

ISSN 1411 - 3414



INVOTEK

Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi

Diterbitkan :

Fakultas Teknik
Universitas Negeri Padang

JURNAL
INVOTEK

Vol. XII

No. 1

Halaman
2721 - 2806

Padang
Februari 2012

INVOTEK

(Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi)

SUSUNAN DEWAN REDAKSI

Penasehat

Rektor UNP Padang (Prof. Dr. Z. Mawardi Effendi, M.Pd.)

Penanggung Jawab

Dekan Fakultas Teknik UNP Padang (Drs. H. Ganefri, M.Pd., Ph.D)

Pimpinan Redaksi

Prof. Dr. Nizwardi Jalinus, M. Ed

Sekretaris Redaksi

Drs. Sukardi Umar, MT

Redaksi Ahli

Prof. Dr. H. Jalius Jama, M.Ed.

Prof. Dr. H. Syahron Lubis, M.Ed.

Dr. Agamuddin, M. Ed

Dr. Ungsi Antara Oku Marmai, M.Ed

Dr. Hj. Elisna

Redaktur Pelaksana

Drs. Revian Body, M.SA.

Drs. Putra Jaya, MT.

Drs. Muhakir, M.P.

Dra. Lucy Fridayati, M. Kes.

Dr. Wakhinuddin, M.Pd.

Alamat Redaksi

Pusat Media (MRC) Fakultas Teknik UNP Padang (25131)

Telp. (0751) 445118, Fax. (0751) 7055644

Frekuensi Terbitan

2 (dua) kali setahun (Februari dan Agustus)

Terbit Pertama kali

Februari 2000

INVOTEK
(Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi)

DAFTAR ISI

Pengantar Redaksi	i
Daftar Isi	ii
• Penerapan Programmable Logic Controller untuk Sistem Otomasi pada Kendali Escalator <i>Almasri</i>	2721 – 2730
• Manajemen Risiko Teknologi Informasi dengan Menggunakan Framework ISO31000:2009 Studi Kasus: PT Garuda Indonesia, Tbk. <i>Arie Ronaldo Albertha & Dr. -ing. Suhardi</i>	2731 – 2742
• Studi Hubung Singkat pada Sistem Tenaga Listrik Sumbar Riau Akibat Penambahan Pembangkitan Tersebar pada Sistem Sumbar - Riau <i>Fivia Eliza & Oriza Candra</i>	2743 – 2750
• Kinerja Relai Diferensial Akibat Perubahan Hubungan Belitan Transformator Tiga Fase <i>Hastuti & Ali Basrah Pulungan</i>	2751 – 2758
• Pemetaan Kerusakan Bangunan Pasca Gempa 30 September 2009 Menggunakan Data GPS di Kota Padang <i>Heri Prabowo</i>	2759 – 2774
• Perancangan Kendali Adaptif pada Sistem Kendali Temperatur dengan Tipologi Model Reference Adaptive Control - MRAC <i>Irma Husnaini</i>	2775 – 2782
• Perancangan Sistem Informasi Kepegawaian Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Negeri 1 Koto XI Tarusan Kab. Pesisir Selatan <i>Titi Sriwahyuni</i>	2783 – 2794
• Tinjauan Kadar Aspal Optimum pada Penggunaan Aspal Buton (Retona Blend 55) untuk Campuran Aspal Panas Agregat (AC-WC) <i>Yoszi Mingsi Anaperta, Oktaviani & Elza Yulius</i>	2795 – 2804
Biodata Penulis	2805
Tata Cara Penulisan	2806

KINERJA RELAI DIFERENSIAL AKIBAT PERUBAHAN HUBUNGAN BELITAN TRANSFORMATOR TIGA FASE

Hastuti
Ali Basrah Pulungan

Abstract

This research aims to find out and analyze the performance of differential relays if there is alteration of connection turns on power transformer. Therefore, the problems that caused by winding change of power transformer can be overcome.

The research was conducted in Laboratorium Instalasi Listrik dan Bengkel Dasar Listrik Jurusan Teknik Elektro FT-UNP for 6 months by using Differential Relay Trainer MV 1435. And, case studies are done is changing the relationship of three-phase transformer windings, and then analyzed its effect on the performance of differential relays.

