

IMPLEMENTASI RELE DIFFERENSIAL DT 93 PADA TRAFODAYA 500 MVA PADA SISTEM TEGANGAN EKSTRA TINGGI 500/150/66 KV

Sujito

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui implementasi rele differensial DT 93 pada trafo daya 500 MVA pada sistem tegangan ekstra tinggi 500/150/66 Kv. Trafo daya mempunyai fungsi yang sangat penting dalam proses koversi energi dan penyaluran daya pada konsumen. Oleh karena itu, trafo daya harus mempunyai keandalan dalam operasi yang tinggi. Hal ini dapat dicapai dengan cara memasang pengaman, terutama gangguan internal yang sulit di amati. Rele differensial merupakan jenis pengaman yang dapat digunakan untuk fungsi tersebut, rele ini mampu mendeteksi gangguan hubung singkat yang terjadi pada sisi dalam trafo daya. Hasil peneletian menunjukkan bahwa rele differensial DT 93 yang dipasang pada trafo daya 500 MVA pada sistem tegangan 500/150/66 Kv mempunyai Arus kerja minimum yang dapat diset antara 20% sampai 50% arus nominal In. Implementasi DT 93 pada trafo daya di Gardu Induk terintegrasi dengan modul IW 93 untuk setting penyesuai fasa dan modul DI 93 untuk setting arus kerja minimum. Aplikasi dilapangan setting arus kerja minimum di set pada posisi 30% dari arus nominal In.

Kata kunci: Rele differensial, trafo daya

Untuk menyalurkan energi listrik berkapasitas besar, diperlukan suatu sistem tegangan yang tinggi. Di Indonesia, untuk menyalurkan energi listrik berkapasitas besar digunakan sistem tegangan ekstra tinggi 500 KV. Makin tinggi tegangan dan jumlah energi listrik yang disalurkan, makin diperlukan suatu penanganan masalah pengelolaan yang baik, sehingga dapat dicapai hasil yang optimal dalam pelayanan kebutuhan tenaga listrik.

Seiring dengan perkembangan teknologi dalam sistem tenaga listrik, ukuran keandalan dan keamanan suatu sistem tenaga listrik menjadi faktor yang dominan. Suatu sistem tenaga listrik dikatakan mempunyai kontinuitas yang tinggi apabila sistem tersebut mampu menyediakan energi listrik yang dibutuhkan secara terus menerus (kontinuitas) dan dengan kualitas tegangan, frekuensi maupun faktor daya yang baik. Disamping itu, faktor keamanan bagi manusia dan peralatan yang terpasang dan kemungkinan gangguan pada sistem tersebut juga menjadi syarat suatu sistem tenaga listrik.

Dalam operasi nyata suatu sistem tenaga, untuk memenuhi persyaratan keamanan dan keandalan tersebut banyak kendala yang dihadapi. Hal ini disebabkan karena

semakin besar suatu sistem, maka semakin banyak titik-titik yang rawan terjadi gangguan sehingga semakin besar pula kemungkinan terjadinya gangguan pada sistem tersebut dan semakin besar pula arus gangguan yang akan terjadi.

Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah hubung singkat. Gangguan hubung singkat akan menyebabkan mengalirnya arus yang lebih besar yang dapat merusak peralatan yang terpasang dan membahayakan manusia yang berada disekitarnya apabila tidak segera diputuskan. Untuk mengantisipasi hal tersebut maka dibutuhkan sistem perlindungan yang mampu melindungi sistem terhadap kemungkinan terjadinya gangguan hubung singkat dengan cara memutus secepat mungkin arus yang mengalir sehingga tidak merusak peralatan yang ada. Disamping itu, perlindungan ini juga harus mampu melokalisasi gangguan, sehingga pemadaman hanya pada bagian yang mengalami gangguan. Bagian sistem yang lain tetap beroperasi tanpa perlu mengalami pemadaman serupa.

