

# STUDI PENGGUNAAN RELAI DIFERENSIAL SEBAGAI SISTEM PROTEKSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) BARRU

**Muh. Yusuf Yunus, Remigius Tandioga<sup>1)</sup>,  
Laurasti Aswindah Sari, Adhe Puspita<sup>2)</sup>**

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran tentang sistem kerja relai diferensial pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru serta untuk mendapatkan gambaran settingan slope yang tepat untuk relai diferensial pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru. Karena relai diferensial merupakan proteksi utama pada transformator maka dari itu penulis melakukan studi penggunaan relai diferensial sebagai sistem proteksi transformator agar settingan relai tersebut tetap dalam keadaan normal tanpa gangguan. Hasil penelitian ini menunjukkan sistem kerja relai diferensial pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru yaitu berdasarkan pada besaran arus gangguan di luar zona. Apabila berdasarkan pada besaran nominal maka arus besar yang melewati sekunder transformator akan merusak peralatan serta setting slope yang tepat untuk relai diferensial agar dalam keadaan normal pada sistem proteksi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru sesuai pada besaran arus gangguan di luar zona yaitu sebesar  $k = 0,533$  sampai  $k = 2$ .

**Kata kunci:** Relai diferensial, transformator, setting.

## I. PENDAHULUAN

Sistem kelistrikan merupakan elemen yang penting untuk menunjang proses produksi pada industri. PT. Indonesia Power Unit Pembangkitan dan Jasa Pembangkitan Bali (UPJP) Sub Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru 2 x 50 MW yang merupakan anak perusahaan dari PT.PLN(Persero) adalah Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang menyediakan sebagian besar energi listrik pada sistem interkoneksi Sulawesi Selatan, Barat, dan Tenggara. Sistem proteksi adalah sebuah sistem pengamanan terhadap peralatan listrik yang diakibatkan oleh gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab lainnya. Relai adalah satu dari banyaknya alat proteksi yang terpasang pada peralatan listrik mulai dari penggunaan yang besar seperti transmisi dan gardu induk hingga penggunaan kecil yang meliputi generator, transformator, jaringan dan busbar. Fungsi utama relai yaitu mengamankan peralatan dari gangguan yang terjadi dengan memberikan tanda (alarm) saat sudah merasakan adanya gangguan kemudian memerintahkan PMT (Sakelar Pemutus Tenaga) untuk pemutus. Pada transformator terpasang relai untuk mengamankan transformator dari adanya kemungkinan gangguan yang akan terjadi. Relai yang dipasang pada transformator ada beberapa tetapi yang akan diteliti lebih focus pada relai diferensial. Kajian dilakukan untuk mendapatkan gambaran tentang sistem kerja relai diferensial serta setting slope yang tepat untuk relai diferensial agar dalam keadaan normal pada sistem proteksi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru relai tidak bekerja.

---

<sup>1</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

<sup>2</sup> Alumni Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

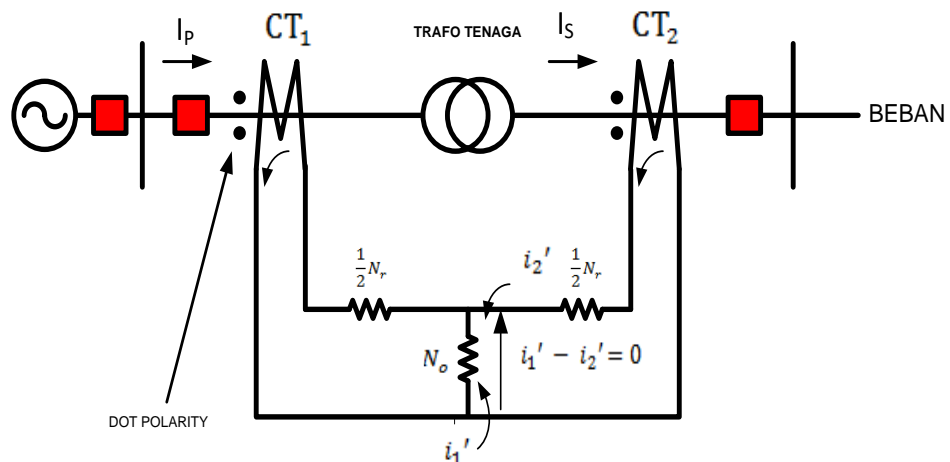
### A. Sistem Proteksi

Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem pengamanan yang bekerja pada saat kondisi operasi sistem tidak stabil seperti terjadi hubung singkat, tegangan lebih, arus lebih, beban lebih dan frekuensi sistem rendah, yang dipasang pada peralatan listrik seperti transformator, generator dan jaringan listrik.