The research results shows that the differential relays trip only on the power transformer whose the primary is connected on the Delta and the secondary is connected on the Y, each of which has current of 2.5 A and 12.5 A. This is due to changes in the connection turns on the power transformer, so that there is difference between primary and secondary currents. This difference will affect the performance of differential relays. The alteration of connection turns also led to fault on differential relays, the consequences if I_d is not equal to zero then the relay will not trip.

Keywords : *differential relay, three phase transformer, current transformer*

PENDAHULUAN

Sistem kelistrikan merupakan elemen penting pada setiap kegiatan kehidupan masyarakat pada saat ini. Sistem kelistrikan terdiri dari fasilitas-fasilitas pembangkitan, transmisi, dan distribusi yang masing-masing diatur agar sistem tidak hanya beroperasi dengan efisiensi yang setinggi mungkin, tetapi seluruh peralatannya juga diamankan dan dilindungi terhadap kerusakan. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem proteksi dan relai-relai pengaman.

Manfaat sistem proteksi dan relai-relai pengaman adalah sebagai pemutus daya yang dapat dioperasikan secara cepat dan tepat supaya hanya bagian yang terganggu saja yang dipisahkan secepatnya dari sistem, sehingga kerusakan peralatan listrik yang disebabkan oleh gangguan menjadi sekecil mungkin.

Salah satu komponen yang sangat penting peranannya dalam sistem tenaga listrik adalah transformator tenaga. Transformator tenaga ini berfungsi untuk mengubah besaran tegangan.

Dengan menggunakan transformator tenaga, penyaluran energi dapat luas jangkauannya sehingga penempatan

pembangkit tidak harus berdekatan dengan beban. Untuk menjaga transformator tenaga dari gangguan diperlukan pengaman. Salah satu pengaman transformator tenaga adalah relai diferensial.

Dalam melaksanakan fungsinya sebagai pengaman transformator tenaga relai diferensial harus memenuhi ketentuan seperti : trafo arus yang digunakan oleh relai diferensial harus memiliki rasio perbandingan CT1 dan CT2 yang sama, sehingga $I_p = I_s$, serta sambungan dan polaritas CT1 dan CT2 juga harus sama. Polaritas trafo arus memperlihatkan arah arus yang masuk dan keluar dari trafo arus. Jika tidak, akan terjadi kesalahan dalam melihat arus yang masuk dan keluar melalui transformador tenaga. Hal ini, menyebabkan kesalahan dalam menentukan adanya gangguan di transformator tenaga. Ketentuan berikutnya, relai deferensial harus membandingkan arus pada dua sisi tanpa perbedaan fasa. Ketentuan yang harus dipenuhi juga adalah karakteristik kejenuhan CT₁ dan CT₂ harus sama.

Namun pada transformator tenaga akan selalu terjadi pergeseran fasa akibat

hubungan transformator tenaga yang terhubung Δ -Y atau Y- Δ . Transformator terhubung Y/ Δ mempunyai dua kesulitan yang harus dipertimbangkan, yakni : perbandingan arus antara sisi primer dan sekunder serta pergeseran fasa antara sisi primer dan sekunder, begitu juga halnya jika transformator terhubung Δ -Y akan memberikan perbedaan fasa yang akan menyebabkan perbedaan arus pada CT baik pada sisi primer maupun sekunder.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, sehingga pentingnya dilakukan penelitian untuk mengetahui kinerja relai diferensial yaitu relai diferensial akan segera trip atau ada toleransi jika terjadi perubahan hubungan belitan pada transformator tenaga.

1. Relai Diferensial

Relai diferensial adalah salah satu relai pengaman utama sistem tenaga listrik yang bekerja seketika tanpa koordinasi relai disekitarnya sehingga waktu kerja dapat dibuat secepat mungkin.

Daerah pengamanannya dibatasi oleh pasangan trafo arus di mana relai diferensial dipasang sehingga relai diferensial tidak dapat dijadikan sebagai pengaman cadangan untuk daerah berikutnya. Proteksi relai diferensial bekerja dengan prinsip keseimbangan arus (*current balance*).

