

STUDI ANALISA KOORDINASI PROTEKSI RELE DIFFERENTIAL DAN RELE OVERCURRENT PADA TRANSFORMATOR UNTUK MENGHINDARI KEGAGALAN PROTEKSI DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6

Muhammad Abduh Dahlan, Slamet Suripto, Faaris Mujaahid
Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Kasihan,
Bantul, Yogyakarta 55183
Email: abduhdahlan@gmail.com

Intisari

Sebuah sistem tenaga listrik terdapat Gardu Induk yang merupakan bagian penting untuk menerima energi listrik dari pembangkit kemudian menyalurkan kepada konsumen, dimana Gardu Induk memiliki peralatan listrik untuk mendukung proses pengiriman energi listrik tersebut yang jika tidak diproteksi dengan baik ketika terjadi gangguan akan dapat merusak peralatan dan memiliki harga yang cukup mahal, Sehingga diperlukan sistem proteksi tenaga listrik yang baik yaitu selektif, sensitif, cepat, handal, dan ekonomis untuk memaksimalkan pengiriman yang mampu merasakan, memberikan keandalan sistem distribusi tenaga listrik dan meminimalisir gangguan maupun kerusakan khususnya pada main transformer. Pada penelitian tugas akhir ini membahas tentang studi analisa koordinasi proteksi *differential relay* sebagai pengaman utama dan *overcurrent relay* sebagai cadangan dan proteksi arus lebih pada transformator untuk menghindari kegagalan proteksi dengan membandingkan hasil dari data perhitungan setting manual dan setting terpasang dilapangan kemudian melakukan simulasi dengan menggunakan software ETAP 12.6 untuk mengetahui simulasi kerja rele-rele tersebut. Pada *overcurrent relay* digunakan sebagai rele proteksi arus lebih yang akan mentripikan circuit breaker ketika arus melebihi dari nilai batas settingnya dan *Differential relay* digunakan sebagai rele pengaman utama pada transformator yang akan mentripikan circuit breaker ketika terjadi perbedaan arus terhadap dua arus sekunder CT yang digunakan terhadap gangguan dizona proteksinya.

Kata Kunci : Koordinasi Proteksi, *Differential Relay*, *Overcurrent Relay*, ETAP 12.6

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan jumlah penduduk pada suatu tempat, maka kebutuhan listrik pada tempat itu juga akan semakin meningkat. Sehingga penyaluran energi listrik yang berasal dari PT.PLN (Persero) harus memadai salah satunya yang berasal dari Gardu Induk 150 kV Bantul yaitu mampu mengalirkan energi listrik secara kontinyu dan menjamin kepuasan bagi konsumen pemakai energi listrik.

Pada sistem penyaluran energi listrik dari sumber pembangkitan hingga ke konsumen tidaklah selalu berjalan dengan dengan baik seperti yang diinginkan, kadang-kadang terdapat gangguan-gangguan baik dari internal maupun dari eksternal yang tidak mampu dihindari, namun hal ini mampu diantisipasi dengan sekecil mungkin dengan sistem proteksi agar alat-alat pada sistem penyaluran energi listrik tidak rusak dengan sistem proteksi, Transformator merupakan motor listrik statis tenaga listrik yang diharapkan

dapat bekerja terus menerus untuk menyalurkan listrik kepada konsumen, yaitu dengan cara menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi, dalam keadaan beroperasi transformator ini dapat mengalami berbagai gangguan, yang berasal dari dalam atau dari luar transformator yang semuanya dapat mengurangi kontinuitas penyaluran listrik dan dapat merusak transformator itu sendiri. Oleh karena itu perlu adanya suatu sistem pengaman yang baik pada transformator untuk dapat mengurangi akibat yang bisa ditimbulkan oleh gangguan yang kemungkinan terjadi. Pada sistem proteksi memiliki peranan yang sangat penting dalam mengamankan peralatan kelistrikan dari berbagai macam gangguan yang terjadi sehingga mampu mengalokasi gangguan dengan waktu seminimal mungkin, sehingga tingkat kestabilan dalam penyaluran energi listrikpun tetap terjaga dengan baik dan mengurangi resiko lainnya. Oleh karena itu sistem proteksi

yang ada pada Gardu Induk harus mempunyai syarat kecepatan, kehandalan, keamanan serta sensitivitas yang sangat baik. Keandalan s

