

ANALISIS SISTEM PROTEKSI TRANSFORMATOR DENGAN
MENGUNAKAN RELAI DIFERENSIAL PADA PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA *MINIHYDRO* (PLTM) 2x5,5 MW
DI PT. MALEA ENERGY



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

NURSYAMSI LIKU TONDOK
442 18 058

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2021

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Analisis Sistem Proteksi Transformator dengan Menggunakan Relai Diferensial pada Pembangkit Listrik Tenaga *Minihydro* (PLTM) 2x5,5 MW di PT. Malea Energy” oleh Nursyamsi Liku Tondok dan NIM 442 18 058 dinyatakan layak untuk diujikan.

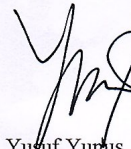
Makassar, 23 Juni 2021

Pembimbing I,

Pembimbing II,



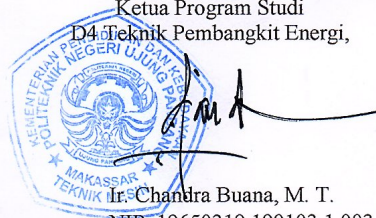
Prof. Ir. Makmur Saini, M.T., Ph.D
NIP. 19610623 198903 1 002



Muh. Yusuf Yurus, S.ST., M.T
NIP. 19800820 200502 1 001

Mengetahui

Ketua Program Studi
D4 Teknik Pembangkit Energi,



Ir. Chandra Buana, M. T.
NIP. 19650319 199103 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Senin 21 September 2020, Tim Penguji Ujian Sidang Laporan Tugas Akhir telah menerima dengan baik Laporan Tugas Akhir oleh mahasiswa: Nursyamsi Liku Tondok NIM 44218058 dengan judul “Analisis Sistem Proteksi Transformator dengan Menggunakan Relai Diferensial pada Pembangkit Listrik Tenaga *Minihydro* (PLTM) 2x5,5 MW di PT. Malea Energy”.

Makassar, 23 Juni 2021

Tim Penguji Ujian Laporan Tugas Akhir:

1. Dr. Jumadi Tangko, M.Pd

Ketua

(.....)

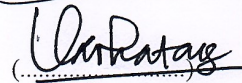

2. Sukma Abadi, S.T., M.T

Sekretaris

(.....)

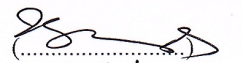

3. Marhatang, S.ST., M.T

Anggota I

(.....)


4. A.M Shiddiq Yunus, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D

Anggota II

(.....)


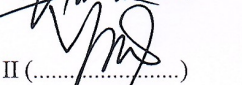
5. Prof. Ir. Makmur Saini, M.T., Ph.D

Pembimbing I

(.....)


6. Muh. Yusuf Yunus, S. ST., M.T

Pembimbing II

(.....)


KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas berkat rahmat serta karunia-Nya, penulisan skripsi ini yang berjudul “Analisis Sistem Proteksi Transformator dengan Menggunakan Relai Diferensial Pada Pembangkit Listrik Tenaga *Minihydro* (PLTM) 2x5,5 MW di PT. Malea Energy” dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penulisan skripsi ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun, berkat bantuan berbagai pihak terutama pembimbing, hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan dan melalui lembaran ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas Rahmat dan karunia-Nya.
2. Ayah dan Ibu tercinta atas dukungan materi, doa, serta kasih sayang yang tak terhingga nilainya.
3. Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar., M.Si., Ph.D., selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Rusdi Nur, S.ST., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Ir. Chandra Buana, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
6. Bapak Prof. Ir. Makmur Saini, M.T., Ph.D., selaku Pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran dan tenaga untuk membimbing kami.

7. Bapak Muh. Yusuf Yunus, S.ST., M.T, selaku Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran dan tenaga untuk membimbing kami.
8. Para Dosen dan Staf Administrasi Politeknik Negeri Ujung Pandang yang tidak disebutkan namanya satu persatu atas bimbingan dan bantuannya.
9. Proyek Manager, Site Manager dan tim Electrical PT. Malea Energy yang telah membantu dan membimbing dalam proses penelitian.
10. Rekan – rekan sesama mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya mahasiswa Alih Jenjang Teknik Pembangkit Energi angkatan 2019.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini dan demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembacanya.