Prinsip ini berdasarkan hukum kirchhoff yaitu membandingkan jumlah arus masuk ke primer (I_P) sama dengan jumlah arus yang keluar dari sekunder (I_S).

$$I_{diferensial} = I_d = \left| \vec{I}_P \right| + \left| \vec{I}_S \right|$$

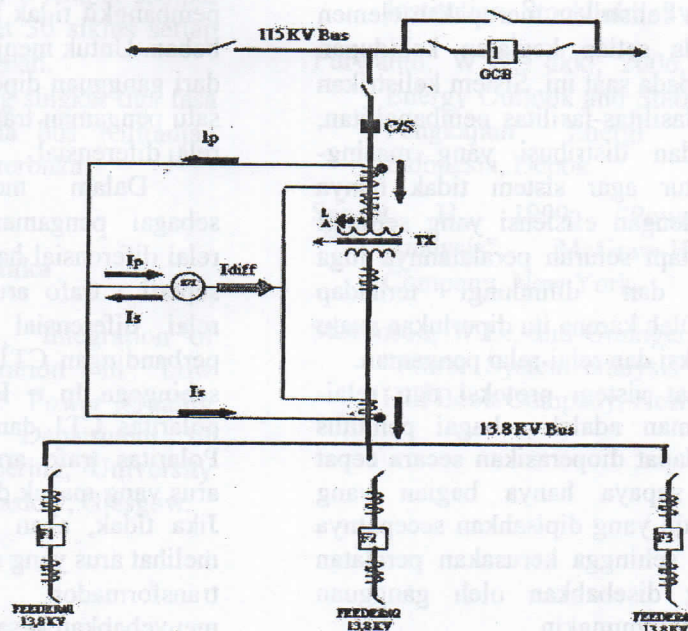
Dengan :

I_d = Arus Diferensial (A)

I_P = Arus Sisi Masuk (A)

I_S = Arus Sisi Keluar (A)

Gambar 1 berikut ini menunjukkan relai diferensial dalam keadaan arus normal, dengan I_p dan I_s sama besar dan berlawanan arah.



Gambar 1. Relai Diferensial Saat Arus Normal

Dengan :

$$I_d = I_P + I_S = 0 \text{ Ampere}$$

Maka tidak ada tegangan pada *coil relay* dan tidak ada arus yang mengalir pada relai tersebut, sehingga relai diferensial

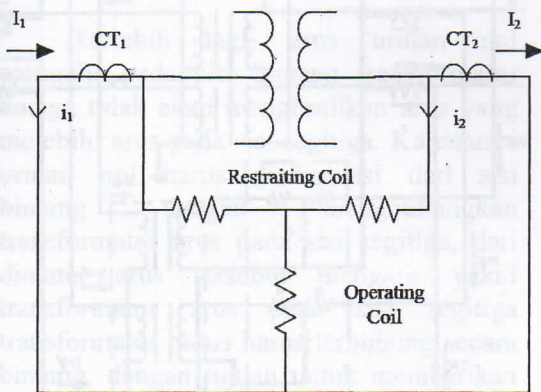
tidak bekerja. (J lewis, Blackburn, 2004: 10).

Relai diferensial dalam operasinya bahwa dalam keadaan normal atau terjadi gangguan diluar daerah pengamanannya arus pada relay

sama dengan nol. Karena itu kemungkinan salah kerja dari relai diferensial dapat terjadi, arus yang dapat menyebabkan relay salah kerja tersebut dinamakan arus ketidakseimbangan. Bila suatu arus yang besar mengalir melalui suatu trafo arus maka arus pada terminal sekunder tidak lagi linear terhadap arus primer. Hal ini disebabkan kejenuhan pada intinya. Pada relay differensial trafo arusnya harus identik, namun kejenuhan intinya tidak dapat sama betul. Hal ini disebabkan perbedaan beban dari masing- masing trafo arus tersebut.

2. Karakteristik Relai Diferensial

Karakteristik relai diferensial dibuat sejalan dengan *Unbalanced Current* (I_u), untuk menghindari terjadinya kesalahan kerja. Kesalahan kerja disebabkan karena CT ratio mismatch, adanya pergeseran fasa akibat belitan transformator tenaga terhubung (Y) - (Δ).



Gambar 2. Prinsip Pengoperasian Relai Diferensial

Perubahan tap tegangan (perubahan posisi *tap changer*) pada transformator tenaga oleh On Load Tap Changer (OLTC) yang menyebabkan CT mismatch juga ikut berubah. Kesalahan akurasi CT, Perbedaan kesalahan CT di daerah jenuh (Saturasi CT), dan *Inrush current* pada saat transformator *energize* menimbulkan *unbalances current* (I_u) yang bersifat transient.