Menurut Abdul Kadir (1987), kegunaan sistem proteksi adalah supaya pemutus-pemutus daya (PMT) yang tepat dioperasikan bekerja dengan cepat dan peralatan yang terganggu terpisah secepatnya dari sistem, sehingga kerusakan karena gangguan menjadi sekecil mungkin. Sedangkan menurut et al (1974), kegunaan dari sistem proteksi yaitu agar pemutus-pemutus daya mencegah terjadinya beban yang berlebih dan memutuskan hubungan dengan hubungan bagian instalasi yang mengalami kerusakan sehingga setelah diputuskan terdapat sinyal yang memberitahukan letak kerusakannya.

### B. Relai Diferensial

Fungsi dari relai diferensial adalah untuk mengamankan transformator dari gangguan hubung singkat yang terjadi di dalam daerah pengamanan transformator. Relai ini bekerja dengan cara membandingkan arus pada kumparan sekunder kedua transformator arus.



Gambar 1. Skema relai diferensialbias

Relai diferensial tipe bias (percentage) mempunyai dua atau lebih kumparan penahan (restraining coil). Torsi yang dihasilkan oleh arus yang mengalir melalui kumparan penahan akan membuat kontak pemutus relai diferensial percentage tetap pada posisi membuka. Torsi penahan tersebut sebanding dengan jumlah arus kedua sisi sekunder transformator arus ( $\frac{1}{2}(i_1' + i_2')$ ). Jika terjadi gangguan di luar daerah pengamanan, torsi penahan ini menjadi besar sehingga mencegah terjadinya kesalahan pemutus karena adanya arus diferensial yang mengalir melalui belitan operasi yaitu  $\frac{1}{2}(i_1' + i_2') > |i_1' - i_2'|$ . Sebaliknya jika terjadi gangguan di dalam daerah pengamanan, arus-arus yang melalui kumparan penahan berbeda nilainya sehingga pengendali torsi yang terjadi sangat kecil maka  $\frac{1}{2}(i_1' + i_2') \leq |i_1' - i_2'|$ . (Pamungkas, 2015)

**C. Besaran-besaran Penting untuk Relai Diferensial**

Relai diferensial ini mempunyai settingan arus, settingan arus inilah yang akan menentukan kapan relai ini akan bekerja. Ada beberapa persamaan mengenai relai diferensial yaitu sebagai berikut:

a. Besaran Nominal Transformator

Untuk mencari arus nominal pada transformator (Bien dan Helna, 2007) :

$$I_n = \frac{S}{V \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots(1)$$

b. Besaran Rating Transformator

Dalam pemilihan rasio transformator arus, sebaiknya yang mendekati  $I_{rating}$ , maka menghitung  $I_{rating}$  (Bien dan Helna, 2007) :

$$I_{rating} = 110 \% \times I_n \dots\dots\dots(2)$$

dalam hal ini :

- $I_n$  = Arus Nominal (A)
- S = Daya yang tersalur (MVA)
- V = Tegangan antar fasa pada transformator (V)

c. Besaran Arus Gangguan di Luar Zona

Sebelum menentukan besaran gangguan terlebih dahulu menentukan harga dasar pada sistem satu-fasa :

$$X_{os(pu)} = \frac{X_{os}}{X_{dasar}} = (X_s + \frac{V_s^2}{3V_p^2} \cdot X_p) \cdot \frac{S}{V_s^2}$$

$$= S \left( \frac{X_s}{V_s^2} + \frac{X_p}{3V_p^2} \right) \dots\dots\dots(3)$$

dalam hal ini :

- S = daya semu tiga fasa yang dipilih baik pada taransformator maupun generator (MVA)
- $X_{dasar}$  = impedansi dasar (pu)
- $V_p$  = tegangan primer transformator (kV)
- $V_s$  = tegangan sekundertransformator (kV)
- $X_{op}$  = reaktansi transformator dilihat ke sisi primer (pu)
- $X_{os}$  = reaktansi transformator dilihat ke sisi sekunder (pu)