Sebuah sistem proteksi sangat dituntut demi terjaganya kontinuitas penyaluran energi listrik. Untuk itu diperlukan koordinasi yang baik antar komponen penunjang sistem proteksi. Adapun komponen proteksi yang penting diantaranya Differential Relay dan Over Current Relay untuk mengamankan trafo dan sistem jaringan. Sehingga dalam penelitian ini akan dibahas untuk perhitungan pengaturan rele yang benar dan analisis dalam simulasi Etap 12.6 agar rele dapat beroperasi dengan baik ketika ada gangguan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah suatu sistem isolasi atau perlindungan terhadap peralatan listrik dari kerusakan yang diakibatkan adanya gangguan seperti ganggua teknis, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab yang lainnya.

Fungsi proteksi yaitu memisahkan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lainnya dapat terus beroperasi, meminimalisir terjadinya bahaya dan biaya perbaikan ketika terjadi gangguan, pengaman sistem dan menjaga kontinuitas penyediaan penyaluran energi listrik, dan memastikan keamanan manusia.

2.2 Rele Proteksi

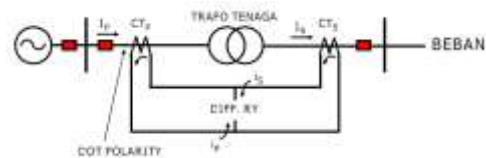
Relai proteksi merupakan suatu dari susunan peralatan yang telah dirancang khusus untuk merasakan dan mengukur ketika adanya suatu gangguan pada peralatan listrik. Sebuah institusi yang bernama IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) mendefinisikan bahwa rele ialah sebuah alat elektronik yang didisain untuk merespon dan merasakan kondisi gangguan atau malfungsi dengan cara scanning data masukan pada sebuah komponen listrik jika kondisi terpenuhi, mengakibatkan terjadinya perubahan secara langsung pada komponen pengendali listrik.

2.3 Differential Relay

Differential Relay adalah rele yang bekerja berdasarkan keseimbangan dimana ketika ada gangguan hubung singkat antar fasa atau fasa ke tanah di internal peralatan (daerah yang proteksi) yang bekerja seketika dan merupakan pelindung utama pada transformator daya. Daerah proteksi rele

diferensial yaitu dibatasi oleh 2 trafo arus yaitu CT1 dan CT2.

Prinsip kerja rele diferensial yaitu membandingkan nilai arus pada CT1 dan CT2. Prinsip ini sesuai dengan hukum Kirchoff yaitu: "Jumlah aljabar dari arus yang masuk dengan arus yang keluar pada titik cabang sama dengan nol".



Gambar 2. 1 Prinsip kerja rele differential

Pada gangguan internal daerah proteksi rele diferensial yaitu diantara kedua trafo arus, I_p dan I_s searah (Liem Ek Bien dan Dita Helna, 2007).

Rele akan bekerja karena arus sekunder dari CT1 dan arus sekunder dari CT2 sama-sama menuju ke rele diferensial. Sehingga Arus sekunder CT1 dan arusekunder CT2 saling menjumlahkan. Kemudian setelah arus yang terbaca oleh rele tidak sama dengan nol atau melebihi batas arus setting maka rele akan memberi perintah kepada CB untuk trip.

2.4 Perhitungan Setting Differential Relay

Dalam sistem proteksi tenaga listrik, sebelum memasang dan mengoperasikan differential relay perlu dilakukan perhitungan matematis dari data spesifikasi alat yang ada berupa perhitungan arus rating dan arus nominal untuk menentukan rasio CT yang akan dipasang pada transformator daya tersebut, kemudian dilakukan perhitungan error mismatch, menghitung arus retrain (penahan), arus slope, arus differential, serta arus setting relay differential. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan arus yang akan dikeluarkan CT pada saat terjadi gangguan pada zona proteksi dan bagaimana pengaruhnya terhadap differential relay. Diketahui data setting untuk memproteksi transformator pada Gardu Induk Bantul yaitu ratio CT sisi tegangan 150 kV adalah 300/1 dan sisi 20 kV adalah 2000/1 sehingga dapat dilakukan perhitungan untuk menentukan setting *differential relay* diantaranya sebagai berikut:

1. Perhitungan Rasio CT

Adapun Rumus perhitungan dari arus rating dan arus nominal adalah sebagai berikut:

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

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

Keterangan :

I_n = arus nominal (A)

S = daya tersalur (MVA)

V = tegangan pada sisi primer dan sekunder (KV)

Arus nominal merupakan arus yang mengalir pada tegangan tinggi dan tegangan rendah.

2. Error Mismatch

Error mismatch yaitu suatu kesalahan yang terjadi dalam pembacaan arus disisi tegangan tinggi dan tegangan rendah. Adapun cara menghitung besarnya arus mismatch adalah dengan cara membandingkan antara rasio CT ideal dengan rasio CT yang ada di pabrikan atau pasaran, dengan ketentuan error tidak boleh lebih dari 5% dari rasio CT yang dipilih. Adapun rumus perhitungan besarnya error mismatch yaitu :

$$Error\ mismatch = \frac{CT\ Ideal}{CT\ Terpaang} \%$$

$$\frac{CT2}{CT1} = \frac{V1}{V2}$$

Keterangan:

CT (Ideal) = trafo arus ideal

V_1 = tegangan sisi tinggi

V_2 = tegangan sisi rendah

3. Arus Sekunder CT

Arus sekunder CT merupakan arus yang terbaca oleh trafo arus.

$$I_{Sekunder} = \frac{1}{Rasio\ CT} I_n$$

4. Arus Differensial

Arus differensial merupakan selisih arus pada sisi tegangan tinggi dan tegangan rendah.

Rumus arus differensial :

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

Keterangan:

I_{dif} = arus differensial

I_1 = arus sekunder CT1

I_2 = arus sekunder CT2

5. Arus Penahan (restrain)

Arus penahan (restrain) merupakan arus yang didapat dari arus sekunder trafo arus di sisi tegangan tinggi dan tegangan rendah.

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

Keterangan:

I_r = Arus penahan (A)

I_1 = Arus sekunder CT1 (A)

I_2 = Arus sekunder CT2 (A)

6. Slope

Slope 1 merupakan perhitungan yang akan menentukan kesensitifan arus differensial untuk bekerja mentripkan jaringan apabila terjadi gangguan internal Sedangkan slope 2 merupakan perhitungan yang menentukan relay differensial tidak akan bekerja apabila terjadi gangguan eksternal.

$$Slope1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100\%$$

$$Slope2 = \frac{(I_d \times 2)}{I_r} \times 100\%$$

Keterangan:

Slope1 : setting kecuraman 1

Slope2 : setting kecuraman 2

I_d : Arus Differential (A)

I_r : Arus Restrain (A)

7. Arus Setting

Arus setting yaitu didapat dengan mengalikan antara slope dan arus restrain. Sehingga arus setting inilah yang nanti akan dibandingkan dengan arus differential.

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

Keterangan:

I_{set} : Arus Setting

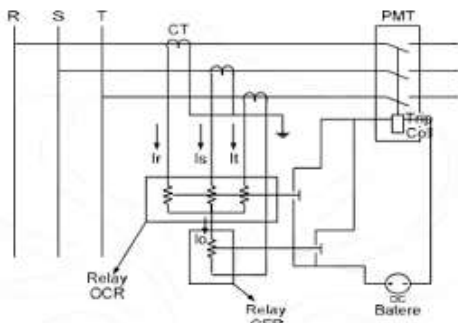
$\% slope$: Setting Kecuraman (%)

$I_{restrain}$: Arus Penahan

2.5 Overcurrent Relay

Overcurrent relay adalah suatu relay dimana bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melewatinya.