Transformator daya sebagai salah satu peralatan penting dalam sistem penyaluran tenaga listrik dirancang untuk dapat berfungsi sebagai penyalur energi listrik

secara kontinyu. Namun demikian ada faktor-faktor yang dapat menyebabkan terputusnya penyaluran energi listrik akibat pemburukan isolasi, gangguan hubung singkat, gangguan alam maupun binatang. Gangguan-gangguan tersebut bila dibiarkan tanpa ada usaha untuk mebatasi atau mencegahnya, maka akan dapat menimbulkan kerusakan peralatan dan kerugian yang besar.

Dengan melengkapi rele-rele pengamanan untuk mendeteksi setiap jenis gangguan yang mungkin timbul pada transformator daya 500 MVA di sistem tegangan ekstra tinggi 500 KV dan penyetelan rele dengan benar, maka dapat diharapkan sistem kerja rele yang andal dan selektif terhadap setiap gangguan, sehingga kerusakan peralatan dan meluasnya pemadaman sistem tenaga dapat dibatasi. Sistem proteksi akan bekerja dengan baik apabila *rating* peralatan yang mendukung sistem sesuai dengan besarnya arus gangguan yang terjadi dan karakteristik perlindungan peralatan yang bersangkutan. Pengecekan ulang (evaluasi) peralatan proteksi sangat berguna untuk mengetahui kelayakan peralatan yang terpasang, sehingga keandalan proteksi dalam setiap mengatasi jenis gangguan dapat terjaga dengan nilai yang tinggi. Kegiatan evaluasi sangat diperlukan demi keandalan sistem dan kontinuitas pelayanan.

Memburuknya isolasi belitan trafo, menurunnya kuat dielektrik isolasi cair trafo dapat menyebabkan gangguan hubung singkat pada belitan transformator. Gangguan seperti ini harus dapat diamankan sebelum merusak trafo secara keseluruhan. Kerusakan akibat gangguan hubung singkat pada belitan trafo dapat dihindari dengan memasang rele pengamanan, yaitu rele differensial. Rele ini akan bekerja hanya jika terjadi perbedaan arus antara arus primer dan arus sisi sekunder trafo

Rele Differensial

Rele differensial merupakan jenis rele yang mempunyai selektivitas mutlak (di sebut sebagai *unit sistem*), yaitu proteksi yang hanya merespon gangguan di zone pengamanannya dan tidak tergantung pada parameter jaringan. Pada rele differensial trafo, rele membandingkan arus saluran pada rangkaian primer yang menuju ke trafo dengan arus saluran pada rangkaian sekundernya.

Jenis rele differensial yang umum digunakan pada trafo daya adalah rele differensial persentase, untuk menjaga stabilitas rele dari gangguan luar (akibat dari karakteristik yang tidak *match*) dan dari efek perubahan tap trafo, serta sering digunakan rele differensial dengan pencegahan harmonik untuk mencegah rele bekerja terhadap arus *inrush* magnetisasi.

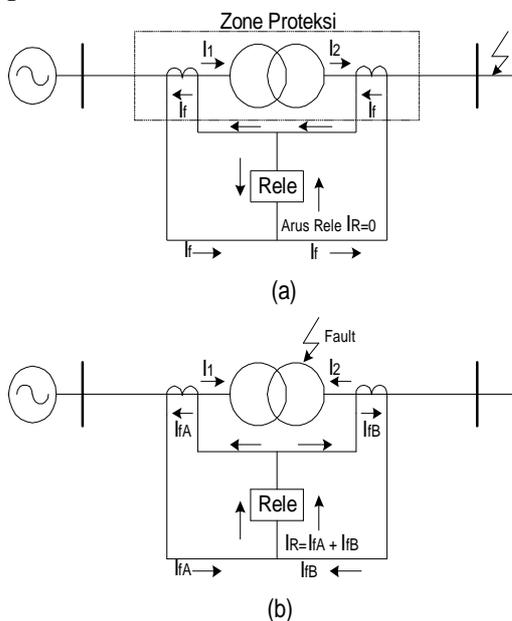
Prinsip Kerja Rele Differensial

Prinsip kerja rele differensial ada dua macam, yaitu prinsip arus-beredar (*circulating current principle*) dan prinsip tegangan-imbang (*balance voltage principle*). Prinsip tegangan-imbang umumnya diterapkan pada perlindungan saluran daya yang pendek. Sedangkan prinsip arus-beredar umumnya diterapkan pada perlindungan peralatan besar, misalnya generator, motor dan trafo daya yang berkapasitas besar.