Setelah menentukan pemilihan harga dasar sistem satu-fasa, kemudian menentukan gangguan hubung singkat pada sistem tiga-fasa :

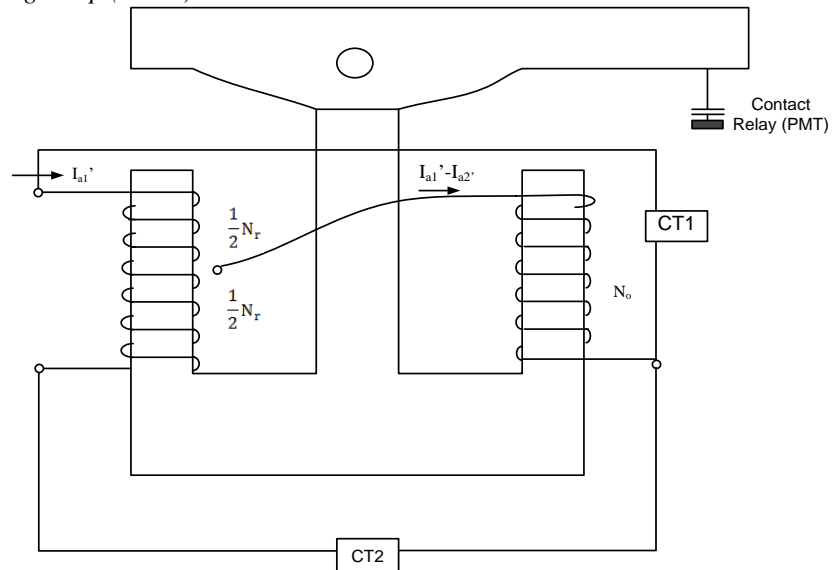
$$I_f = \frac{1}{V_p \left( \frac{X_g}{S_g} + \frac{X_t}{S_t} \right) \sqrt{3}} \dots\dots\dots(4)$$

dalam hal ini :

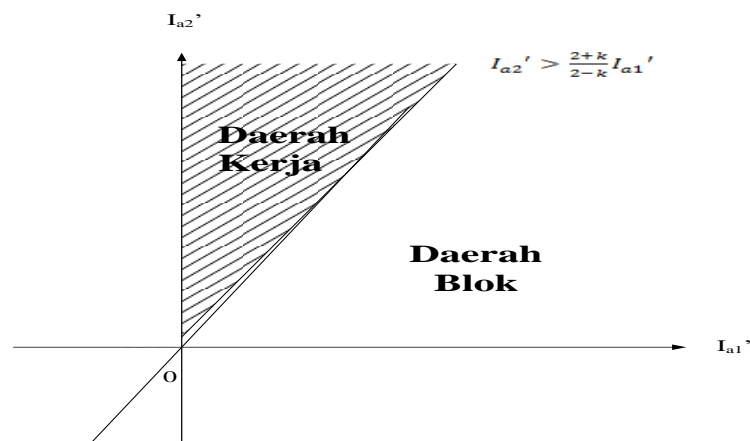
- $S_{1-base} = S_g$  = Daya dasar pertama generator (MVA)
- $V_{1-base} = V_g$  = Tegangan dasar pertama generator (V)
- $I_{base}$  = Arus dasar (A)
- $X_g$  = Reaktansi pada generator (pu)
- $X_t$  = Reaktansi transformator (pu)
- $I_f$  = Arus gangguan hubung singkat (A)

d. Arus pada Kumparan Restraint

Syarat kontak (PMT) bekerja apabila gaya gerak magnet pada  $N_o$  lebih besar dari pada gaya gerak magnet pada  $N_r$  . Gambar di bawah ini menunjukkan cara kerja relai diferensial.