Makassar, 23 Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SIMBOL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
SURAT PERNYATAAN	xiv
RINGKASAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Transformator	8
2.2.1 Pengertian Transformator	8
2.2.2 Bagian – Bagian pada Transformator	9
2.2.3 Prinsip Kerja Transformator	12
2.2.4 Hubungan Belitan pada Transformator Tiga Fasa	13
2.2.5 Transformator Tegangan	15

2.2.6 Transformator Arus	16
2.3 Sistem Proteksi	16
2.3.1 Jenis – Jenis Proteksi	17
2.4 Gangguan Hubung Singkat	30
2.5 Etap 12.6	34
BAB III METODE KEGIATAN	36
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	36
3.2 Objek Penelitian	36
3.3 Teknik Pengumpulan Data	36
3.4 Prosedur Penelitian	37
3.5 Teknik Analisis Data	39
BAB IV HASIL DAN DESKRIPSI KEGIATAN	40
4.1 Data Pengamatan yang Diproteksi	40
4.1.1 Name Plate Transformator unit 5 & unit 6 Pembangkit Listrik Tenaga Minihydro (PLTM) Malea	40
4.1.1 Data Pengamatan Relai Proteksi	41
4.2 Pembahasan	41
4.2.1 Menentukan Besaran-Besaran Arus Nominal dan Besaran Rating pada Transformator	40
4.2.2 Menghitung Arus di Sisi Primer Transformator Berdasarkan Arus di Sisi Sekunder yang telah diketahui	42
4.2.3 Menentukan Rasio Transformator Arus Berdasarkan Besaran Nominal	45
4.2.4 Menentukan Rasio Transformator Arus Berdasarkan Besaran Rating	45
4.2.5 Menentukan Arus pada Kumparan Restrain Relai Diferensial	46
4.2.6 Menentukan Percent Slope (Setting Kecuraman) Berdasarkan Arus-arus Kumparan Restrain	48
4.2.7 Menentukan Besar Arus Gangguan Hubung Singkat	57
4.3 Simulasi Relai Diferensial menggunakan Software ETAP 12.6	59
4.3.1 Simulasi dalam Keadaan Normal	60
4.3.2 Simulasi Gangguan di Luar Daerah Pengaman	

Relai Diferensial	61
4.3.3 Simulasi Gangguan di Dalam Daerah Pengaman Relai Diferensial	62
BAB V PENUTUP	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	69



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Sheet Transformator Daya Unit 5&6 PLTM Malea	40
Tabel 4.2 Data Sheet Aktual Relai Diferensial	41
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Arus di Sisi primer pada Transformator Unit 6 ($V_{sn}=6,3$ kV dan $V_{sn}=20$ kV)	44
Tabel 4.4 Penentuan bekerja tidaknya relai pada rasio transformator arus yang ditentukan berdasarkan besaran nominal	51
Tabel 4.5 Penentuan bekerja tidaknya relai pada rasio transformator arus yang ditentukan berdasarkan besaran rating	56



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Inti Besi Pada Transformator	9
Gambar 2.2 Minyak Isolasi Transformator	10
Gambar 2.3 Bushing Transformator	11
Gambar 2.4 Konservator	11
Gambar 2.5 Hubungan Bintang	14
Gambar 2.6 Hubungan Delta	14
Gambar 2.7 Hubungan Zigzag	15
Gambar 2.8 Rangkaian Penyambung Transformator Tegangan	15
Gambar 2.9 Rangkaian Penyambung Transformator Arus	16
Gambar 2.10 Relai Suhu / <i>Thermal</i>	18
Gambar 2.11 Relai Bucholz	19
Gambar 2.12 Relai Jansen	19
Gambar 2.13 Relai Sudden Pressure	20
Gambar 2.14 Skema <i>Restricted Earth Fault relay</i>	21
Gambar 2.15 Rangkaian Sederhana Relai Diferensial	21
Gambar 2.16 Relai Diferensial Dengan Gangguan di Daerah Pengaman	22
Gambar 2.17 Relai Diferensial Dengan Gangguan di Luar Daerah Pengaman ...	23
Gambar 2.18 Mekanisme Proteksi Relai Diferensial	25
Gambar 2.19 Grafik hubungan dari I_{a2}' sebagai fungsi dari I_{a1}'	27
Gambar 2.20 Grafik hubungan dari I_{a2}' sebagai fungsi dari I_{a1}'	28
Gambar 2.21 Grafik hubungan dari I_{a2}' sebagai fungsi dari I_{a1}'	29
Gambar 2.22 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah	31