Adapun prinsip kerja overcurrent relay (OCR) yaitu Rele yang akan bekerja ketika terjadi arus lebih yaitu apabila arus yang mengalir melewatinya melebihi dari nilai setting arusnya. Rele ini bekerja dengan membaca inputan berupa besaran arus yang mengalir padanya yang kemudian membandingkan dengan nilai setting pada rele tersebut, jika nilai arus yang terbaca pada rele OCR melebihi nilai settingnya, maka rele akan memberi perintah ke pemutus tenaga (PMT) atau circuit breaker (CB) untuk trip(lepas), setelah waktu tunda selesai sesuai yang diterapkan setting.



Gambar 2. 2 Prinsip kerja rele *overcurrent relay*

2.6 Perhitungan Setting Overcurrent Relay

Adapun untuk melakukan arus setting pada OCR disisi primer transformator daya adalah :

Agar mendapatkan nilai settingan sekunder untuk diset pada relay OCR maka perlu dilakukan perhitungan dengan menggunakan trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator daya.

$$I_{set}(sek) = I_{set}(prim) \times \frac{1}{ratio\ CT}$$

Keterangan

Inom : Arus nominal pada transformator

Iset : Setting Arus

$I_{set}(Prim) = 1,1 \times Inom\ trafo$

Ratio CT= ratio current transformer

Adapun untuk pen-settingan arus pada OCR dihitung berdasarkan arus beban yang mengalir dipenyulang atau incoming feeder yaitu untuk kerja OCR yang terpasang dipenyulang masuk incoming feeder dihitung berdasarkan arus nominal transformator tenaga dan untuk kerja OCR yang terpaasng di penyulang keluar outgoing feeder dihitung berdasarkan arus beban maksimum beban puncak yang mengalir pada penyulang tersebut. Menurut british standard untuk rele inverse sering disetting sebesar 1,05 s/d 1,3 x Ibeban, sedangkan rele dfinite disetting sebesar 1,2 s/d 1,3 x Ibeban.

- **Waktu Kerja Rele OCR**

Adapun dalam menentukan setting OCR setelah didapat iset kita dapat mencari waktu setting untuk kapan rele akan bekerja ketika terjadi gangguan dan memberi perintah kepada CB ,dimana rumusnya adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{\beta \times TMS}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1}$$

t = Waktu Kerja Rele

I_{fault} = Arus Gangguan

I_{set} = Arus Setting OCR

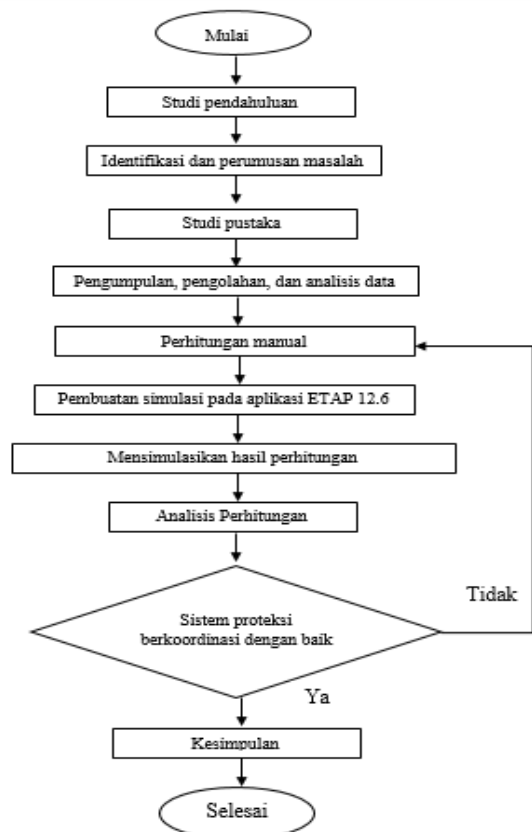
TMS = Time Multiplier Setting

β = Konstanta Standard Inverse 0,14

α = Konstanta Standard Inverse 0,02

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Gardu Induk 150 kV Bantul dengan melakukan analisa kerja sistem proteksi dari rele diferensial dan rele overcurrent. Adapun langkah yang akan dilakukan yaitu menganalisa studi kasus, mengidentifikasi masalah terkait, mengumpulkan data, sehingga dari semua data yang telah dikumpulkan akan diperoleh perumusan, analisa, pengolahan data dan pemecahan masalah kemudian, mensimulasikan kasus pada perangkat lunak ETAP 12.6 sehingga didapatkan data dari analisa tersebut yang dapat diketahui apakah sistem proteksi bekerja dengan baik atau tidak jika terjadi gangguan. Sehingga hasil pengumpulan data sesuai dengan yang ada pada Gardu Induk Bantul yang akan dianalisa, dimana akurat, relevan dan objektif serta kebenarannya dapat dipercaya guna menyusun laporan proyek tugas akhir ini.