Gambar 2. Mekanisme proteksi relai diferensial



Gambar 3. Grafik hubungan dari  $I_{a2}'$  sebagai fungsi dari  $I_{a1}'$

Terlihat pada Gambar 4. cara kerja relai diferensial kontak relai bekerja apabila gaya pada kumparan operation lebih besar dari pada kumparan restraint. Pada kumparan operation harus sebanding dengan  $[N_o(I_{a1}' - I_{a2}')]^2$ . Sedangkan kumparan restraint sebanding dengan  $[N_r(I_{a1}' + I_{a2}')/2]^2$ . Kondisi operating pada relai (Glover:1994) yaitu :

$$|I_{a1}' - I_{a2}'| > \frac{N_r}{N_o} |(I_{a1}' + I_{a2}')/2| \dots \dots \dots (5)$$

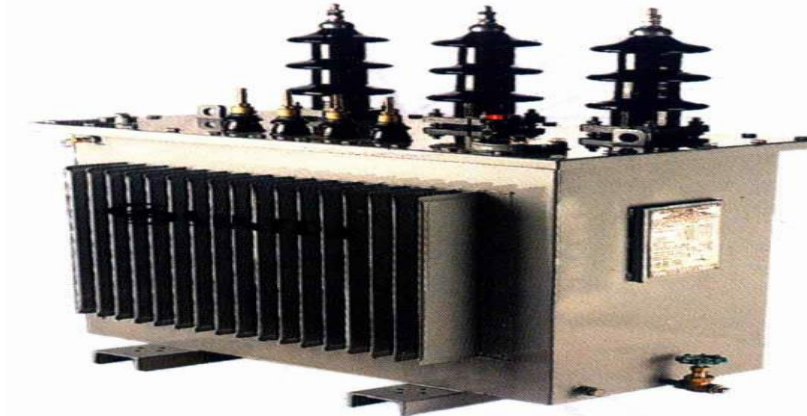
$$|I_{a1}' - I_{a2}'| > k |(I_{a1}' + I_{a2}')/2| \dots \dots \dots (6)$$

Syarat utama bekerjanya relai yaitu :

$$I_{a2}' > \frac{2+k}{2-k} I_{a1}' \quad \text{untuk} \quad I_{a2}' > I_{a1}'$$

**D. Transformator**

Menurut (Trevor Linsley, 2004) “Transformator ialah peralatan listrik yang digunakan untuk mengubah nilai tegangan arus bolak balik”. Sedangkan menurut (Salwin, 2008), “Transformator adalah suatu peralatan listrik yang dipergunakan untuk memindahkan daya atau energi listrik dari suatu bagian rangkaian ke rangkaian yang lain secara induksi dengan tegangan dan arus berubah serta frekuensi tetap (melalui suatu gandengan magnet dan prinsip-prinsip elektromagnet)”.



Gambar 4. Transformator 3 fasa

Arus di sisi primer transformator dapat ditentukan yaitu :

$$I_p = \frac{V_{sn}}{V_{pn}} \times I_s \dots\dots\dots(7)$$

Untuk tegangan di sisi primer :

$$V_p = \frac{V_s}{V_{sn}} \times V_{pn} \dots\dots\dots(8)$$

Arus di sisi primer dapat pula dihitung dengan cara, terlebih dahulu menentukan nilai daya semu menggunakan persamaan faktor daya :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(9)$$

$$S = \sqrt{3} \times V_s \times I_s \dots\dots\dots(10)$$

maka nilai arus di sisi primer adalah :