Untuk mengatasi masalah *unbalance current* (I_u) pada relai diferensial caranya

dengan menambahkan kumparan yang menahan bekerjanya relai di daerah I_u . Kumparan ini di sebut *Restraining Coil*, sedangkan kumparan yang mengerjakan relai tersebut di sebut *Operating Coil*. Arus diferensial didapat dari menjumlahkan komponen arus sekunder perfasa di belitan

1 $\left| \vec{I}_1 \right|$ dan belitan 2 $\left| \vec{I}_2 \right|$ secara vektor

perfasa. Jika arus berlawanan dalam arti yang satu menuju relai dan yang yang lainnya meninggalkan relai, maka akan saling mengurangi dan sebaliknya jika arus searah berarti yang kedua-duanya menuju atau meninggalkan relai, maka akan saling menjumlahkan. Arus penahan (*restrain*) didapat dari arus maksimal komponen arus

sekunder perfasa di belitan 1 $\left| \vec{I}_1 \right|$ dan

belitan 2 $\left| \vec{I}_2 \right|$

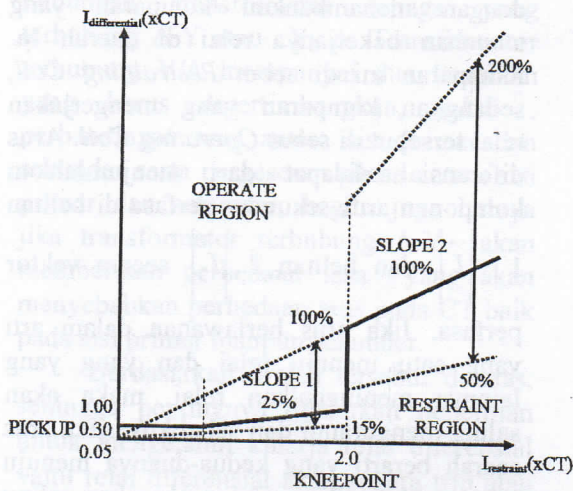
$$I_{restrain} = I_r = \max(\left| \vec{I}_1 \right|, \left| \vec{I}_2 \right|)$$

Slope didapat dengan membagi antara komponen arus diferensial dengan arus penahan. Slope 1 akan menentukan arus diferensial dan arus penahan pada saat kondisi normal dan memastikan sensitifitas relai pada saat gangguan internal dengan arus gangguan yang kecil.

Sedangkan Slope 2 berguna supaya relai tidak kerja oleh gangguan eksternal yang berarus sangat besar sehingga salah satu CT mengalami saturasi (diset dengan slope lebih dari 50%).

$$\%Slope = \frac{I_d}{I_r} \times 100\%$$

Gambar 3 merupakan karakteristik relai diferensial. Daerah di atas kurva adalah daerah kerja relai diferensial, sedangkan pada daerah di bawah kurva, relai tidak akan bekerja. (Anderson Anvenue, 2001)

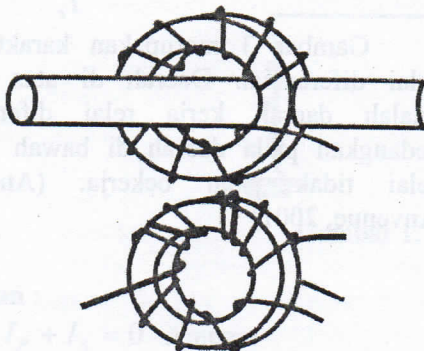


Gambar 3. Karakteristik Relai Diferensial

3. Transformator Arus

Berdasarkan penggunaan, transformator arus dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok dasar, yaitu transformator arus metering dan transformator arus proteksi. Trafo arus pengukuran untuk metering memiliki ketelitian tinggi pada daerah kerja (daerah pengenalnya) antara 5%-120% arus nominalnya, tergantung dari kelas dan tingkat kejenuhan. Sedangkan transformator arus proteksi memiliki ketelitian tinggi sampai arus yang besar yaitu pada saat terjadi gangguan, dimana arus yang mengalir mencapai beberapa dari arus pengenalnya dan trafo arus proteksi mempunyai tingkat kejenuhan cukup tinggi. Pengaruh-pengaruh yang ada pada transformator arus :