Gambar 3.1 Flowchart

4.HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian tugas akhir ini setelah dilakukan perhitungan terhadap rele diferensial dan rele overcurrent kemudian dilakukan simulasi proteksi dengan menggunakan software ETAP 12.6 sehingga dapat diketahui apakah rele layak beroperasi atau tidak.

4.1 Perhitungan Setting Rele Differential dan Rele Overcurrent

Adapun hasil dari perhitungan didapat sebagai berikut:

Table 4.1 Data setting hasil perhitungan rele diferensial

Jenis perhitungan	Sisi tegangan 150 kV	Sisi tegangan 20 kV
Rasio CT	300 / 1	2000/1
Rasio CT (Nominal)	230,94 A	1732,05 A
Rasio CT (Rating)	25,40 A	190,52 A
Error mismatch	0,88 %	1,12 %
Arus Sekunder CT(I1&I2)	0,77 A	0,87 A
Arus Diferensial	0,1 A	
Arus Restrain	0,82 A	
%Slope	12,19 %	24,36 %
Arus Setting	0,1 A	0,2 A

Berdasarkan dari data hasil perhitungan diatas data diketahui parameter-parameter untuk rele diferensial dengan metode tersebut seperti didapatkan arus setting pada sisi tegangan 150 KV adalah 3,55 A dengan slope 12,19% dan arus setting pada sisi tegangan 7,11 A dengan slope 24,36 %. Dan juga diketahui rasio CT yang terpasang pada sisi tegangan 150 kV yaitu 230,94 A sedangkan pada sisi tegangan rendah 1732,05 A serta memiliki mismatch pada sisi 150 kV adalah 0,88 % dan pada sisi tegangan 20 kV adalah 1,12 %. dari data tersebut diketahui bahwa CT yang terpasang masih ideal karena memiliki error mismatch masih berada dibawah umum toleransi yaitu dibawah 5% dari masing-masing CT.

Tabel 4.2 Data perbandingan nilai setting Differential Relay terpasang dan terhitung

No	Jenis Data Setting Rele	Data Manual	Data Aktual
1	Setting rele diferensial	0,2 A	0,3 A
2	Percent Slope # 1	12,19 %	30 %
3	Percent Slope # 2	24,36 %	80 %

Berdasarkan dari data tabel 4.2 yang merupakan dari hasil perhitungan dari data actual dan data manual, dapat diketahui bahwa pada data manual batas arus setting rele diferensial yang diperbolehkan untuk melewati sisi tegangan rendah adalah 0,2 A dengan

percent slope 1 senilai 11,19 % dan percent slope 2 adalah senilai 24,36 %, maka dari data perhitungan berbeda dengan actual yaitu arus setting batas arus setting rele diferensial adalah 0,3 A dengan percent slope 1 30 % dan percent slope 2 adalah senilai 80 %.

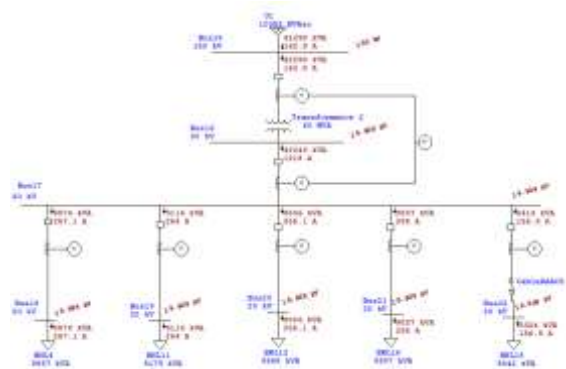
Tabel 4.3 Data Perbandingan Nilai Setting OCR Rele Terpasang dan Rele Terhitung