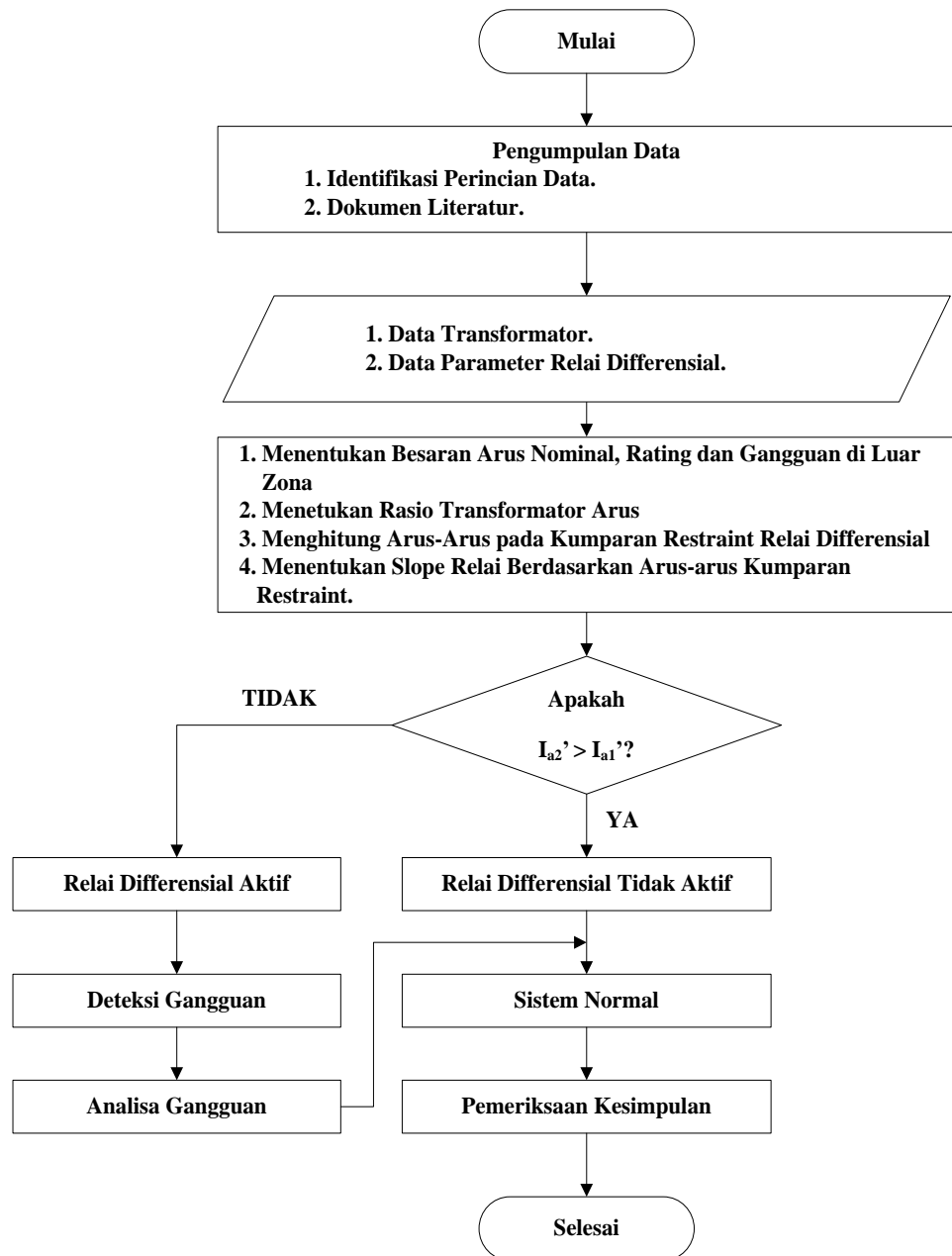
$$I_s = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_p} \dots\dots\dots(11)$$

dalam hal ini :

- $I_s$  = Arus sisi sekunder transformator (A)
- $V_s$  = Tegangan sisi sekunder transformator (V)
- $I_p$  = Arus sisi primer transformator (A)
- $V_p$  = Tegangan sisi primer transformator (V)
- S = Daya semu (MVA)
- P = Daya reaktif (MVAr)
- Q = Daya aktif (MW)

**II. METODE PENELITIAN**

“Studi Penggunaan Relai Diferensial sebagai Sistem Relai Proteksi Transformator pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru” dilaksanakan pada bulan Maret – Mei 2016, di perusahaan PT. Indonesia Power Sub Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap Barru (PLTU) Barru.



Gambar 5. Flowchart prosedur penelitian

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Peralatan yang diproteksi adalah transformator tiga fasa yang terdapat pada unit 1 dan unit 2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru. Berikut adalah name plate yang terdapat pada transformator tiga fasa unit 1 dan unit 2, dan keduanya memiliki spesifik name plate yang sama.