- a. Impedansi beban
- b. Frekuensi
- c. Sudut fasa sekunder

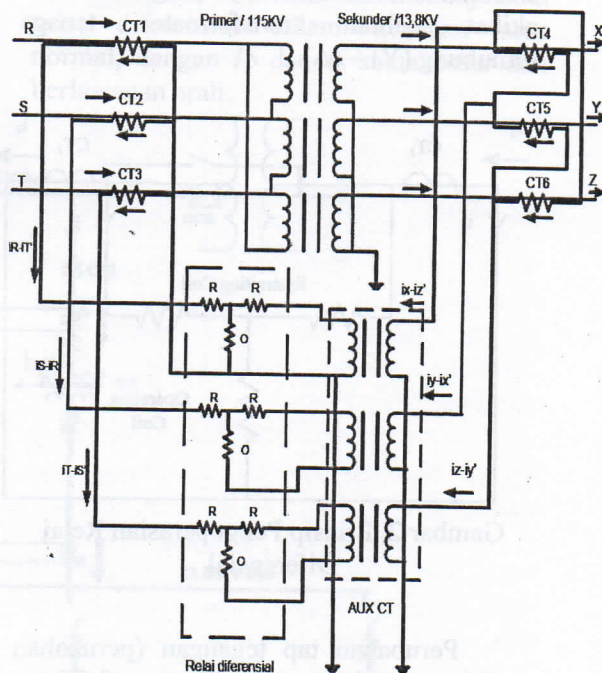


Gambar 4. Konstruksi transformator arus

4. Skema Relai Diferensial pada Transformator

Gambar 5 mengilustrasikan skema pengamanan diferensial trafo tiga fasa yang disederhanakan. Sisi tegangan tinggi dimisalkan 115 kV hubung Δ RST yang mendahului sisi tegangan rendah 13.8 kV hubung (Y) XYZ dengan sudut 30° . Untuk pemasangan relai diferensial perlu diperhatikan arus urutan nol, agar relai diferensial tidak salah kerja atau beroperasi pada saat gangguan luar.

Selain itu, trafo arus pada sisi primer trafo tenaga yang terhubung dengan belitan Delta dihubungkan Y dan trafo arus pada sisi sekunder trafo tenaga yang belitannya terhubung Y dihubungkan Δ sehingga menghilangkan komponen urutan nol yang ada di sisi sekunder transformer dan menyamakan arus yang keluar dari CT sehingga arus yang luar dari CT tetap sama fasa yakni $iR-iT'$, $iS-iR'$ dan $iT-iS'$.

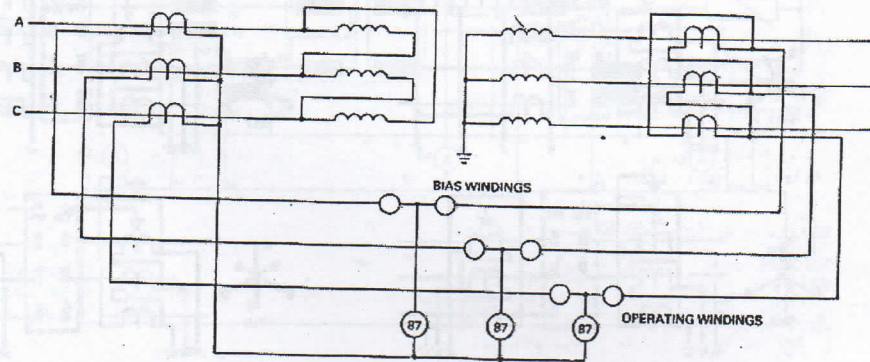


Gambar 5. Skema Diferensial Trafo tenaga Pada Operasi Normal

Arus rata-rata pada sisi primer dan sekunder dari transformator dua belitan tergantung pada rating MVA transformator dan rasionya berbanding terbalik terhadap tegangan. Untuk transformator tiga belitan arus rata-rata akan bergantung pada rating MVA dari belitan transformator yang

relevan. Karenanya, arus fasa transformator semestinya mempunyai rating primer yang sama atau lebih besar dari arus rata-rata pada belitan transformator yang bersesuaian. Rating primer akan selalu dibatasi pada rasio transformator arus. Contohnya, trafo arus 1600/1A dan 200/1A dipilih untuk memproteksi transformator dua belitan 11 kV/132 kW, 30 MVA.