Nama Rele	Rele terpasang			Rele terhitung		
	Sisi 150 kV Incoming	Sisi Penyulang	Sisi 150 kV Incoming	Sisi 150 kV Incoming	Sisi Penyulang	Sisi Penyulang
OCR	0,33	0,27	0,24	0,64	0,194	0,1414
TMS Rasio CT (A)	300/1	2000/1	800/5	300/1	2000/1	800/5
t (s)	1,1	0,7	0,3	1,09	0,69	0,29

Berdasarkan dari data hasil perhitungan OCR tidak terdapat perbedaan yang signifikan dalam penyettingan rele terpasang di GI Bantul seperti setting waktu pada sisi 150 kV terpasang di GI 1,1 s sedangkan hasil terhitung 1,09. Sehingga dari hasil asil perhitungan ini masih sesuai dengan teori yang ada sehingga rele dapat disimpulkan masih dalam toleransi dan layak beroperasi dengan baik.

4.2 Simulasi Proteksi Rele Proteksi Pada Software ETAP 12.6

1. Simulasi Keadaan Normal

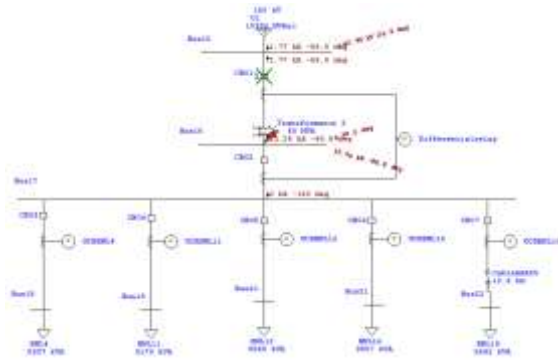


Gambar 4. 1 Simulasi Proteksi Rele Diferensial dan Rele Overcurrent Keadaan Normal

Berdasarkan simulasi diatas dilakukan run load flow analysis dari software ETAP 12.6 untuk mengetahui arus menuju beban dan daya beban dalam keadaan normal. Pada kondisi ini tidak ada terjadi gangguan seperti hubung singkat, arus yang mengalir dalam keadaan normal dimana keadaan rele diferensial tidak ada gangguan didalam zona proteksinya yaitu dalam kondisi aman atau tidak bekerja (I1 = I2) dan rele overcurrent juga dalam kondisi normal tidak ada arus melewatinya yang melebihi dari

settingnya maka dalam kondisi tidak bekerja sehingga suplai daya listrik menuju beban atau konsumen berjalan secara normal.

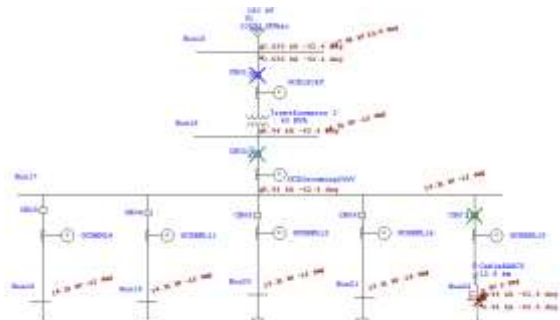
2. Simulasi Proteksi Hubung Singkat didalam Zona Proteksi Differential Relay



Gambar 4. 2 Simulasi Hubung Singkat didalam Zona Proteksi Differential Relay

Berdasarkan simulasi diatas pada differential relay telah disetting waktunya, dihubungkan dengan CT01 dan CT02 yang keduanya dihubungkan dengan relay tersebut sebagai pengukuran untuk menurunkan arus sesuai dengan arus kerja rele differential, sehingga ketika merasakan atau terjadi gangguan hubung didalam zona proteksinya dan terjadi ketidakseimbangan arus pada daerah peralatan trafo maka relay akan memberikan perintah kepada CBO1 untuk trip. Pada gambar diatas terlihat terdapat Ifault sebesar 13,24 kA dimana ketika dihitung Ifault relay didapat $13240 \times (1 / 2000) = 6,62A$, maka dari hasil perhitungan didapat yaitu: $I_2 = (6,62 / 0,87) = 7,6 A$ dan $I_1 = 0,77 A$ sehingga arus differential ($I_d = 7,6 - 0,77 = 6,83 A$) maka terbaca pada relay melebihi dari setting sedangkan arus differential setting 0,3 A dan relay memberi perintah CB untuk trip pada waktu yang telah disetting yaitu 0,044 detik, sehingga tidak ada tegangan dan arus gangguan yang diberikan lagi kepada transformator yang dapat merusak komponen tersebut dikarenakan sudah diamankan.