Gambar 2.23 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa	32
Gambar 2.24 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	32
Gambar 3.1 Flow Chart Prosedur Penelitian	38
Gambar 4.2 Ilustrasi Transformator Dengan Proteksi Relai Diferensial	45
Gambar 4.3 Grafik hubungan dari I_{a2}' sebagai fungsi dari I_{a1}' berdasarkan besaran nominal transformator	47
Gambar 4.4 Grafik hubungan dari I_{a2}' sebagai fungsi dari I_{a1}' berdasarkan besaran nominal transformator	52
Gambar 4.5 Simulasi Relai Diferensial pada Kondisi Normal	57
Gambar 4.6 Simulasi relai diferensial saat terjadi gangguan Eksternal	59
Gambar 4.7 Simulasi Relai Diferensial saat Terjadi Gangguan Internal	61



DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
I_s	A	Arus sisi sekunder transformator
V_s	Volt	Tegangan sisi sekunder transformator
I_p	A	Arus sisi primer transformator
V_p	Volt	Tegangan sisi primer transformator
V_{sn}	Volt	Tegangan nominal pada sisi sekunder transformator
V_{pn}	Volt	Tegangan nominal pada sisi primer transformator
S	MVA	Daya semu
P	Mvar	Daya reaktif
Q	MW	Daya aktif
I_n	A	Arus nominal
S_g	MVA	Daya dasar pertama generator
V_g	V	Tegangan dasar pertama generator
I_{base}	A	Arus dasar
X_g	Pu	Reaktansi pada generator
$X_{g,baru}$	Pu	Reaktansi baru generator
X_t	Pu	Reaktansi transformator
$X_{t,baru}$	Pu	Reaktansi baru transformator
$I_{f(pu)}$	Pu	Arus gangguan hubung singkat dalam satuan sistem per unit
I_f	A	Arus gangguan hubung singkat
S_t	MVA	Daya dasar kedua transformator
V_t	V	Tegangan dasar kedua transformator

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 *Single Line* Diagram PLTM Malea
- Lampiran 2 *Relai Diferensial* pada PLTM Malea Unit 5 dan 6
- Lampiran 3 Data Aktual Relai Diferensial
- Lampiran 4 Transformator Daya pada PLTM Unit 5 dan 6
- Lampiran 5 Generator pada PLTM Malea Unit 5 dan 6
- Lampiran 6 Hasil Simulasi Gangguan Hubung Singkat dengan
Menggunakan Etap 12.6
- Lampiran 7 Pengambilan Data
- Lampiran 8 Lembar Revisi Judul Skripsi



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nursyamsi Liku Tondok

NIM : 442 18 058

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “**Analisis Sistem Proteksi Transformator dengan Menggunakan Relai Diferensial pada Pembangkit Listrik Tenaga *Minihydro* (PLTM) 2x5,5 MW di PT. Malea Energy**” merupakan gagasan dan hasil karya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam laporan tugas akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 23 Juni 2021

Hormat saya,



Nursyamsi Liku Tondok
NIM 442 18 058

ANALISIS SISTEM PROTEKSI TRANSFORMATOR DENGAN MENGUNAKAN RELAI DIFERENSIAL PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *MINIHYDRO* (PLTM) 2x5,5 MW DI PT. MALEA ENERGY

RINGKASAN

Sistem tenaga listrik terdiri dari komponen pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Dalam proses penyaluran energi listrik dapat muncul gangguan-gangguan salah satunya pada transformator daya yang ada pada pembangkit, sehingga sistem proteksi diperlukan untuk mengidentifikasi adanya gangguan dan mengurangi terjadinya kerusakan dengan membatasi daerah yang terganggu. Peralatan proteksi yang di gunakan salah satunya yaitu relai diferensial. Relai ini digunakan untuk mengamankan daerah yang di proteksi tepatnya di internal transformator saat terjadi *short circuit* atau hubung singkat antar fasa dan gangguan ke tanah. Penelitian ini membahas mengenai perbandingan perhitungan *setting* relai diferensial secara teori dengan data *setting* aktual relai diferensial serta melakukan simulasi dengan *software* ETAP 12.6.

