

ANALISIS PENGGUNAAN RELE DIFERENSIAL SEBAGAI PROTEKSI PADA TRANSFORMATOR DAYA 60 MVA GARDU INDUK KENTUNGAN

Ricko Mu'ammam Khuzaimah, Romadoni Syahputra, Anna Nur Azilah Chamim Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183
Email: rickomuammam12@gmail.com

Intisari

Sistem tenaga listrik terdiri dari komponen pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Dalam proses penyaluran energi listrik di bagian transmisi dapat muncul gangguan-gangguan salah satunya pada transformator daya, sehingga sistem proteksi diperlukan untuk mengidentifikasi adanya gangguan dan mengurangi terjadinya kerusakan dengan membatasi daerah yang terganggu. Proteksi pada transformator daya menggunakan rele diferensial. Prinsip dasar rele ini berdasarkan hukum Kirchoff dimana arus masuk sama dengan arus yang keluar. Penelitian ini membahas mengenai perbandingan perhitungan *setting* rele diferensial secara teori dengan data *setting* aktual rele diferensial pada Transformator IV 60 MVA Gardu Induk Kentungan serta melakukan simulasi dengan *software* ETAP 12.6. Metode yang digunakan dengan pengambilan data mentah dengan melakukan penelitian di Gardu Induk 150 kV Kentungan setelah itu seluruh data komponen diperhitungkan secara manual dan disimulasikan dengan *software* ETAP 12.6. Arus *setting* yang didapatkan berdasarkan perhitungan teori adalah 0,29 A, sedangkan pada *setting* aktual rele diferensial sebesar 0,3 A. Pada uji karakteristik rele diferensial, arus diferensial yang terbaca pada rele adalah 0,342 A pada fasa R dan S, serta 0,338 A pada fasa T. Rele diferensial akan bekerja ketika arus yang mengalir lebih besar dari arus *setting* serta ketika muncul gangguan yang terjadi di daerah pengamanan, selanjutnya rele akan memerintahkan *circuit breaker* untuk trip.

Kata Kunci: *Setting*, Proteksi Rele Diferensial, Transformator Daya

1. PENDAHULUAN

Pada era globalisasi listrik merupakan kebutuhan utama masyarakat Indonesia dalam menunjang kehidupan berkualitas. Hal tersebut memberi dampak pada PLN (Perusahaan Listrik Negara) yang mau tidak mau harus memberikan pasokan listrik yang cukup besar. Ketersediaan listrik tersebut harus diikuti juga dengan kualitas, keandalan, serta kontinuitas dalam kelangsungan kelancaran penyaluran tenaga listrik yang merupakan hal sangat penting terutama untuk distribusi tenaga listrik kepada pelanggan PLN.

Sistem tenaga listrik itu sendiri terdiri dari 3 komponen utama yaitu:

- a. pusat pembangkit,
- b. sistem transmisi

- c. sistem distribusi.

Sistem transmisi bertugas menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit yang memiliki tingkat tegangan tertentu, kemudian sebelum masuk gardu induk, tegangan tersebut dinaikkan ke tingkat yang lebih tinggi. Dalam proses penyaluran energi listrik di bagian transmisi, munculnya gangguan-gangguan bukanlah hal yang langka, salah satunya yang terjadi pada transformator daya. Terdapat 2 macam gangguan yang dapat dialami transformator daya, yaitu gangguan eksternal dan gangguan internal. Gangguan-gangguan pada transformator dapat sewaktu-waktu terjadi, sehingga sistem proteksi diperlukan untuk menunjang transformator dalam menghadapi gangguan-gangguan tersebut. Proteksi adalah suatu perlindungan yang

ditujukan untuk peralatan listrik guna menghindari kerusakan dan menjaga stabilitas peralatan listrik. Sistem proteksi akan lebih kompleks pada transformator daya yang memiliki kapasitas besar. Pemasangan rele proteksi pada transformator daya bertujuan untuk mengamankan peralatan/sistem sehingga kerugian akibat gangguan dapat dihindari atau dikurangi sekecil mungkin. Tetapi, rele proteksi tidak dapat berdiri sendiri tanpa hadirnya instrumen yang lain, jika salah satu instrumen tersebut tidak ada maka sistem proteksi tidak dapat berjalan. Rele bisa dianggap baik apabila memenuhi persyaratan dimana rele tersebut harus selektif, peka, dan, cepat. Dan syarat-syarat tersebut bisa didapatkan pada rele diferensial. Rele diferensial bekerja secara cepat karena tidak memerlukan koordinasi dengan rele yang lain. Rele diferensial memiliki sifat yang sangat selektif, dimana rele ini hanya bekerja saat terjadi gangguan internal, contohnya ketika terjadi perbedaan arus pada daerah pengamanan yang dibatasi oleh pemasangan trafo arus (CT). Rele diferensial tidak akan bekerja pada saat normal atau gangguan di luar daerah pengamanan, hal itu dikarenakan arus masuk dan keluar sama besar walaupun arus tersebut melebihi arus dari nominal transformator daya. Rele diferensial merupakan proteksi utama (*main protection*) karena kecepatan dan kepekaannya, sehingga rele ini tidak bisa digunakan sebagai proteksi cadangan (*backup protection*).