Rele differensial arus-beredar

Prinsip kerja rele differensial arus-beredar atau disebut prinsip *Merz-Price* adalah membandingkan arus-arus masuk dan keluaran trafo. Pada kondisi normal atau gangguan di luar trafo, arus akan bersikulasi pada rangkaian sekunder trafo arus tanpa melewati rele, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 (a). Pada keadaan normal atau gangguan di luar wilayah proteksi, arus mengalir pada rele dengan arah yang berlawanan sehingga saling meniadakan (resultan arus yang mengalir pada rele sama dengan nol), tidak ada arus differensial dan akibatnya rele tidak bekerja.

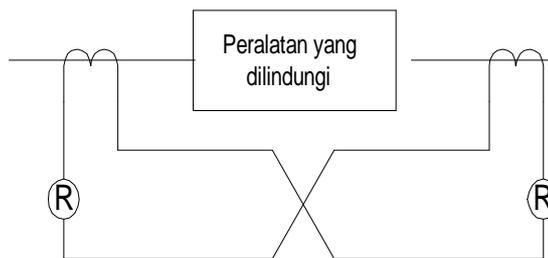
Bila terjadi gangguan di dalam trafo, maka arus I_2 akan berbalik arah, sehingga arus sekunder dari trafo akan saling menjumlahkan dan masuk ke rele dan rele akan bekerja, seperti ditunjukkan pada Gambar 1 (b).



Gambar 1 Prinsip Kerja Relé Diferensial
(a). Keadaan normal atau gangguan eksternal
(b). Keadaan gangguan internal

Relé differensial tegangan-berimbang

Prinsip kerja relé differensial jenis tegangan-imbang diperlihatkan pada Gambar 2, relé dihubungkan secara seri dengan pilot, dengan polaritas relatif CT tertentu sehingga tidak ada arus pada pilot untuk kondisi beban normal atau gangguan di luar wilayah proteksi, karena keseimbangan tegangan antara dua CT. Bila terjadi gangguan internal, arus gangguan akan mengakibatkan tegangan sekunder CT menjadi tidak seimbang sehingga arus akan mengalir pada rele, sehingga rele akan bekerja dengan menutup rangkaian penjatuh CB pada kedua ujung.



Gambar 2 Relé Diferensial Tegangan-Imbang

Karakteristik Relé Diferensial

Sebuah relé differensial harus mempunyai ciri atau sifat mengisolasi gangguan, sedangkan gangguan eksternal tidak boleh menyebabkannya bekerja. Karakteristik relé yang mengatur tendensi bekerjanya disebut karakteristik operasi, sedangkan yang mengatur tendensi mencegah bekerja relé disebut karakteristik-cegahan (*restraining characteristic*).

Setting Relé Diferensial

Magnitud arus gangguan internal dan arus gangguan eksternal yang terjadi pada trafo tergantung pada tipe gangguan, lokasi gangguan dan variasi impedans sistem. Relé differensial sebagai relé yang mempunyai tugas menagani semua tipe gangguan internal dan tidak boleh bekerja terhadap gangguan eksternal, maka dalam penentuan *setting* relé harus memperhatikan :

- a. Arus gangguan minimum, ini dapat terjadi pada kondisi :
 - a) Impedans sumber (impedans sistem) bernilai maksimum.
 - b) Gangguan 1 fasa ke tanah dan lokasi gangguan dekat dengan titik netral.
- b. Arus gangguan maksimum dapat terjadi pada kondisi :
 - a) Impedans sumber bernilai minimum.
 - b) Gangguan 3 fasa dan lokasi gangguan dekat dengan terminal trafo.