Dalam penelitian ini transformator yang diteliti adalah transformator unit 5 dan unit 6. Data diperoleh dari hasil pengambilan data pada *control room* di PLTM Malea dengan teknik dokumentasi dan melakukan simulasi dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.

Hasil penelitian menunjukkan sistem kerja relai diferensial pada PLTM Malea sudah sesuai dengan perhitungan secara teori, dalam hal ini sistem kerja relai diferensial berdasarkan besaran nominal karena apabila menggunakan besaran rating nilai ratio yang dihasilkan lebih besar dan arus yang melewati sekunder transformator lebih besar dan dapat merusak peralatan. Dimana nilai restrain berdasarkan besaran nominal pada sisi tegangan rendah yaitu 1,164 A dan pada sisi tegangan tinggi 1,905 A sedangkan berdasarkan bersaran rating pada sisi tegangan rendah yaitu 0,960 A dan pada sisi tegangan tinggi 1,746 A. Simulasi yang dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6 terbukti bahwa relai diferensial bekerja secara normal dan dapat bekerja secara instan dalam artian tingkat keandalan relai tersebut masih dalam batas normal dan apabila terdapat gangguan pada zona pengaman maka relai akan bekerja. Jika dibandingkan dengan perhitungan manual dengan hasil simulasi maka terdapat perbedaan sebesar 13,56% untuk sisi tegangan rendah 6,3 kV dan 13,47% untuk sisi tegangan tinggi 20 kV.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya zaman, listrik merupakan elemen yang penting untuk kebutuhan masyarakat ataupun industri. Dengan pertumbuhan ekonomi yang pesat maka kebutuhan energi listrik meningkat setiap tahunnya. Hampir semua peralatan di rumah tangga, industri-industri, mesin-mesin listrik, dan peralatan sehari-hari memerlukan energi listrik. Untuk memenuhi kebutuhan listrik yang semakin meningkat maka dibutuhkan suatu sistem tenaga listrik yang kontinuitas pelayanan dan keandalan yang baik.

Konsumsi listrik nasional terus menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya akses listrik atau *elektrifikasi* serta perubahan gaya hidup masyarakat. Menurut Kementerian ESDM (2019), data konsumsi listrik di Indonesia di tahun 2018 mencapai 1.034 Kilowatt per Hour (kwh)/kapita. Untuk tahun ini, pemerintah menargetkan konsumsi listrik masyarakat akan meningkat menjadi 1.129 kwh/kapita. Guna mengantisipasi kenaikan tersebut, pemerintah juga meningkatkan kapasitas terpasang pembangkit pada tahun ini menjadi sebesar 66,5 Giga Watt (GW) dari realisasi tahun lalu sebesar 62 GW. Hingga akhir tahun 2019, rasio elektrifikasi ditargetkan sebesar 99 persen dan akan mencapai 100 persen pada tahun 2025.

Pembangkit listrik tenaga *minihydro* merupakan salah satu produsen listrik yang ada di Indonesia. PLTM Malea hadir untuk memenuhi kebutuhan listrik dengan daya terpasang untuk unit 5 dan 6 yakni 2x5,5 MW yang memanfaatkan aliran sungai

Sa'dan. Daya yang dihasilkan PLTM Malea akan didistribusikan ke penyulang di PLN Rayon Makale yang kemudian digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik pada konstruksi PLTA Malea dan juga kebutuhan masyarakat area Makale.