Untuk mencapai sistem proteksi yang optimal maka diperlukan *setting* rele diferensial guna menjaga keandalan sistem proteksi. Ketika *setting* sudah dilakukan, maka dibutuhkan juga monitoring yang teliti, karena apabila penyetingan mengalami perubahan atau tidak sesuai maka diperlukan *setting* ulang agar tidak menyebabkan kerugian yang banyak. Sehubungan dengan hal tersebut peneliti akan membahas mengenai optimalisasi *setting* rele diferensial pada transformator tenaga yang dimiliki Gardu Induk 150 kV Kentungan yang kemudian disalurkan ke sistem distribusi dan selanjutnya didistribusikan ke pelanggan melalui penyulang-penyulang. Hal tersebut demi

meningkatkan performa pengamanan atau proteksi dengan harapan sistem pengamanan dapat bekerja dengan cepat, kontinu, dan handal pada Gardu Induk 150 kV Kentungan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator Daya Gardu Induk

Transformator yang digunakan pada Gardu Induk Kentungan merupakan transformator yang memiliki kapasitas maksimal 60 MVA. Gardu induk adalah instalasi sistem tenaga listrik yang memiliki fungsi mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ketegangan lainnya atau ke tegangan menengah. Pada umumnya gardu induk memiliki beberapa komponen seperti transformator daya, *neutral grounding resistance* (NGR), *circuit breaker* (CB), *Lightning Arrester* (LA), rel (busbar) dan lain-lain. Keberadaan transformator daya memiliki peran terpenting di setiap Gardu Induk (GI) karena dapat dikatakan sebagai alat listrik utama penghubung antara saluran transmisi dengan saluran distribusi. Transformator daya atau sering disebut trafo daya memiliki peran yaitu untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian yang lain dengan tidak mengubah frekuensinya tetapi mengubah tegangan dengan cara menaikkan tegangan (step-up) atau menurunkan tegangan (step-down) dan berdasar dengan prinsip induksi elektromagnetik.

Transformator daya memiliki sistem proteksi guna menghindarkan dari gangguan internal dan eksternal serta menghindarkan terjadinya trafo dengan kondisi panas karna digunakan dalam waktu cukup lama. Setiap transformator daya dengan daya besar maka harus sesegera mungkin dapat diatasi apabila terjadi gangguan tanpa adanya keterlambatan waktu. Hal tersebut untuk menjaga trafo dari kerusakan mengingat harga trafo mahal gangguan yang bisa mempengaruhi kehandalan dan stabilitas operasi sistem tenaga listrik.

2.2 Current Transformer

Current transformer (CT) atau Trafo Arus adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berupa trafo yang digunakan untuk

pengukuran arus yang besarnya hingga ratusan ampere dan arus yang mengalir pada jaringan tegangan tinggi. Di samping untuk pengukuran arus, trafo arus juga digunakan untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh, dan rele proteksi. Kumputan primer trafo dihubungkan seri dengan rangkaian atau jaringan yang akan dikur arusnya sedangkan kumputan sekunder dihubungkan dengan meter atau dengan rele proteksi. CT atau Trafo Arus merupakan perantara pengukuran arus, dimana keterbatasan kemampuan baca alat ukur. Misal pada sistem saluran tegangan tinggi, arus yang mengalir adalah 2000A sedangkan alat ukur yang ada hanya sebatas 5A. Maka dibutuhkan sebuah CT yang mengubah representasi nilai aktual 2000A di lapangan menjadi 5A, sehingga dapat terbaca oleh alat ukur.

CT digunakan sebagai media pembacaan selain itu digunakan dalam sistem proteksi sistem tenaga listrik. Sistem proteksi dalam sistem tenaga listrik sangatlah kompleks sehingga CT itu sendiri dibuat dengan spesifikasi dan kelas yang bervariasi sesuai dengan kebutuhan sistem yang ada.

2.3 Circuit Breaker

Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* adalah suatu peralatan pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik, yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi, termasuk arus hubung singkat, sesuai dengan ratingnya termasuk pada kondisi tegangan yang normal ataupun tidak normal. Pemutus Tenaga (PMT) merupakan suatu alat listrik yang berfungsi untuk melindungi sistem tenaga listrik apabila terjadi kesalahan atau gangguan pada sistem tersebut, terjadinya kesalahan pada sistem akan menimbulkan berbagai efek seperti efek termis, efek magnetis dan dinamis stability. Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatann lain.

2.4 Rele diferensial pada Transformator Daya

a) Karakteristik Rele Diferensial

Karakteristik rele diferensial dapat ditentukan dengan melakukan simulasi rele diferensial dalam keadaan arus normal. Rele diferensial merupakan rele proteksi atau pengaman utama yang bekerja dengan secepat mungkin untuk menghindari trafo dari suatu gangguan yang terjadi. Sebagai rele utama, rele diferensial tidak dapat bekerja sebagai rele cadangan. Hal tersebut dikarenakan ruang lingkup kerja rele ini dibatasi oleh 2 buah trafo arus di sisi *incoming* dan *outgoing*.

Karakteristik tersebut yaitu:

1. Sensitifitas/Kepekaan
2. Kecepatan
3. Selektifitas
4. Keandalan
5. Ekonomis
6. Sederhana

Rele diferensial menggunakan prinsip Hukum Kirchoff, dimana arus masuk (I_1) di suatu titik adalah sama dengan arus keluar dari titik tersebut (I_2). Cara kerja rele diferensial yaitu mengukur serta membandingkan besaran-besaran yang masuk, misal arus masuk dan arus keluar, sudut fasa, tegangan, daya, frekuensi, serta impedansi (Arun, 2001). Arus mengalir melalui rele dari CTp ke CTs, apabila terjadi perbedaan di dalam, arah arus akan berubah menjadi terbalik sehingga keadaan tersebut akan dideteksi oleh rele sebagai gangguan dan selanjutnya akan memerintah PMT untuk membuka (*trip*) (Nikhil & Trivedi, 2014).

b) Gangguan Internal

Gangguan internal adalah gangguan yang muncul dan terjadi di dalam zona proteksi atau daerah pengama baik di dalam tranformatornya itu sendiri ataupun di luar transformator. Ada berbagai macam penyebab terjadinya gangguan internal, beberapa diantaranya yaitu gangguan pada *tap charger*, kebocoran minyak, ketidaktahanan terhadap arus gangguan, gangguan pada sistem pendingin, gangguan pada *bushing*, serta kegagalan isolasi. Gangguan internal dibagi lagi menjadi 2 kelompok:

A. Incipient Fault

Incipient fault merupakan gangguan internal yang terjadi melalui proses yang lambat, tetapi jika tidak dibatasi dan tidak terdeteksi maka dapat menjadi gangguan yang besar dan serius dan dapat menyebabkan kerusakan yang lebih parah. *Incipient fault* dibagi lagi menjadi tiga, yaitu *overheating*, *overfluxing*, dan *overpressure*. *Overheating* biasanya disebabkan karena adanya kebocoran minyak, sambungan yang tidak sempurna, adanya sumbatan pada sistem pendingin, serta gagalannya *fan* bekerja dalam sistem pendingin. *Overfluxing* akan muncul ketika ada *overvoltage* atau *undervoltage* yang menambah rugi-rugi besi sehingga terjadi pemanasan sehingga merusak isolasi lempengan. Sedangkan *overpressure* terjadi karena adanya pelepasan gas akibat *overheating* dan proses kimia, serta adanya hubung singkat pada belitan-belitan sefasa.

B. Active Fault

Active fault merupakan gangguan internal yang terjadi melalui proses yang cepat. Penyebabnya bisa karena kegagalan isolasi atau gagalannya komponen-komponen lain untuk bekerja, sehingga kerusakan yang ditimbulkan bisa sangat parah. Hubung singkat, *core fault*, *tank faults*, dan *bushing flashover* juga bisa menjadi penyebab *active fault*.

c) Gangguan Eksternal

Gangguan eksternal terjadi di luar zona proteksi. Biasanya gangguan eksternal terjadi pada jaringan yang akan berdampak dan dirasakan oleh ketahanan tersier transformator. Beberapa yang menyebabkan terjadinya gangguan eksternal adalah adanya pembenanan lebih, *overvoltage* yang diakibatkan karena usia trafo, *overfrequency* atau *underfrequency (UF)* yang terjadi karena gangguan dari sistem, adanya *external system short circuit*, dan adanya hubung singkat yang terjadi pada jaringan sekunder dan tersier sehingga menyebabkan berkurangnya usia operasi transformator (SCF).

2.5 Rumus Perhitungan Matematis Setting Rele Diferensial

a) Perhitungan Rasio CT

$$I_{\text{nominal}} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

Rumus arus *rating*:

$$I_{\text{rating}} = 110\% \times I_{\text{nominal}}$$

Dengan:

I_n : arus nominal

S : daya tersalur (MVA)

V : tegangan pada sisi primer & sekunder

b) Error Mismatch

$$\text{Error Mismatch} = \frac{\text{CT Ideal}}{\text{CT Terpasang}} \%$$

Dengan persamaan:

$$\frac{CT_s}{CT_p} = \frac{V_p}{V_s}$$

Dengan:

CT_p : Trafo arus di sisi primer (A)

CT_s : Trafo arus di sisi sekunder (A)

V_p : Tegangan di sisi primer (kV)

V_s : Tegangan di sisi sekunder (kV)

c) Arus Sekunder CT

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{\text{rasio CT}} \times I_n$$

d) Arus Diferensial

$$I_{\text{diferensial}} = I_2 - I_1$$

Dimana:

I_{dif} : Arus diferensial

I_2 : Arus sekunder CT2

I_1 : Arus sekunder CT1

e) Arus Restrain

$$I_{\text{restrain}} = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

Dimana:

I_{rest} : Arus penahan (A)

I_1 : Arus sekunder CT1 (A)

I_2 : Arus sekunder CT2 (A)

f) Percent Slope

$$\text{slope}_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100\%$$

$$\text{slope}_2 = \left(\frac{I_d}{I_r} \times 2 \right) \times 100\%$$

Dimana:

Slope₁ : *Setting* kecuraman 1

Slope₂ : *Setting* kecuraman 2

I_d : Arus diferensial (A)

I_r : Arus restrain (A)

g) Perhitungan Arus Setting

$$I_{set} = \% \text{slope} \times I_{restrain}$$

I_{setting} : Arus setting (A)

% slope : *Setting* kecuraman (%)

I_{restrain} : Arus penahan (A)

h) Gangguan Pada Transformator Daya

$$I_{frelay} = I_f \times CT_2$$

$$I_2 \text{fault} = \frac{I_{frelay}}{I_2}$$

$$I_d = I_2 - I_1$$

Dimana:

I_{f relay} : Arus gangguan yang dibaca relay

I_f : Arus yang masuk pada rele

CT₂ : Rasio CT₂

I₂ : Arus sekunder CT₂ sebelum terjadi gangguan

I_d : Arus diferensial

I₁ : Arus sekunder CT₁

I_{2 fault} : Arus sekunder CT₂ saat terjadi gangguan

2.6 ETAP 12.6.

ETAP (Electric Transient and Analysis Program) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau

digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat didalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. Pada penelitian ini, SVC (Static Var Compensator) akan dimodelkan sebagai injeksi daya reaktif pada sistem tenaga listrik dilakukan analisa pengaruh penempatan SVC (Static Var Compensator) dengan menggunakan analisa aliran daya dalam merancang suatu sistem tenaga listrik perlu dilakukan simulasi terhadap sistem yang akan dibuat, hal ini dapat membantu penulis mempermudah menganalisa sistem tersebut handal atau tidak.

Perangkat lunak yang bisa digunakan untuk simulasi sistem tenaga listrik salah satunya adalah ETAP 12.6. Perangkat lunak tersebut dikembangkan oleh perusahaan operation technology inc, dan mengalami perubahan versi dari tahun ke tahun.