Pada relé differensial pesentase yang diterapkan pada trafo daya dapat diberi *setting* sebagai berikut :

$$\text{Setting arus/ arus kerja} = 50 - 100 \%$$

Bias/slope = 10 – 40 %
 Waktu operasi = 25 – 500 milidetik
 pada arus $2 \times I_n$

Nilai bias pada rele diferensial dapat dipilih dengan karakteristik: tetap, dapat diatur (*adjustable*) dan variabel, tergantung jenis rele dan pembuatnya.

Rele diferensial persentase dengan pecegahan harmonik dapat dipilih dengan karakteristik sebagai berikut (bila dibandingkan dengan rele diferensial persentase bias) :

1. Lebih kecil kemungkinan oleh arus *inrush*.
2. Dapat diset dengan nilai *pick-up/setting* arus lebih rendah, yaitu 20-40% dari *rating* trafo dibanding 40-100% pada nilai diferensial persentase.
3. Dapat diset dengan waktu kerja lebih cepat, yaitu 0,03-0,05 detik dibanding 0,1-0,2 detik pada rele diferensial persentase.

Keterbatasan

Keterbatasan dalam penerapan rele diferensial dan cara mengatasinya antara lain:

1. Masalah yang harus diperhatikan dalam rele diferensial.
 Guna mendapatkan unjuk kerja rele diferensial yang mempunyai ketelitian yang tinggi dan optimal dalam mengatasi gangguan, maka ada beberapa hal yang harus diperhatikan :
 - a. Perbandingan transformasi trafo arus, rasio CT arus primer dan sekunder harus sesuai dengan memperhatikan perbedaan magnitudo arus akibat hubungan trafo tersebut.
 - b. Hubungan trafo, misal Y- Δ akan menimbulkan pergeseran fasa antara arus primer dan arus sekunder. Agar rele tak bekerja salah, maka hubungan CT harus tepat dalam pemasangan.
2. Keterbatasan rele diferensial tanpa bias.

Rele diferensial tanpa bias (prinsip *Merz-Price*) mungkin akan bekerja salah pada gangguan eksternal besar disebabkan karena ketidakcocokan karakteristik kedua CT dan perubahan tap trafo. Hal ini dapat diatasi dengan penambahan resistor penstabil (*stabilizing resistor*) pada rangkaian rele yang terhubung seri dengan koil operasi rele atau dengan menambah raut miring (*bias feature*).

3. Keterbatasan rele diferensial bias persentase terhadap arus *inrush* magnetisasi. Ini dapat diatasi dengan penambahan bahan karakteristik cegahan yang berprinsip dasar pada komponen harmonik arus *inrush*. Agar rele tak bekerja akibat *overexcitation inrush* maka harus dipasang *overexcitation restraint*.

METODE

Penelitian ini merupakan studi lapangan yang dilakukan di Gardu Induk Ungaran Jawa Tengah. Studi lapangan bertujuan untuk mencari dan mengumpulkan data yang terkait. Data yang telah diperoleh kemudian dianalisa berdasarkan teori-teori yang berkaitan. Hasil analisa kemudian dibandingkan dengan data yang ada dilapangan.