Name plate transformator unit 1 dan unit 2 PLTU Barru:

Merek	= P.T. Kota Chongqing
Tahun Pembuatan	= 2009
Kapasitas (S)	= 63 MVA

Vektor Group = YN d11  
 Tegangan Nominal = 10,5 / 158 kV  
 Arus Nominal = 230,21 / 2000 A  
 Freq = 50 HZ  
 Phase = 3  
 Pendingin = ONAF/ONAN  
 Kelas Isolasi = Kelas A

Data Pengamatan Relai Proteksi

Relai Diferensial  
 Merk = WBH-812  
 Tipe = WBH-812/R2  
 $I_n$  = 5A

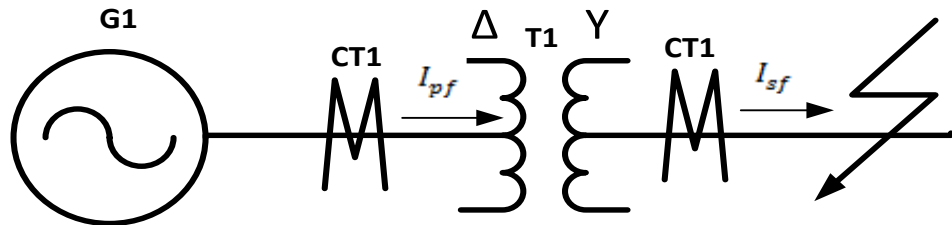
Dengan menggunakan data real transformator dalam operasi normal maka dapat dihitung nilai arus arus primer dan sekunder sehingga diperoleh tabel sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil perhitungan arus di sisi primer pada transformator 1 ( $V_{pn}=10,5$  kV dan  $V_{sn}= 158$  kV)

Pukul	Sekunder Transformator				S (kVA)		$V_p$ (kV)	Arus Primer		Waktu
	$V_s$ (kV)	$I_s$ (A)	P (MW)	Q (MVar)	$S=\sqrt{3} \times V \times I$	$S=\sqrt{P^2+Q^2}$		$I_p$ (A)	$I_p$ (A)	
00.30	149,82	144,84	38,72	0,43	37585,379	38722,3876	9,956392	2179,497	2245,4299	4 Maret 2016
22.00	146,88	12,24	2,3	1,66	3113,9003	2836,4767	9,761013	184,1829	167,77364	
15.30	146,04	155,4	39,75	6,05	39308,228	40207,7729	9,70519	2338,4	2391,9129	
06.30	150,32	11,88	2,36	1,73	3093,0991	2926,1750	9,98962	178,7657	169,11833	5 Maret 2016
24.00	148,91	148,32	36,89	2,14	38254,647	36952,0189	9,895918	2231,863	2155,8645	
07.00	150,2	135,12	36,3	3,23	35152,012	36443,4205	9,982	2033,234	2107,9309	6 Maret 2016
11.30	147,45	159,84	40,61	0,47	40821,680	40612,7197	9,799	2405,211	2392,8995	
04.00	151,07	147,48	40,06	1,08	38589,75	40074,5555	10,03946	2219,223	2304,6111	7 Maret 2016
10.30	145,92	164,88	42,13	6,77	41671,91	42670,4793	9,697215	2481,051	2540,5039	
00.30	149,15	144	35,64	4,93	37200,294	35979,3621	9,912	2166,86	2095,7398	8 Maret 2016
11.30	146,16	161,52	41,28	6,89	40889,845	41851,0514	9,713	2430,49	2487,6255	
07.00	152,42	108,6	28,99	5,61	28670,311	29527,8208	10,12918	1634,171	1683,0484	11 Maret 2016
19.30	147,8	168,52	40,7	7,88	43140,632	41455,8126	9,822152	2535,825	2436,7903	
21.30	149,07	112,68	28,74	7,7	29093,617	29753,6149	9,907	1695,566	1734,0302	12 Maret 2016
10.30	148,22	165,48	42,92	7,07	42482,782	43498,4057	9,850	2490,08	2549,6096	
23.30	151,04	110,16	29,51	4,55	28818,842	29858,7106	10,03747	1657,646	1717,4584	13 Maret 2016
06.30	151,04	123,36	33,02	3,96	32272,080	33256,6084	10,03747	1856,274	1912,9038	
00.30	150,14	13,8	4,17	2,7	3588,6914	4967,7862	9,978	207,6571	287,4575	26 Maret 2016
18.30	145,56	101,64	25,8	5,45	25625,204	26369,3477	9,673	1529,44	1573,8542	
24.00	149,89	87,36	23,74	1,39	22680,149	23780,6581	9,961044	1314,56	1378,3464	27 Maret 2016
10.30	148,79	99,23	24,65	0,7	25572,745	24659,9371	9,887943	1493,175	1439,877	