Analisa tegangan yang dapat dilakukan ETAP:

1. Analisa aliran daya
2. Analisa hubung singkat
3. Arc flash analisis
4. Analisa kestabilan transient

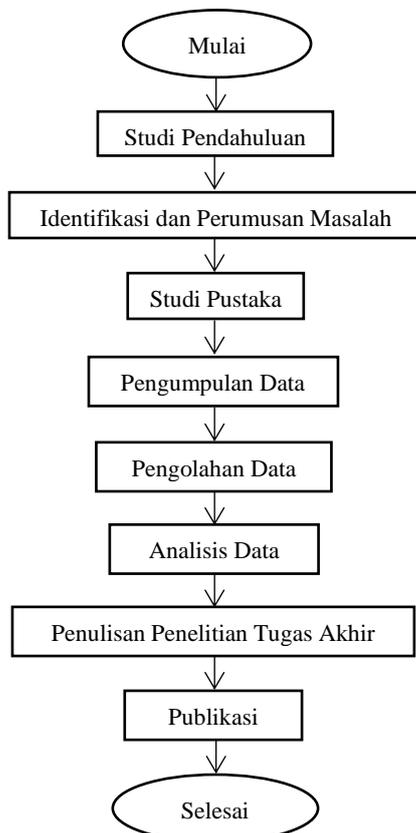
Dalam menganalisa tenaga listrik, suatu diagram saluran tunggal (single line diagram) merupakan notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. Hal ini memudahkan dalam pembacaan diagram maupun dalam analisa rangkaian. Elemen elektrik seperti misalnya pemutus rangkaian, transformator, kapasitor, bus bar maupun konduktor lain dapat ditunjukkan dengan menggunakan simbol yang telah distandardisasi untuk diagram saluran tunggal.

Elemen pada diagram tidak mewakili ukuran fisik atau lokasi dari peralatan listrik, tetapi merupakan konvensi umum untuk mengatur diagram dengan urutan kiri-kekanan yang sama, atas-ke-bawah, sebagai saklar atau peralatan lainnya diwakili. Dalam menganalisa tenaga listrik, suatu diagram saluran tunggal (single line diagram) merupakan notasi yang disederhanakan untuk

sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. Hal ini memudahkan dalam pembacaan diagram maupun dalam analisa rangkaian. Elemen elektrik seperti misalnya pemutus rangkaian, transformator, kapasitor, bus bar maupun konduktor lain dapat ditunjukkan dengan menggunakan simbol yang telah distandardisasi untuk diagram saluran tunggal. Elemen pada diagram tidak mewakili ukuran fisik atau lokasi dari peralatan listrik, tetapi merupakan konvensi umum untuk mengatur diagram dengan urutan kiri-ke-kanan yang sama, atas-ke-bawah, sebagai saklar atau peralatan lainnya diwakili.

3. METODE PENELITIAN

Metode ini menggunakan metode perbandingan. Dimana metode perbandingan merupakan membandingkan antara data aktual dan data hasil perhitungan. Pada metode perbandingan terdapat tahapan-tahapan kegiatan sebagai yaitu studi literatur, pengambilan data, dan konsultasi. Langkah-Langkah Analisis Penggunaan Rele Diferensial Sebagai Proteksi Pada



Transformator Daya 60 MVA Gardu Induk Kentungan.

Merk	UNINDO - ALSTOM
Type	OUTDOOR - CONTINUOUS SERVICE
Kapasitas	36 / 60 MVA
Sistem Pendingin	ONAN / ONAF
Temperature Rise	OIL 50 K
Belitan	55 K
Tegangan Primer	150 KV
Tegangan Sekunder	20 KV
Frekuensi	50 Hz
Impedansi	12,50%

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Sheet Transformator

4.2. Data Sheet Rele Diferensial

Setting rele diferensial	0,3 A
Rasio CT primer	300/5
Rasio CT sekunder	2000/5

	HIGHT VOLTAGE	LOW VOLTAGE	TERTIARY VOLTAGE
Rated Power in MVA	36/60	36/60	12/20
Rated Voltage in kV	150	20	10
Rated Current in A	138,6/230,9	1039,2/1732,1	400√3/666,7√3
Line In	1U 1V 1W	2U 2V 2W	3U1 3W2
Neutral In	1N	2N	-

4.3 Perhitungan Matematis

a) Perhitungan rasio CT

Arus nominal di sisi tegangan 150 kV

$$I_{\text{nominal}} = \frac{36.000.000}{\sqrt{3} \times 150.000}$$

$$I_n = 138,6 \text{ A}$$

$$I_{\text{rat}} = 110\% \times 138,6 \text{ A}$$

$$I_{\text{rat}} = 152,46 \text{ A}$$

Arus nominal di sisi tegangan 20 kV

$$I_{\text{nominal}} = \frac{36.000.000}{\sqrt{3} \times 20.000}$$

$$I_n = 1039,2 \text{ A}$$

$$I_{\text{rat}} = 110\% \times 1039,2 \text{ A}$$

$$I_{\text{rat}} = 1143,12 \text{ A}$$

b) Error Mismatch

Perhitungan *Error Mismatch* sisi tegangan 150 kV:

$$CT_1(\text{Ideal}) = CT_2 \times \frac{V_2}{V_1}$$

$$CT_1(\text{Ideal}) = 2000 \times \frac{20}{150}$$

$$CT_1(\text{Ideal}) = 266,6 \text{ A}$$

$$\text{Error Mismatch} = \frac{266,6}{300} \%$$

$$\text{Error Mismatch} = 0,9 \%$$

Perhitungan *Error Mismatch* sisi tegangan 20 kV:

$$CT_2(\text{Ideal}) = CT_1 \times \frac{V_1}{V_2}$$

$$CT_2(\text{Ideal}) = 300 \times \frac{150}{20}$$

$$CT_2(\text{Ideal}) = 2250 \text{ A}$$

$$\text{Error Mismatch} = \frac{2250}{2000} \%$$

$$\text{Error Mismatch} = 1,125 \%$$

c) Arus Sekunder CT

Sisi tegangan 150 Kv

$$I_{\text{sek}} = \frac{5}{300} \times 138,6 \text{ A}$$

$$I_{\text{sek}} = 2,31 \text{ A}$$

Sisi tegangan 20 kV

$$I_{\text{sek}} = \frac{5}{2000} \times 1039,2 \text{ A}$$

$$I_{\text{sek}} = 2,598 \text{ A}$$

d) Arus Diferensial

$$I_{\text{dif}} = 2,598 \text{ A} - 2,31 \text{ A}$$

$$I_{\text{dif}} = 0,29 \text{ A}$$

e) Arus Restrain

$$I_r = \frac{2,598 \text{ A} + 2,31 \text{ A}}{2}$$

$$I_r = 2,45 \text{ A}$$

f) Percent Slope (setting kecuraman)

$$\text{slope}_1 = \frac{0,29 \text{ A}}{2,45 \text{ A}} \times 100\%$$

$$\text{slope}_1 = 11,8 \%$$

$$\text{slope}_2 = \left(\frac{0,29 \text{ A}}{2,45 \text{ A}} \times 2 \right) \times 100\%$$

$$\text{slope}_2 = 23,6 \%$$

g) Perhitungan Arus Setting

$$I_{\text{set}} = 11,8 \% \times 2,45 \text{ A}$$

$$I_{\text{set}} = 0,29 \text{ A}$$

h) Gangguan Pada Transformator Daya

Arus gangguan sebesar 5000 A pada sisi tegangan 150 Kv:

$$I_{f\text{relay}} = I_f \times CT_2$$

$$I_{f\text{relay}} = 5000 \text{ A} \times \frac{5}{2000}$$

$$I_{f\text{relay}} = 12,5 \text{ A}$$

$$I_{2\text{fault}} = \frac{I_{f\text{relay}}}{I_2}$$

$$I_{2\text{fault}} = \frac{12,5 \text{ A}}{4,33 \text{ A}}$$

$$I_{2\text{fault}} = 2,89 \text{ A}$$

$$I_d = I_{2\text{fault}} - I_1$$

$$I_d = 2,89 \text{ A} - 3,85 \text{ A}$$

$$I_d = -0,96 \text{ A}$$

Jadi ketika terdapat arus gangguan sebesar 5000 A pada tegangan 150 kV maka arus sekunder yang di hasilkan CT₂ sebesar 2,89 A dan arus diferensial sebesar -0,96 A, maka rele diferensial tidak akan bekerja karena tidak melebihi arus *setting* rele diferensial.

Arus Gangguan sebesar 7280 A pada sisi tegangan 150 kV:

$$I_{frelay} = I_f \times CT_2$$

$$I_{frelay} = 7280 \text{ A} \times \frac{5}{2000}$$

$$I_{frelay} = 18,2 \text{ A}$$

$$I_{2fault} = \frac{I_{frelay}}{I_2}$$

$$I_{2fault} = \frac{18,2 \text{ A}}{4,33 \text{ A}}$$

$$I_{2fault} = 4,16 \text{ A}$$

$$I_d = I_{2fault} - I_1$$

$$I_d = 4,20 \text{ A} - 3,85 \text{ A}$$

$$I_d = 0,35 \text{ A}$$

Jadi ketika terdapat arus gangguan sebesar 780 A pada tegangan 150 kV maka arus sekunder yang di hasilkan CT₂ sebesar 4,16 A dan arus diferensial sebesar 0,35 A, maka rele diferensial akan bekerja karena melebihi arus *setting* rele diferensial.

4.4 Perbandingan Setting Rele Diferensial

Perhitungan yang dilakukan yaitu perbandingan *setting* aktual rele diferensial pada GI dengan *setting* rele diferensial berdasarkan perhitungan.

Setting Aktual	Setting Perhitungan
I _{set} 0,3 A	I _{set} 0,29 A

Pengaplikasian rele diferensial pada Gardu Induk kentungan dapat dilihat bahwa rele yang digunakan sesuai dengan apa yang diperhitungkan. Jadi ketika arus diferensial melebihi arus setting maka rele diferensial akan mengintrusikan kepada circuit breaker (CB) untuk memutus jaringan (*tripping*) karena sifat rele diferensial akan bekerja seketika tanpa harus koordinasi dengan rele sekitar sehingga waktu rele dapat dibuat secepat mungkin.

4.5 Hasil pengujian Rele Diferensial

Tabel dibawah ini merupakan hasil pengujian rele diferensial yang dilakukan

dengan cara menguji arus pick up CT Sisi Tegangan 150 kV Dan 20 kV dengan pengambilan waktu yang berbeda, dengan phasa yang berbeda (phasa R, S, T) yang kemudian menghasilkan arus *pick up* yang mendekati sama di setiap phasa. Data tersebut merupakan data pengukuran dalam kondisi normal. Data diperoleh dari transformator daya IV 60 MVA di Gardu Induk Kentungan.