HASIL

Hasil data ada dua yaitu hasil yang berupa data dari lapangan dan data dari analisa. Data yang diperoleh dilapangan:

1. Trafo daya 500 MVA
 - Vector group = Ynyod
 - Daya = $S_{Nominal} = 500 \text{ MVA}$
 - $S = 447 \text{ MVA}$
 pada perbandingan tegangan maksimum 525/150/64 KV
 Tegangan = $V_p \text{ max} = 525 \text{ KV}$
 $V_p \text{ min} = 475 \text{ KV}$
 $s = 168 \text{ KV}$
 $V_t = 71,5 \text{ KV}$
2. Trafo arus
 - a. Sisi 500 KV = 1000/1 A

- b. Sisi 168 KV = 2000/1 A
- c. Sisi 71,5 KV = 1000/1 A

Berdasarkan data yang diperoleh di lapangan, maka diperoleh data sebagai berikut:

A. Penyesuai arus

1. Penyesuai arus sisi tegangan 500 KV (a1) = 86,39 %
2. Penyesuai arus sisi tegangan 150 KV (a2) = 58,2 %
3. Penyesuai arus sisi tegangan 66 KV (a3) = 99%

B. Penyesuai fasa

1. Penyesuai fasa sisi primer V1 = 0.
2. Penyesuai fasa sisi sekunder V2 = 0.
3. Penyesuai fasa sisi tersier V3 = 1.

PEMBAHASAN

Rele diferensial yang digunakan pada trafo daya 500 MVA pada sistem tegangan ekstra tinggi 500/150/66 KV di Gardu Induk Ungaran adalah rele diferensial tipe DT 93. Rele diferensial DT 93 merupakan unit proteksi trafo tiga fasa berkecepatan tinggi untuk mengamankan gangguan fasa dan tanah belitan trafo daya. Rele diferensial DT 93 ini terdiri dari beberapa modul yang terintegrasi yaitu modul DI 93, modul IW 93. Masing-masing modul mempunyai fungsi yang berbeda-beda, modul IW digunakan untuk setting penyesuai arus, sedangkan modul DI 93 digunakan untuk setting arus kerja minimum.

Modul IW mempunyai fasilitas untuk penyesuai fasa primer, sekunder dan tersier. Masing-masing fasa mempunyai 3 pilihan posisi yaitu posisi 0, 1, dan 2. Modul DI 93 yang berfungsi untuk setting arus kerja minimum rele diferensial mempunyai pilihan mulai dari 20 -40 % dari arus nominal In.

Setting Rele Differensial

Penentuan setting rele diferensial DT 93 disesuaikan dengan *publication* CH-ES 85-61 E. Dengan terlebih dahulu

memperhatikan perhitungan setting sebagai berikut:

Perhitungan *setting*

A. Penyesuai arus

setting penyesuai arus dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$a_i (\%) = \frac{V_{\max} i x I_{CT} i x \sqrt{3}}{P_{xmai}} \times 100 \%$$

dengan:

i = Sisi tegangan (i : 1, 2, 3)

a = Penyesuai arus

V_{\max} = Tegangan *rating*

I_{CTi} = *Rating* arus primer CT

P = *Rating* daya trafo tenaga

mai = *Range* rele, 2

b. Penyesuai fasa

Untuk melakukan penyesuaian fasa pada rele diferensial DT 93 dilakukan dengan merubah posisi saklar Vi yang terdapat pada modul IW 93. Berdasarkan modul IW 93, maka diperoleh penyesuai fasa tiap sisi tegangan sebagai berikut:

1. Penyesuai fasa sisi primer V1 = 0.
2. Penyesuai fasa sisi sekunder V2 = 0.
3. Penyesuai fasa sisi tersier V3 = 1.

c. Arus kerja minimum

Untuk melakukan *setting* arus kerja minimum pada rele diferensial DT 93 dapat dilakukan dengan saklar g pada modul DI 93. Arus kerja minimum dapat diset antara 20% sampai 50% arus nominal In.