Salah satu peralatan penting yang ada di pembangkit listrik dalam penyaluran energi listrik yaitu transformator daya. Transformator daya adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk tegangan listrik bolak-balik dari sisi primer ke sisi sekunder berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik sehingga dapat menaikkan atau menurunkan tegangan (Alvian, 2014).

Proses penyaluran energi listrik tentunya tidak luput dari gangguan-gangguan. Dalam pengoperasiannya, transformator daya dapat mengalami 2 macam gangguan, yaitu gangguan internal dan gangguan eksternal. Gangguan internal merupakan gangguan yang terjadi pada transformator itu sendiri. Sedangkan gangguan eksternal merupakan gangguan yang terjadi di luar transformator daya tetapi dapat menimbulkan gangguan pada transformator (Endi Sopyandi, 2011).

Gangguan-gangguan pada transformator dapat terjadi sewaktu-waktu, 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 apabila terjadi gangguan. Sistem proteksi akan lebih kompleks pada transformator daya yang memiliki kapasitas besar. Bagian dari sistem proteksi itu sendiri ada relai proteksi, trafo daya atau trafo tenaga, sumber AC/DC, dan PMT (Pemutus Tenaga) sebagai penerima perintah akhir dari sistem proteksi.

Pemasangan relai proteksi pada transformator daya bertujuan untuk mengamankan peralatan/sistem sehingga kerugian akibat gangguan dapat dihindari atau dikurangi sekecil mungkin (El-Bages, 2011). Salah satu relai proteksi yang digunakan untuk pengamanan pada transformator ini adalah relai diferensial.

Relai diferensial bekerja dengan membandingkan arus yang masuk dan arus yang keluar pada sisi primer dan sekunder transformator (Arun, 2001). Ketika terjadi perbedaan maka relai akan mendeteksi adanya gangguan dan menginstruksikan PMT untuk membuka (*trip*) (Nikhil, 2014). Perbedaan di sini adalah perbedaan nilai arus dan perbedaan besar fasa (stabilitas arus). Relai ini lebih efektif untuk menangani gangguan internal transformator (Raju, 2012). Pada gangguan di luar daerah pengamanan relai diferensial, trafo tidak akan bekerja karena arus masukan dan keluaran sama besar walaupun melebihi arus dari nominal trafo daya.

Untuk menjaga agar transformator bekerja dengan optimal serta mencegah gangguan-gangguan yang akan terjadi, maka transformator tersebut ditunjang dengan proteksi berupa relai diferensial. Berdasarkan uraian diatas, maka penulis mengambil judul “*Analisis Sistem Proteksi Transformator dengan Menggunakan Relai Diferensial pada Pembangkit Listrik Tenaga Minihydro (PLTM) 2x5,5 MW di PT. Malea Energy*”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, akhirnya rumusan masalah penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

- 1) Bagaimana hasil analisis penggunaan relai diferensial sebagai sistem proteksi transformator berdasarkan perbandingan perhitungan *setting* relai diferensial secara teori dengan data aktual *setting* relai diferensial pada transformator daya di PLTM Malea.
- 2) Bagaimana hasil simulasi sistem proteksi relai diferensial pada transformator daya di PT. Malea Energy dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Mengingat adanya keterbatasan dalam penelitian ini, maka dilakukan pembatasan masalah yaitu penelitian dilakukan dengan menganalisis sistem kerja relai diferensial dengan membandingkan perhitungan *setting* relai diferensial berdasarkan teori dengan data aktual *setting* relai diferensial transformator daya di PT. Malea Energy dan melakukan simulasi dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah yang dikemukakan pada rumusan masalah, berikut tujuan yang akan dicapai:

- 1) Mengetahui hasil analisis penggunaan relai diferensial sebagai sistem proteksi transformator berdasarkan perbandingan perhitungan *setting* relai diferensial