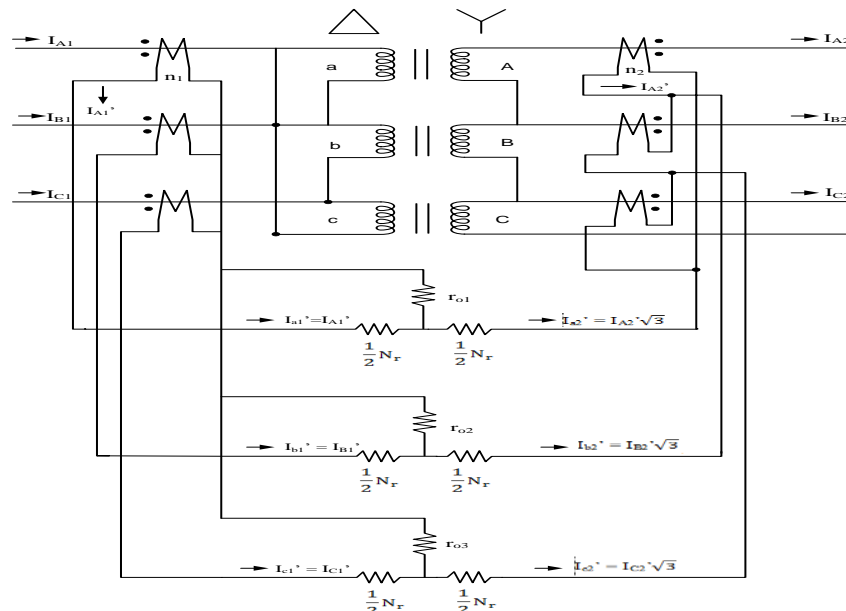
1. Menentukan Rasio Transformator Arus Berdasarkan Besaran Arus Gangguan di Luar Zona

Untuk menentukan rasio transformator arus terlebih dahulu dihitung besaran arus gangguan di luar zona. Lokasi gangguan dianggap di luar zona proteksi di sisi outgoing transformator, agar dapat dihitung arus gangguan yang melalui belitan primer transformator arus 2 (CT2). Jika diketahui :



Gambar 6. Single line diagram transformator unit 1

2. Perhitungan Arus-arus pada Kumparan Restraint Relai Diferensial



Gambar 7. Ilustrasi transformator dengan proteksi relai diferensial Hasil-hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Penentuan bekerja tidaknya relai pada rasio transformator arus yang ditentukan berdasarkan besaran arus gangguan di luar zona transformator 1

( $n_1 = 3000$ ,  $n_2 = 200$ ) untuk

$$V_p = 10,5 \text{ kV}; V_s = 158 \text{ kV}; S = 63 \text{ MVA}; k = \frac{2(n_1 V_p \sqrt{3} - n_2 V_s)}{(n_1 V_p \sqrt{3} + n_2 V_s)}; I_{a2}' - th =$$

$$\frac{I_{a1}' - act(2+k)}{2-k}; I_{a1}' - act = \frac{I_p/n_1}{I_n}; I_{a2}' - act = \frac{\sqrt{3}I_s/n_2}{I_n}; I_p = \frac{V_s}{V_p} I_s$$

No.	$I_s$ (A)	$I_p$ (A)	$I_{a1}'$ (A)	$I_{a2}' - act$ (A)	$I_{a2}' - th$ (A)	Unjuk Kerja Relai	Waktu
1	144,84	2179,497	0,14530	0,25087	0,25093	Tidak Bekerja	4 Maret 2016
2	12,24	184,1829	0,01228	0,02120	0,02121	Tidak Bekerja	
3	155,4	2338,4	0,15589	0,26916	0,26923	Tidak Bekerja	