Dalam menentukan arus kerja minimum pada rele diferensial DT 93 menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$g = 1 + \frac{100(I_{\max} - I_{\min})}{I_{\text{Mean}}} \%$$

dimana nilai I_{\max} , I_{\min} dan I_{Mean} dicari dengan menggunakan persamaan :

$$I_{\max} = \frac{S_{\text{No min al}}}{\sqrt{3} \cdot V_{\min}}$$

$$= \frac{500}{\sqrt{3.475}} = 607,7 \text{ A}$$

nilai $I_{Max} = 607,7 \text{ A}$

$$I_{Min} = \frac{S}{\sqrt{3.V_{Max}}}$$

$$= \frac{447}{\sqrt{3.525}} = 491,6 \text{ A}$$

nilai $I_{Min} = 491,6 \text{ A}$. Sehingga nilai I_{Mean} dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$I_{Mean} = \sqrt{I_{Max} \cdot I_{Min}}$$

$$= \sqrt{607,7 \times 491,6} = 546,5 \text{ A}$$

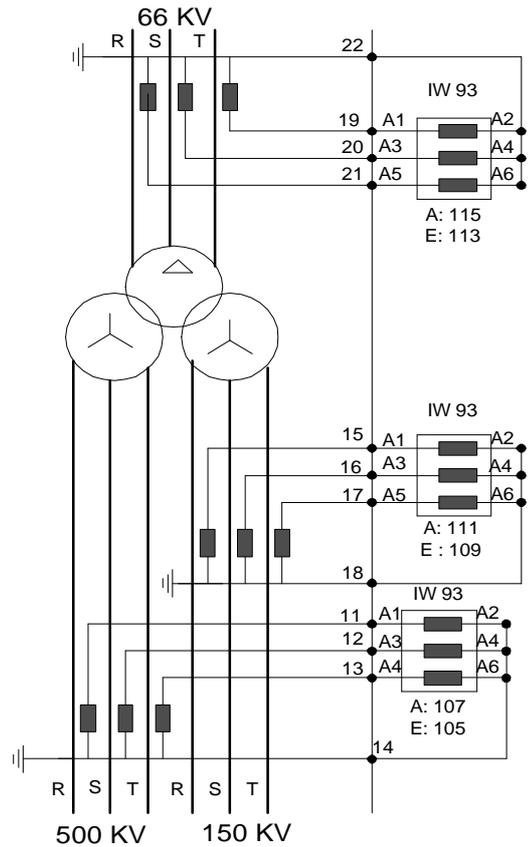
nilai $I_{Mean} = 546,5 \text{ A}$

Dengan memasukkan nilai I_{Max} , I_{Min} dan I_{Mean} , maka didapatkan nilai g sebagai berikut :

$$g = 1 + \frac{100(607,7 - 491,6)}{546,5} \%$$

$$g = 21 \%$$

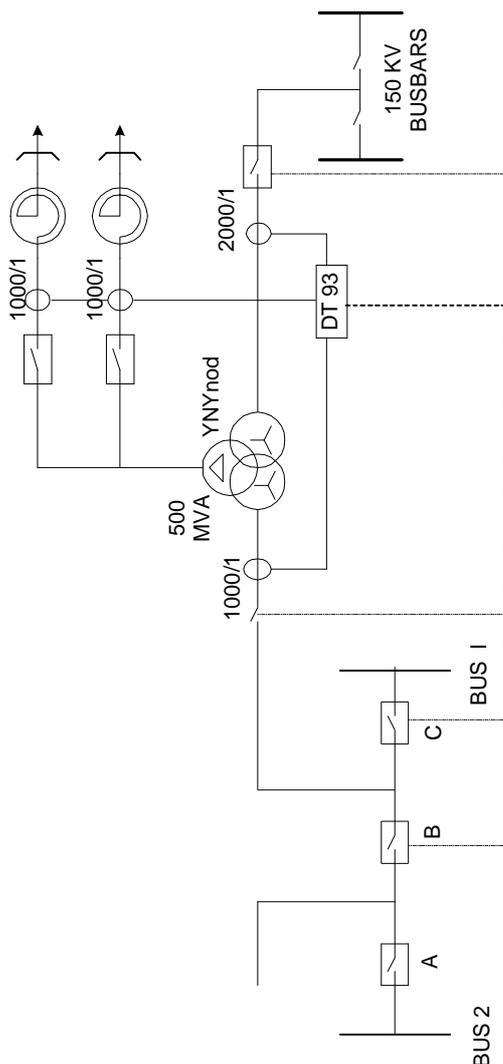
sehingga setting g yang diaplikasikan dilapangan pada posisi 30% In pada modul DI 93.