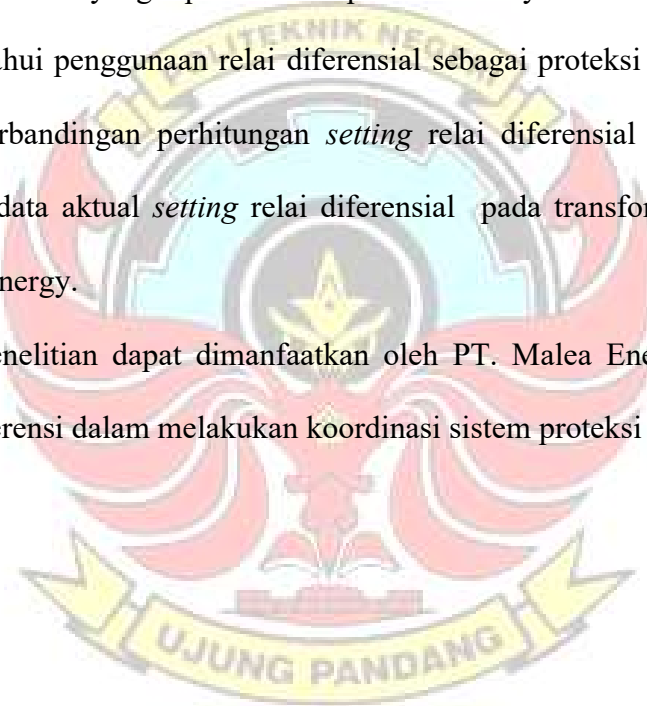
secara teori dengan data aktual *setting* relai diferensial pada transformator daya di PLTM Malea.

- 2) Mengetahui hasil simulasi sistem proteksi relai diferensial pada transformator daya di PT. Malea Energy dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- 1) Mengetahui penggunaan relai diferensial sebagai proteksi transformator daya serta perbandingan perhitungan *setting* relai diferensial berdasarkan teori dengan data aktual *setting* relai diferensial pada transformator daya di PT. Malea Energy.
- 2) Hasil penelitian dapat dimanfaatkan oleh PT. Malea Energy sebagai acuan atau referensi dalam melakukan koordinasi sistem proteksi relai diferensial.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Berdasarkan topik pembahasan penelitian yang berjudul “Analisis Sistem Proteksi Transformator dengan Menggunakan Relai Diferensial pada Pembangkit Listrik Tenaga *Minihydro* (PLTM) 2x5,5 MW di PT. Malea Energy” terdapat beberapa referensi untuk mempertimbangkan permasalahan sebagai acuan tugas akhir ini:

- 1) Badaruddin dan Kurniawan (2012) melakukan penelitian yang berjudul Setting Relai Diferensial pada Transformator Daya 150/20 kV di Gardu Induk Menes. Pada penelitian ini dilakukan evaluasi mengenai jenis gangguan yang terdapat dalam sistem tiga fasa, gangguan hubung singkat, gangguan di luar dan di dalam daerah yang dilindungi, dan setting relai diferensial. Pada penelitian ini juga dilakukan pengujian terhadap perhitungan penyetelan relai diferensial, maka dapat di ambil kesimpulan dari penelitian tersebut bahwa dalam perhitungan untuk penyetelan relai diferensial pada tranformator daya perlu diperharikan beberapa faktor, diantaranya faktor pemilihan perbandingan rasio transformator arus (CT) dan perhitungan besar arus sekunder transformator arus utama.
- 2) Laurasti dan Adhe Puspita (2016) melakukan penelitian yang berjudul Studi Penggunaan Relai Diferensial sebagai Sistem Proteksi Transformator pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru. Dari penelitian tersebut didapat kesimpulan bahwa sistem kerja relai diferensial pada Pembangkit Listrik Tenaga

Uap (PLTU) Barru yaitu berdasarkan perhitungan pada besaran arus gangguan di luar zona. Apabila berdasarkan pada besaran nominal maka arus besar yang melewati sekunder transformator dan dapat merusak peralatan dan setting slope yang tepat untuk relai diferensial agar dalam keadaan normal pada sistem proteksi sesuai pada besaran arus gangguan di luar zona yaitu $k=0,533$ sampai $k=2$.