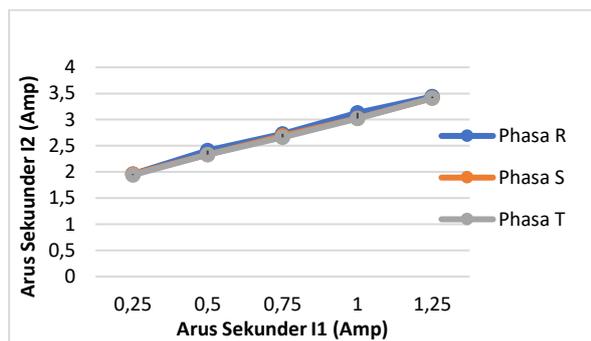
Var. Persamaan	Tegangan Phase					
	R		S		T	
	150 kV	20 kV	150 kV	20 kV	150 kV	20 kV
I Pick up (A)	1,57	1,56	1,58	1,57	1,53	1,53
I Reset (A)	1,56	1,55	1,57	1,56	1,52	1,52
Waktu	0,093	0,029	0,057	0,065	0,068	0,058

Tabel di bawah ini merupakan hasil uji karakteristik rele diferensial pada setiap phasa (R, S, T) sebanyak 5 kali pengujian, dengan menaikkan potensio arus I₁ di setiap uji maka hasil uji I₂ akan semakin naik, hal tersebut disebabkan karena uji karakteristik relay harus menghasilkan arus diferensial sampai melewati setting arus rele diferensial yang kemudian akan memberi sinyal ke pemutus tenaga untuk mentripan jaringan

Phasa R					
Parameter	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5
I ₁ (A)	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25
I ₂ (A)	1,96	2,41	2,73	3,13	3,44
I _h = (I ₁ +I ₂)/2 (A)	1,10	1,48	1,74	2,065	2,345
I _d = I ₁ - I ₂ (A)	1,71	1,96	1,98	2,13	2,19
Phasa S					
Parameter	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5
I ₁ (A)	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25
I ₂ (A)	1,96	2,33	2,69	3,04	3,41
I _h = (I ₁ +I ₂)/2 (A)	1,105	1,415	1,72	2,02	2,33
I _d = I ₁ - I ₂ (A)	1,71	1,83	1,94	2,04	2,16

Phasa T					
Parameter	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5
I_1 (A)	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25
I_2 (A)	1,94	2,33	2,66	3,02	3,41
$I_h = (I_1 + I_2) / 2$ (A)	1,095	1,415	1,705	2,01	2,33
$I_d = I_1 - I_2$ (A)	1,69	1,83	1,91	2,02	2,16

Grafik di bawah ini merupakan perbandingan arus sekunder I_1 dan I_2 pada tiga phasa (R,S,T) dimana kenaikan I_1 akan diikuti dengan kenaikan I_2 sehingga I_1 berbanding lurus dengan I_2 . Pengujian karakteristik rele diferensial bertujuan untuk menguji kedua sisi dengan memberi ramping arus dan memperhatikan setiap perbedaan arus pada keadaan normal.



Dari arus tersebut dapat menghitung arus diferensial (I_{dif}) seperti berikut:

Arus sisi 150 kV = 0,25 A (rasio 300/5)

Arus sisi 20 kV = 1,96 A (rasio 2000/5)

$$I_{dif} = I_1 - I_2$$

$$I_{dif} = 0,25 \text{ A} - 1,96 \text{ A}$$

$$I_{dif} = 1,71 \text{ A}$$

Dari data dan hasil perhitungan arus diferensial pada phasa R di bagian uji 1 adalah 1,71 A. Dari hasil data tersebut karena rasio kedua CT adalah banding 5 (300/5 dan 2000/5) maka arus diferensial akan dibagi 5.

$$I_{dif}(\text{phasa R}) = 1,71 \text{ A} \div 5$$

$$I_{dif}(\text{phasa R}) = 0,342 \text{ A}$$

$$I_{dif}(\text{phasa S}) = 1,71 \text{ A} \div 5$$

$$I_{dif}(\text{phasa S}) = 0,342 \text{ A}$$

$$I_{dif}(\text{phasa T}) = 1,69 \text{ A} \div 5$$

$$I_{dif}(\text{phasa T}) = 0,338 \text{ A}$$

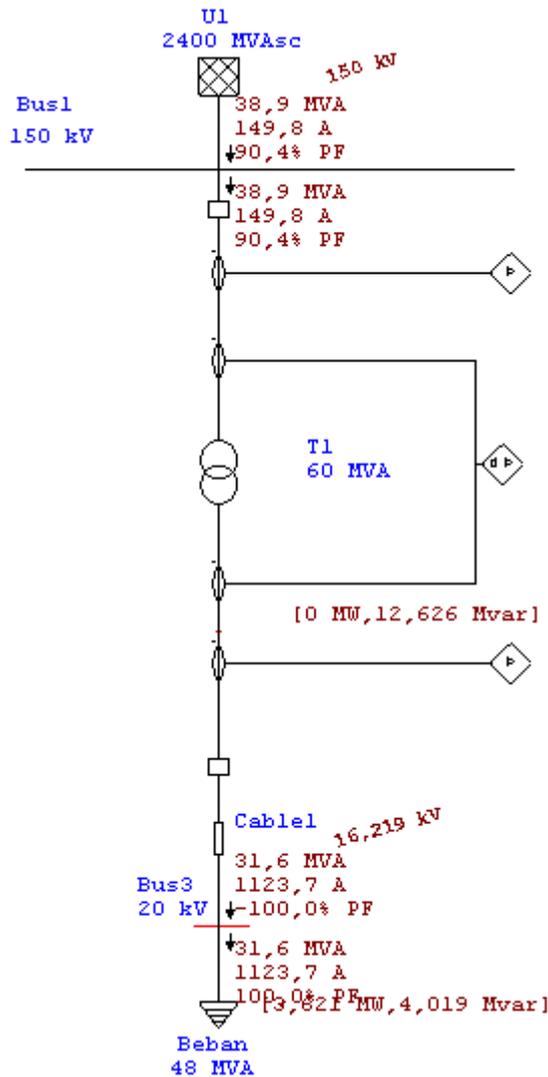
Berdasarkan arus diferensial yang terbaca pada rele adalah 0,342 A pada phasa R dan S, serta 0,338 A pada phasa T. Sedangkan *setting* aktual rele adalah 0,3 A. Jadi pada uji karakteristik rele diferensial menunjukkan bahwa kondisi trip rele dalam kondisi masuk baik karena bekerja sesuai dengan arus *setting*. Dari hasil tersebut apabila arus yang lewat melebihi arus *setting* maka rele diferensial akan memberi sinyal kepada pemutus tenaga untuk mentrip. Arus diferensial akan mengikuti adanya perubahan arus pada sisi primer dan sisi sekunder pada kondisi normal sesuai karakteristik, sehingga semakin besar arus yang mengalir pada sisi primer maka arus diferensial dan arus restrain akan semakin besar. Rele diferensial pada prinsipnya akan bekerja ketika gangguan berada di daerah pengamanan.