5. Hubungan-hubungan Transformator Arus



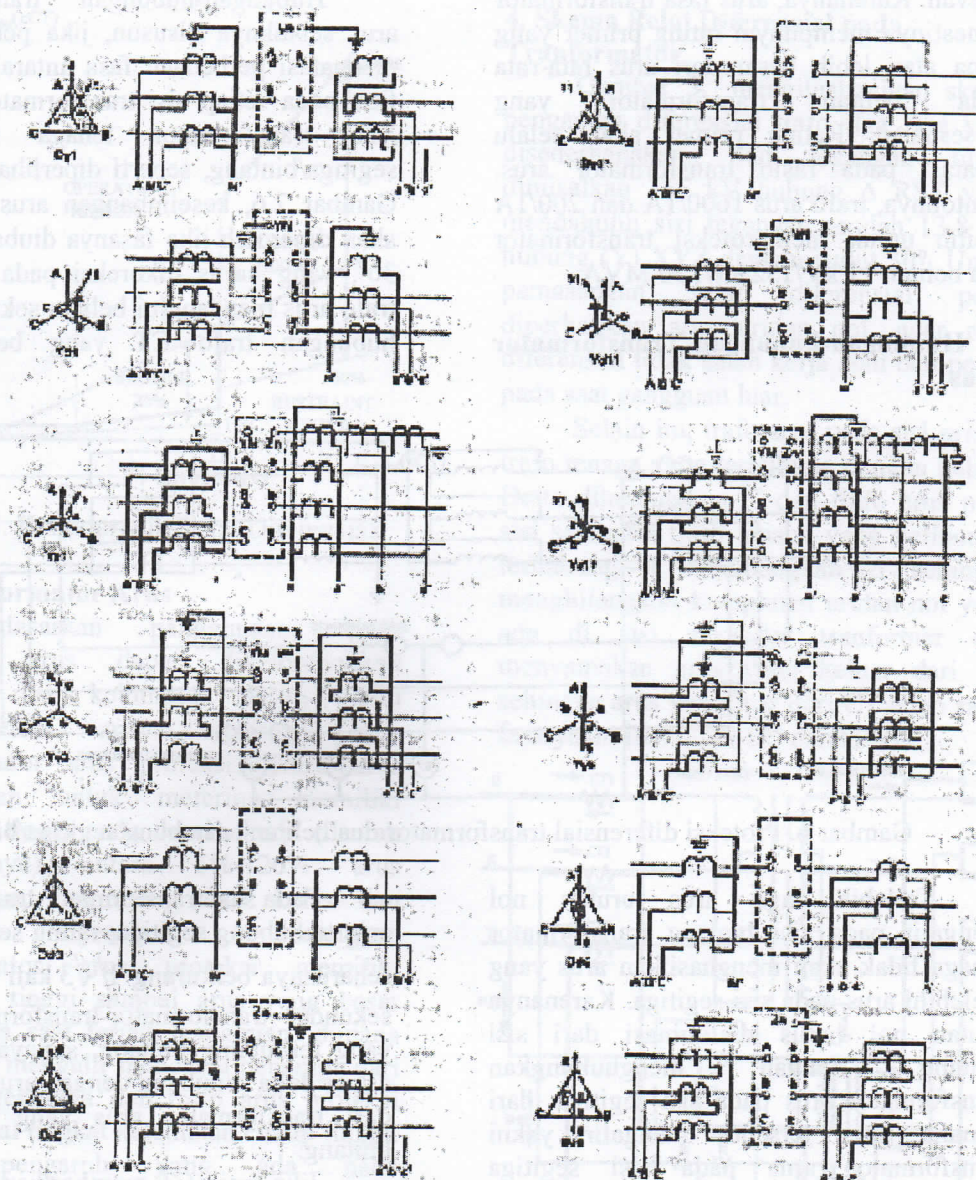
Gambar 6. Proteksi diferensial transformator dua belitan terhubung segitiga/bintang

Terlebih lagi, arus urutan nol mengalir pada sisi bintang transformator tenaga tidak akan menghasilkan arus yang melebihi arus pada sisi segitiga. Karenanya urutan nol harus dieliminasi dari sisi bintang dengan menghubungkan transformator arus pada sisi segitiga, dari dimana arus tersebut mengalir yakni transformator arus pada sisi segitiga transformator harus terhubung secara bintang, dengan tujuan untuk memberikan perbedaan fasa sebesar 30° . Hal ini merupakan aturan umum; jika transformator terhubung bintang/bintang, kedua sisi transformator arus terhubung secara segitiga.