3. Simulasi Koordinasi Proteksi Overcurrent Relay Sisi Penyulang BNL18



Gambar 4. 3 Simulasi Koordinasi Proteksi OCR Sisi Penyulang BNL18

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Hasil dari perhitungan dan simulasi Etap Differential Relay ketika diberi gangguan hubung singkat sebesar 13240 A dizona proteksi rele diferensial sehingga dibaca arus hasil dua CT untuk pengukuran berbeda dan didapat Ifault sebesar 6,62 A dan arus tersebut melewati relay melebihi setting sebesar 0,3 A maka rele akan memberi perintah CB1 untuk trip
2. Hasil perhitungan dan simulasi Etap koordinasi Overcurrent Relay diketahui diberi gangguan hubung singkat dizona proteksi penyulang sehingga arus melewati batas setting maka relay tersebut akan bekerja mentripping relay tersebut akan bekerja mentripping CB penyulang namun ketika gagal OCR incoming akan mentripping CBnya begitupun OCR 150kV akan merasakan dan mentripping CBnya dimana waktu kerja relay berbeda dari cepat menjadi lambat yang saling membackup, berurutan 0,3 s, 0,7 s, 1,1 s dari sisi penyulang terakhir sisi incoming 150kV sehingga tidak ada arus gangguan yang merusak peralatan listrik.
3. Berdasarkan dari analisi data hasil perhitungan dan simulasi dapat diketahui bahwa tidak terdapat perbedaan yang sangat signifikan pada Gardu Induk Bantul sehingga nilai setting terpaang dilapangan masih dalam batas toleransi dan rele proteksi masih layak beroperasi.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Supanggah, Yugi. 2017. analisis koordinasi proteksi Overcurrent relay pada sistem power plant 8 PT.Indocement Tunggul Prakarsa.
- Liem Ek Bien & Dita Helna (2007). Studi penyetelan relai differensial pada transformator PT Chevron Pasific Indonesia, Jakarta: Universitas Trisakti.
- Modul Study of transformator maintenance (Pelatihan O&M Relai Proteksi Gardu Induk). Tahun 2005. Penerbit PT PLN (PERSERO P3B).
- Reimert, Donald. 2006. Protective Relaying for Power Generation System. Florida: By Taylor & Francis Group, LLC.
- Yuniarto, dkk. 2015. Setting Relay Differensial pada Gardu Induk 150 kv Bantul Kaliwungu Guna Menghindari Kegagalan Proteksi. 17(3): 1-6.
- Saiful dan Zulkarnaini, “Analisa Perhitungan Setting Over Current Relay pada Transformator Daya Area Lukit di Emp Malacca Strait Sa”, dalam Jurnal Teknik Elektro ITP, Vol. 5, No. 1, Januari 2016, dalam <http://ejournal.itp.ac.id/index.php/telektro/article/view/352>, diakses pada 25 Desember 2018, pukul 13.53 WIB.
- Juan, dkk. 2004. Protection Of Electricity Distribution Networks 2nd Edition. The Institution Of Engineering And Technology: London.
- Setiyawan, A. 2017. Analisis Koordinasi Proteksi Pada PT. PLN (PERSERO) Gardu Induk Wonosobo Menggunakan Software Aplikasi ETAP. Tugas Akhir Pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Syahputra, R., (2012), “Distributed Generation: State of the Arts dalam Penyediaan Energi Listrik”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2012.
- Syahputra, R., (2016), “Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
- Syahputra, R. (2010). Fault Distance Estimation of Two-Terminal Transmission Lines. Proceedings of International Seminar on Applied Technology, Science, and Arts (2nd APTECS), Surabaya, 21-22 Dec. 2010, pp. 419-423.