4.6 Simulasi Rele Diferensial menggunakan software ETAP 12.6

Simulasi rele diferensial bertujuan untuk mengetahui kinerja rele diferensial pada transformator dengan kapasitas 60 MVA di Gardu Induk Kentungan. Simulasi ini dilakukan dengan kondisi normal atau tanpa gangguan, memberikan gangguan (*fault insertion*) pada daerah pengamanan rele diferensial, dan memberikan gangguan (*fault insertion*) pada daerah luar pengamanan rele diferensial. Simulasi ini menggunakan software ETAP 12.6.

a) Simulasi Keadaan Normal

Berikut simulasi jaringan menggunakan software ETAP 12.6. dalam keadaan normal atau tanpa ada gangguan.



Gambar di atas menjelaskan simulasi rele diferensial saat tidak terjadi gangguan atau saat keadaan arus normal. U_i atau power grid adalah daya input dengan mensuplai daya sebesar 2400 MVA_{sc} yang digunakan untuk beban pada jaringan 150 kV yang kemudian diturunkan dengan transformator daya (trafo *step down*) menjadi 20 kV . Beban yang digunakan pada trafo menggunakan beban puncak pada bulan Juni 2019 sebesar $48,3 \text{ MW}$. Perhitungan daya input sebagai berikut:

Daya Input : 150 kV , 2000 A
 (Z) Impedansi : $12,5\%$
 Daya Input = Volts \times Amps / $1,000 = \text{KVA}$
 Daya Input = $150000 \text{ V} \times 2000 \text{ A} / 1,000 = \text{KVA}$
 Daya Input = $300000 \text{ KVA} = 300 \text{ MVA}$

$$\text{MVA}_{sc} = \frac{\text{MVA}}{Z}$$

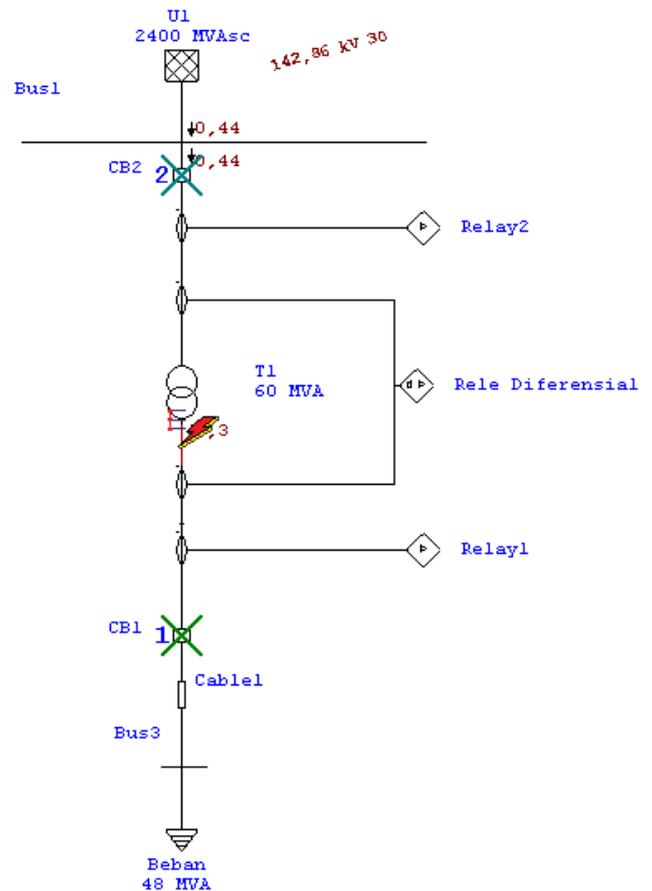
$$\text{MVA}_{sc} = \frac{300 \text{ MVA}}{12,5\%}$$

$$\text{MVA}_{sc} = 2400$$

$$\text{Daya Input} = 2400 \text{ MVA}_{sc}$$

b) Simulasi Gangguan di dalam Daerah Pengaman Rele Diferensial

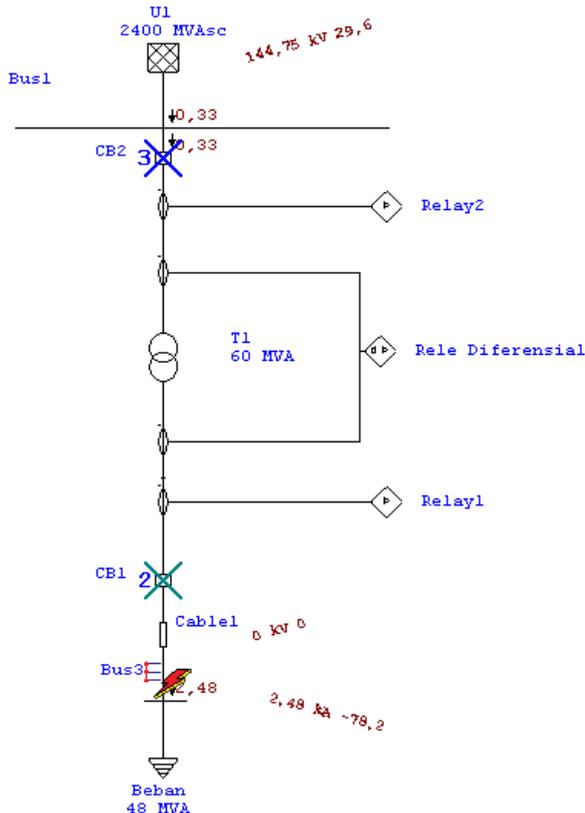
Berikut simulasi jaringan menggunakan *software* ETAP 12.6. dalam keadaan terdapat gangguan atau diberikan (*short circuit*) di daerah pengaman rele diferensial.