Hubungan-hubungan transformator arus sebaiknya disusun, jika perlu, untuk mengatasi perbedaan fasa antara arus-arus fasa pada setiap sisi transformator tenaga. Jika transformator tenaga terhubung segitiga/bintang, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.6, keseimbangan arus tiga fasa akan diperoleh jika fasanya diubah sebesar 30° , yang harus dikoreksi pada sekunder trafo arus mendahului belitan sekunder dari hubungan trafo CT yang bersesuaian.

Pada saat transformator-transformator arus terhubung segitiga, rating sekundernya seharusnya berkurang $1/\sqrt{3}$ kali dari rating sekunder transformator-transformator arus yang terhubung bintang, supaya arus-arus diluar delta seimbang dengan arus sekunder dari transformator arus yang terhubung bintang.

Jika rasio CT memberikan arus yang seimbang pada relai diferensial pada saat berbeban dan ada gangguan, perbedaan fasa diperlukan sehingga diperoleh koneksi yang sesuai pada CT. Gambar 2.7 menunjukkan hubungan yang bersesuaian pada berbagai macam belitan transformator tenaga.



Gambar 7. Hubungan transformator arus pada transformator tenaga dengan berbagai jenis vektor group

METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Instalasi dan Bengkel Dasar Listrik Jurusan Teknik Elektro. Objek penelitian ini adalah relai diferensial pada transformator tiga fase. Penelitian yang dilakukan adalah studi kasus yaitu perubahan hubungan belitan transformator tiga fase dan pengaruhnya terhadap kinerja relai diferensial yang dilakukan dengan menggunakan Differential Relay Trainer MV 1435. Alat yang digunakan untuk penelitian ini sebagai berikut:

- Differential relay trainer MV1435 1 buah
- Power pack, 3 x 0-230 VAC MV1103(MV 1300)1 buah
- Ammeter, 0-10 AMV1923 1 buah
- Multimeter
- Voltmeter, 0-100 V MV1926
- Load Resistor MV1100
- Power transformator MV1915

Adapun tahapan penelitian ini adalah:

1. Studi Literatur

Literatur yang akan digunakan berasal dari Jurnal Ilmiah, proceeding dan buku teks.

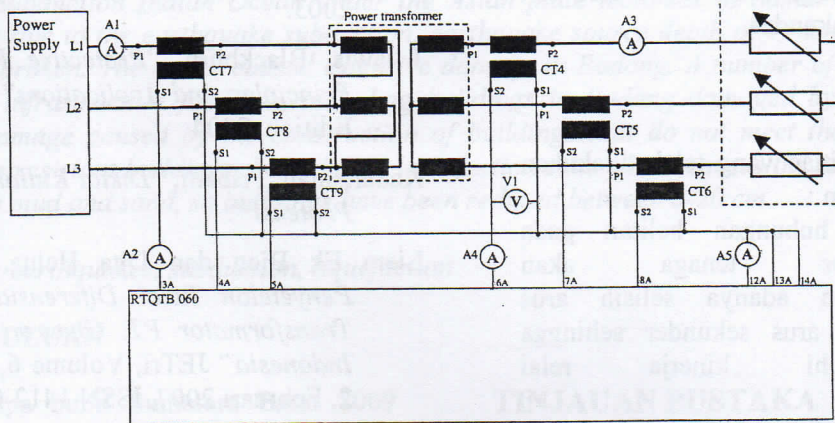
2. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan simulasi menggunakan trainer relai deferensial. Data-data yang dibutuhkan berupa:

- a. Arus pada sisi primer transformator pada saat terhubung delta dan pada saat dihubungkan secara bintang.

- b. Arus pada sisi skunder transformator pada saat terhubung delta dan pada saat dihubungkan secara bintang.
- c. Arus pada relai diferensial (I_d)
Kondisi relai diferensial (Trip = ya/tidak).

