{ A}$$

$$I \text{ has } 3 \ \phi \ (150 \text{ KV}) > \text{jenuh}$$



Gambar 4.12

Diagram Hubungan Internal Rele Differensial Type EAH-H2
Setelah Dilengkapi Elemen Directional Overcurrent Untuk
Menanggulangi Pengaruh Gangguan Eksternal