Gambar di atas menunjukkan terjadi gangguan di daerah pengaman rele diferensial dengan menggunakan *software* ETAP 12.6, ketika *short circuit* berada di daerah pengaman atau zona proteksi transformator daya maka rele diferensial akan memberi sinyal kepada pemutus tenaga (*circuit breaker*) untuk mentrip jaringan agar transformator daya tidak terjadi kerusakan dan menjaga stabilitas peralatan listrik.

c) Simulasi Keadaan Gangguan Di Luar Daerah Pengaman

Berikut simulasi jaringan menggunakan software ETAP 12.6. dalam keadaan terdapat gangguan atau diberikan (*short circuit*) di daerah luar pengaman rele diferensial.



Gambar di atas merupakan simulasi menggunakan software ETAP 12.6, ketika di daerah luar pengaman rele diferensial diberikan *short circuit* maka *circuit breaker* terdekat akan tetap mentrip jaringan karena *circuit breaker* berkoordinasi dengan *overcurrent relay*.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan mengenai rele diferensial sebagai proteksi pada transformator daya kapasitas 60 MVA di Gardu Induk Kentungan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

6. SARAN

Setelah dilakukan analisis dan kesimpulan mengenai rele diferensial sebagai proteksi transformator daya 60 MVA di Gardu

- 1) Berdasarkan standar IEEE rele diferensial pada Gardu Induk Kentungan batas arus setting yang dapat mengalir pada transformator daya kapasitas 60 MVA sebesar 0,3 A, sedangkan hasil perhitungan setting rele diferensial berdasarkan teori sebesar 0,29 A. Dari hasil tersebut bahwa standar setting rele diferensial yang digunakan di transformator daya GI kentungan sudah tepat. Jadi apabila terdapat arus yang melebihi nilai arus setting standar IEEE maka rele diferensial akan mendeteksi adanya gangguan dan mengintruksikan PMT untuk memutuskan (trip) jaringan.
- 2) Pada uji karakteristik rele diferensial, arus diferensial yang terbaca pada rele adalah 0,342 A pada fasa R dan S, serta 0,338 A pada fasa T. Hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi trip rele dalam kondisi masih baik karena bekerja sesuai dengan arus setting aktual. Arus diferensial akan mengikuti adanya perubahan arus pada sisi primer dan sisi sekunder pada kondisi normal sesuai karakteristik, sehingga semakin besar arus yang mengalir pada sisi primer maka arus diferensial dan arus restrain akan semakin besar. Ketika arus yang lewat melebihi nilai arus setting yang diizinkan maka rele differential akan mengintruksikan *Circuit Breaker* (CB) atau PMT untuk memutuskan (trip) jaringan karena rele diferensial membaca adanya gangguan.
- 3) Pada simulasi ETAP 12.6 hasil simulasi yang dilakukan bekerja dengan baik karena mampu memberi sinyal kepada CB untuk mentripkan CB pada saat gangguan di daerah pengaman rele diferensial. Sedangkan pada gangguan diluar daerah pengaman rele diferensial circuit breaker tetap mentrip jaringan karena *circuit breaker* berkoordinasi dengan *overcurrent relay*.

Induk Kentungan, maka Penulis dapat memberi saran sebagai berikut:

- 1) Selalu melakukan pengecekan data dan pemeriksaan data yang relevan untuk mengetahui apakah keandalan dari rele

diferensial pada transformator daya 60 MVA Gardu Induk Kentungan sudah baik. Hal tersebut dilakukan dengan membandingkan data aktual dengan perhitungan matematis data setting rele diferensial.

- 2) Selalu menyertakan pengukuran waktu dalam uji karakteristik supaya mudah mengetahui apakah rele diferensial masih cepat untuk memberi sinyal ke circuit breaker untuk mentriapkan jaringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Altama, Gady. 2017. Analisis Proteksi Differential Relay Main Transformer (87 GT) pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Unit 4 (Empat) PT. Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang. *Skripsi*. Fakultas Teknik UMY. Yogyakarta.
- Bien, L, E. dan Helna, Dita. 2007. Studi Penyetelan Relai Diferensial Pada Transformator PT Chevron Pacific Indonesia. *JETri*. 6(2):41-68.
- El-Bages, M.S. 2011. Improvement Of Digital Differential Relay Sensitivity For Faults In Power Transformers. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*. 3:1-5.
- Fitriani. 2017. Analisis Penggunaan Rele diferensial sebagai Proteksi pada Transformator Daya 16 MVA di Gardu Induk Jajar. *Skripsi*. Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sidik, Ahmad. 2018. Analisa Kerja Rele Diferensial Pada Transformator 60 MVA di Gardu Induk Wonosari. *Skripsi*. Fakultas Teknik UMS. Surakarta.
- Turner. 2009. Testing Numerical Transformer Differential Relay. (IEEE). Hal: 1-7. IEEE Team, "IEEE Standard Requirements for Instrument Transformers", IEEE Std C57.13-1993, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, 1993.
- Yuniarto. Subari, Arkhan. dan Kusumastuti, Dinda Hapsari. 2015. Setting Relay Diferensial Pada Gardu Induk Kaliwungu Guna Menghindari Kegagalan Proteksi. *TRANSMISI*, 17(3):