- 3) Fitriani (2017) melakukan penelitian tentang Analisis Penggunaan Relai Diferensial sebagai Proteksi pada Transformator Daya 16 MVA di Gardu Induk Jajar. Dari hasil penulisan tersebut didapat kesimpulan bahwa, arus setting (*Iset*) yang diperoleh sebesar 0.3 A dan diharapkan dapat bekerja dengan optimal sebagai proteksi utama pada transformator daya 16 MVA di Gardu Induk Jajar.
- 4) Khoirul Aziz (2018) melakukan penelitian dengan judul Simulasi Dan Analisis Sistem Proteksi Differential Relay Main Transformer (87 Gt) Pada Pltp Unit 5 (Lima) PT Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang Dengan Software Etap 12.6. Keandalan relai diferensial dapat diketahui dengan membandingkan nilai arus setting relai diferensial yang didapat dengan perhitungan sesuai standar IEEE (0,26 A) dengan data setting aktual (0,33 A). Dari hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa saat terjadi gangguan internal relai diferensial akan *trip*, sedangkan pada gangguan eksternal relai tidak *trip*.

Adapun penelitian yang akan dilakukan penulis dengan judul “Analisis Sistem Proteksi Transformator dengan Menggunakan Relai Diferensial pada Pembangkit Listrik Tenaga Minihydro (PLTM) Malea 2x5,5 MW”. Pada penelitian ini penulis

akan mengidentifikasi relai differensial transformator dengan menghitung perbandingan setting relai diferensial berdasarkan teori dengan setting relai diferensial pada transformator PLTM Malea untuk mengetahui kehandalan pada sistem proteksi dan sistem kelistrikan.

2.2 Transformator

2.2.1 Pengertian Transformator

Transformator merupakan suatu alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan *level* tegangan yang bekerja berdasarkan *flux* atau sering disebut induksi elektromagnetik yang terjadi pada medan magnet/induksi dikarenakan adanya perubahan medan listrik pada kumparan trafo (Imaulana, 2018).

Berdasarkan sistem penyaluran tenaga listrik, transformator dapat dibagi menjadi 3 yaitu (Purnama Sigit, 2009) :

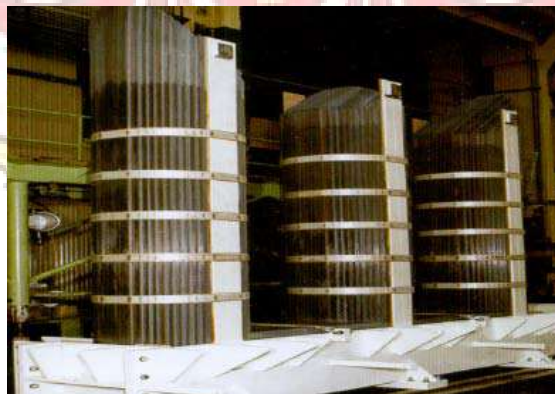
- 1) Trafo penaik tegangan (*Step up*) atau disebut trafo daya, berfungsi untuk menaikkan tegangan dari sisi primer ke sisi sekunder dengan daya atau kapasitas tetap.
- 2) Trafo penurun tegangan (*Step down*), dapat disebut trafo distribusi, berfungsi untuk menurunkan tegangan dari sisi primer ke sisi sekunder dengan daya atau kapasitas tetap.
- 3) Trafo instrumen, untuk pengukuran yang terdiri dari trafo tegangan dan trafo arus, dipakai menurunkan tegangan dan arus agar dapat masuk ke meter-meter pengukuran.

2.2.2 Bagian-bagian pada Transformator

1) Bagian Utama

a) Inti Besi

Berfungsi untuk mempermudah jalan *fluksi*, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh *Eddy Current*. Inti trafo dibentuk dari lapisan lembaran pelat besi silikon yang memiliki lapisan isolasi sangat tipis pada salah satu sisinya, yang tahan terhadap panas tinggi serta mempunyai koefisien penyebaran panas yang rendah, dengan ketebalan yang sangat tipis untuk dapat menekan rugi-rugi inti yang semakin kecil. Disusun sedemikian rupa sehingga membentuk suatu luasan inti magnetis yang kokoh serta efisien.