Gambar 3 Rangkaian Pengawatan Rele Diferensial DT 93

Pengawatan Rangkaian AC dan DC

Diagram rangkaian AC dan DC rele diferensial tiga masukan DT 93 diperlihatkan pada Gambar 3 sebagai pengawatan AC dan DC. Pada Gambar 4 ditunjukkan rangkaian tripping rele diferensial DT 93 pada trafo daya 500 MVA pada sistem tegangan ekstra tinggi 500/150/66 kV yang diaplikasikan di Gardu Induk Ungaran.



Gambar 4 Rangkaian Tripping Rele Diferensial DT 93

KESIMPULAN

Berdasarkan implemetasi rele diferensial DT 93 pada trafo daya 500 MVA pada sistem tegangan ekstra tinggi 500/150/66 kV di gardu induk Ungaran Jawa-Tengah maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Gangguan hubung singkat di dalam trafo dapat dideteksi oleh rele diferensial, yang bekerja berdasarkan keseimbangan arus antara sisi tegangan 500 KV, sisi tegangan 150 KV dan 66 KV. Dengan sistem bias pada rele diferensial maka rele akan stabil terhadap gangguan di luar trafo.

2. Pemakaian rele diferensial berimpedans tinggi dapat menambah kepekaan rele diferensial untuk mendeteksi gangguan hubung singkat di dekat titik netral dan arus gangguan yang kecil serta rele tetap stabil terhadap gangguan luar.
3. Implementasi rele diferensial DT 93 dengan setting yang mengacu pada *publication* CH-ES 85-61 E dan dikarenakan tidak adanya kerusakan pada trafo akibat terjadinya gangguan pada beberapa tahun terakhir ini, maka *setting* yang digunakan pada trafo dapat dikatakan mempunyai sensitivitas yang tinggi.

DAFTAR RUJUKA

- ANSI/IEEE C. 37.91-1985, 1985, IEEE *Guide For Relay Application to Power Transformer*, The Institute of Electrical and Electronic Engineering Inc., New York
- DAVIES.T, *Protection of Industrial Power System*, Pergamon Press, Oxford
- I NENGAH SUMERTI, *Perlengkapan Sistem Tenaga Listrik*. (Diktat), Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UGM Yogyakarta
- PARTAP SINGH SATNAM., dan Gupta. P. V, 1979, *Sub-Station Design and Equipment*, Dhanpat Rai & Sons, New Delhi
- RAVINDRANATH, B., and M. CHANDER, 1977, *Power System Protection and Switcgear*, Wiley Eastern Limited, New Delhi
- WARRINGTON, A. R van C, 1968, *Protective Relays, Their Theory and Practice*, Vol 1, Chapman and Hall, london
- WASIS JATI WASKITO, "Proteksi Gangguan Tanah Trafo Daya", Skripsi sarjana tak diterbitkan, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UGM Yogyakarta

- _____, *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. (Diktat), Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UGM Yogyakarta
- _____, Buku Petunjuk Operasi dan Memelihara Peralatan Nomor: O&M. 07/BTL/KJB/1986, PLN Pembangkit dan Penyalur Jawa Bagian Barat
- _____, Operation and Maintenance Manual For The Single-Phase Power Transformer TEQ-205R55F9K-99, Perusahaan Umum Listrik Negara Java EHV Project
- _____, 1997, Tingkat Daya Hubung Singkat Tiga Fasa Sistem Jawa Bali Tahun 1997-2000, PT PLN (Perseero) Penyalur dan Pusat Pengatur Beban Jawa Bali
- _____, Investigasi Kegagalan Proses Singkronisasi SUTET 500 KV Bandung Selatan – Ungaran, PT PLN GITET Ungaran Jawa-Tengah