4	11,88	178,7657	0,01192	0,02058	0,02058	Tidak Bekerja	5
5	148,32	2231,863	0,14879	0,25690	0,25696	Tidak Bekerja	Maret 2016
6	135,12	2033,234	0,13555	0,23403	0,23409	Tidak Bekerja	6
7	159,84	2405,211	0,16035	0,27685	0,27692	Tidak Bekerja	Maret 2016
8	147,48	2219,223	0,14795	0,25544	0,25551	Tidak Bekerja	7
9	164,88	2481,051	0,16540	0,28558	0,28565	Tidak Bekerja	Maret 2016
10	144	2166,86	0,14446	0,24942	0,24948	Tidak Bekerja	8
11	161,52	2430,49	0,16203	0,27976	0,27983	Tidak Bekerja	Maret 2016
12	108,6	1634,171	0,10894	0,18810	0,18815	Tidak Bekerja	11
13	168,52	2535,825	0,16905	0,29189	0,29196	Tidak Bekerja	Maret 2016
14	112,68	1695,566	0,11304	0,19517	0,19522	Tidak Bekerja	12
15	165,48	2490,08	0,16601	0,28662	0,28669	Tidak Bekerja	Maret 2016
16	110,16	1657,646	0,11051	0,19080	0,19085	Tidak Bekerja	13
17	123,36	1856,274	0,12375	0,21367	0,21372	Tidak Bekerja	Maret 2016
18	13,8	207,6571	0,01384	0,02390	0,02391	Tidak Bekerja	26
19	101,64	1529,44	0,10196	0,17605	0,17609	Tidak Bekerja	Maret 2016
20	87,36	1314,56	0,08764	0,15131	0,15135	Tidak Bekerja	27
21	99,23	1493,175	0,09955	0,17187	0,17191	Tidak Bekerja	Maret 2016

Dari Tabel 2 Menunjukkan tidak bekerjanya relai pada rasio yang ditentukan ( $n_1 = 3000$ ,  $n_2 = 200$ ) berdasarkan besaran arus gangguan di luar zona transformator, terlihat dari Tabel  $2I_{a2}'-act$  (arus aktual) lebih kecil dari pada  $I_{a2}'-th$  (arus teoritis) maka relai tersebut tidak bekerja. Hasil penentuan bekerja tidaknya relai ini menunjukkan bahwa relai tidak bekerja jika nilai  $I_{a2}'-th$  (arus teoritis) berada di bawah nilai  $I_{a2}'-act$  (arus aktual). Setiap arus  $I_{a1}'$  dan  $I_{a2}'-act$  yang melewati sekunder transformator arus akan di bagi 5 agar arus yang terbaca kecil dan tidak merusak peralatan. Jadi, Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru menggunakan rasio transformator arus yang mendekati nilai besaran arus gangguan di luar zona.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

1. Sistem kerja relai diferensial pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru yaitu berdasarkan pada besaran arus gangguan di luar zona. Apabila berdasarkan pada besaran nominal maka arus besar yang melewati sekunder transformator akan merusak peralatan.
2. Setting slope yang tepat untuk relai diferensial agar dalam keadaan normal pada sistem proteksi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru sesuai pada besaran arus gangguan di luar zona yaitu sebesar  $k = 0,533$  sampai  $k = 2$ .

##### B. Saran

1. Dengan melihat penggunaan relai diferensial pada transformator Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru maka diharapkan pihak-pihak dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru lebih memperhatikan sistem

19 Muh. Yusuf Yunus, Remigius Tandioga, Laurasti Aswindah Sari, Adhe Puspita, *Studi Penggunaan Relai Diferensial sebagai Sistem Proteksi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru*  
proteksi pada transformator agar ketika terjadi gangguan mudah dideteksi letak gangguannya.

## V. DAFTAR PUSTAKA

Anwar, Salwin. 2008. "Variabel Tegangan terhadap Hasil Electroplating pada Alat Penyepuh Logam" Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang Kampus Unand Limau Manis Padang

Bergen, A.R. 1986. "Power System Analysis. New Jersey : Prentice-Hall. Inc.

Bien Ek dan Dita Helna. 2007. "Studi Penyetelan Relai Diferensial pada Transformator PT. Chevron Pasific Indonesia". Teknik Elektro Universitas Trisakti.

Glover, J. dan M. Sarma. 1994. Power System Analysis and Design. 2nd edition Boston : PWS Publishing Company.

Linsley Trevor. 2004 "Instalasi Listrik Tingkat Lanjut".

Loveday George. 1986 "Intisari Elektronika" PT.Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia. Jakarta.

Kadir Abdul. 1998 "Transmisi Tenaga Listrik". Jakarta : Universitas Indonesia (UI-Press).

Pamungkas Puja. 2015 "Materi Relai Diferensial" (online)  
<http://http://dokumen.tips/documents/materi-relai-diferensial.html#>  
(diakses 20 Agustus 2016)