3. Gambar rangkaian



Gambar 7. Diagram rangkaian MV 1435-Differential Trainer

HASIL PENELITIAN

Secara operasional perubahan pada transformator mungkin diperlukan, perubahan ini dapat saja berupa perubahan hubungan belitan pada kumparan primer atau pada kumparan skunder. Pada penelitian ini akan dilihat bagaimana pengaruh perubahan tersebut terhadap kinerja relai diferensial tanpa merubah hubungan transformator arus. Untuk semua jenis hubungan tidak ada perubahan seting ($I_{sr} = 0,2 \times I_r$ dan $I_{su} = 8 \times I_r$). Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Transformator terhubung Segitiga – Bintang

$I_{Primer} (\Delta) (A)$	$I_{Sekunder} (Y) (A)$	$I_d (A)$	Trip
0,5	0,4	0,1	Tidak
1,0	1	0	Tidak
1,5	1,3	0,2	Tidak
2,0	1,75	0,25	Tidak
2,5	2,1	0,4	Tidak
3,0	2,6	0,4	Tidak
3,5	3,2	0,3	Tidak
4,0	3,8	0,2	Tidak
4,5	4,45	0,05	Tidak
5,0	5,25	0,25	Tidak

Tabel 2. Transformator terhubung Segitiga – Segitiga

$I_{Primer} (\Delta) (A)$	$I_{Sekunder} (\Delta) (A)$	$I_d (A)$	Trip
0,5	0,64	0,14	Tidak
1,0	1,45	0,45	Tidak
1,5	2,6	1,1	Tidak
2,0	3,7	1,7	Tidak
2,5	4,1	1,6	Tidak
3,0	5,2	2,2	Tidak
3,5	6,4	2,9	Tidak
4,0	7,6	3,6	Tidak
4,5	9	4,5	Tidak
5,0	10,5	5,5	Tidak

Tabel 3. Transformator terhubung Bintang – Segitiga

$I_{Primer} (Y) (A)$	$I_{Sekunder} (\Delta) (A)$	$I_d (A)$	Trip
0,5	1,5	1,0	Tidak
1,0	4,35	3,35	Tidak
1,5	5,6	4,1	Tidak
2,0	8,4	6,4	Tidak
2,5	12,5	10	Ya
3,0			
3,5			
4,0			
4,5			
5,0			

Pada tabel hasil percobaan yang telah dilakukan, terlihat bahwa relai mengalami trip hanya pada transformator yang primernya terhubung bintang dan

sekundernya terhubung segitiga dengan arus primer 2,5 A dan arus sekundernya 12,5 A. Berdasarkan tabel di atas mestinya relai akan mengalami trip untuk setiap perbedaan atau selisih arus primer dengan arus sekunder atau I_d tidak sama dengan nol. Kenyataannya relai belum trip meski I_d sudah bernilai relatif besar. Hal ini dapat disebabkan adanya pergeseran fasa antara sisi primer dan sisi sekunder dan juga terjadinya perbedaan rasio CT antara sisi primer dan sisi sekunder.

PENUTUP

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan :

1. Perubahan hubungan belitan pada transformator tenaga akan menimbulkan adanya selisih arus primer dan arus sekunder sehingga mempengaruhi kinerja relai deferensial.
2. Pada penelitian ini perubahan hubungan belitan tersebut menimbulkan kesalahan kerja pada relai deferensial sehingga untuk I_d tidak sama dengan nol relai tidak trip.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Penelitian ini dapat dilanjutkan, dengan lebih fokus terhadap upaya menghindari terjadinya perbedaan ratio transformator arus dan perbedaan fasa antara sisi primer dan sisi sekunder
2. Penelitian ini juga dapat dilanjutkan dengan melihat bagaimana pengaruh rugi aktif dan reaktif terhadap kinerja relai diferensial.

KEPUSTAKAAN

- Anderson Anvenue, Markham, Ontario, "Transformer Management Relay Instruction Manual" GE Power Management, Canada, 2001.
- Anderson Anvenue, Markham, Ontario, "T60 Transformer Management Relay UR Series Instruction Manual" GE Power Management, Canada, 2003.
- J lewis, Blackburn, "Protective Relaying Principles And Applications" Second Edition, 2004
- Kadarisman, Pribadi, "Diktat Kuliah Sistem Proteksi".
- Liem Ek Bien dan Dita Helna, "Studi Penyetelan Relai Diferensial Pada Transformator PT. Chevron Pacific Indonesia" JETri, Volume 6, Nomor 2, Februari 2007, ISSN 1412-0372