Gambar 2.1 Inti besi pada transformator
(Sumber : Transformator Tenaga, PT PLN)

b) Kumparan

Kumparan adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder

yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus.

c) Minyak Transformator

Sebagian besar kumparan-kumparan dan inti trafo tenaga direndam dalam minyak trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai isolasi dan media pemindah panas, sehingga minyak trafo tersebut berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.

Di dalam sebuah transformator terdapat dua komponen yang secara aktif membangkitkan energi panas, yaitu besi (inti) dan tembaga (kumparan). Bila energi panas tidak disalurkan melalui suatu sistem pendinginan akan mengakibatkan besi maupun tembaga akan mencapai suhu yang tinggi, yang akan merusak nilai isolasinya. Sebagai maksud untuk pendinginan, kumparan dan inti dimasukkan ke dalam suatu jenis minyak, yang dinamakan minyak transformator.



Gambar 2.2 Minyak Isolasi Transformator
(Sumber: Transformator Tenaga, PT PLN)

d) Bushing

Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. Bushing terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor bushing dengan bodi main tank transformator.



Gambar 2.3 Bushing Transformator
(Sumber : Transformator Tenaga, PT PLN)

e) Tangki Konservator

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada transformator, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun. Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat transformator mengalami kenaikan suhu.



Gambar 2.4 Konservator
(Sumber: Transformator Tenaga, PT PLN)

2.2.3 Prinsip Kerja Transformator

Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan (sumber), maka akan mengalir arus bolak balik I_1 pada kumparan tersebut. Oleh karena kumparan mempunyai inti, arus I_1 menimbulkan fluks magnet yang berubah-ubah pada intinya. Akibat adanya fluks magnet yang berubah-ubah, pada kumparan primer akan timbul GGL induksi.

Pada PLTM Malea terdapat transformator daya dengan kapasitas 8000 KVA. Transformator daya berperan untuk menaikkan tegangan listrik keluaran dari generator sebelum akhirnya disalurkan melalui jaringan transmisi. Dalam hal ini transformator *step-up* menaikkan tegangan 6,3 kV dari output generator menjadi 20 kV, kemudian didistribusikan melalui kawat penghantar (tipe kabel) AAAC 300 sqmm untuk disalurkan ke penyulang PLTM Malea di PLN Rayon Makale.

1) **Arus di Sisi Primer Transformator dan di Sisi Sekunder Transformator.**

Arus di sisi primer transformator dapat ditentukan yaitu :

(Laurasti dan Adhe Puspita : 2016)

$$I_p = \frac{V_{sn}}{V_{pn}} \times I_s \dots\dots\dots (2-1)$$

Untuk tegangan di sisi primer :

$$V_p = \frac{V_s}{V_{sn}} \times V_{pn} \dots\dots\dots (2-2)$$

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

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (2-3)$$

$$S = \sqrt{3} \times V_s \times I_s \dots\dots\dots (2-4)$$

Maka nilai arus di sisi primer adalah :

$$I_s = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_p} \dots\dots\dots (2-5)$$

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)

V_{sn} = Tegangan nominal pada sisi sekunder transformator (V)

V_{pn} = Tegangan nominal pada sisi primer transformator (V)

S = Daya semu (MVA)

P = Daya reaktif (MVA_r)

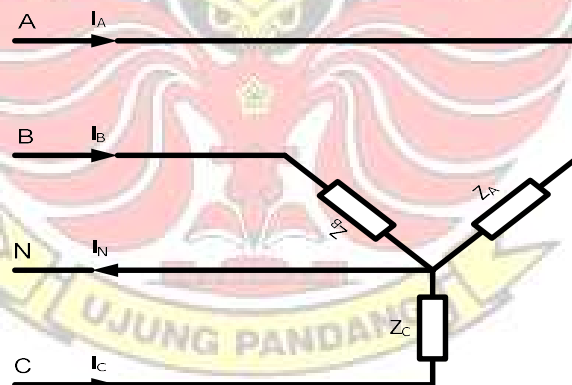
Q = Daya aktif (MW)

2.2.4 Hubungan Belitan pada Transformator Tiga Fasa

Secara umum, ada tiga jenis hubungan pada transformator tiga fasa (Laurasti dan Adhe Puspita : 2016)

1) Hubungan Bintang (Y)

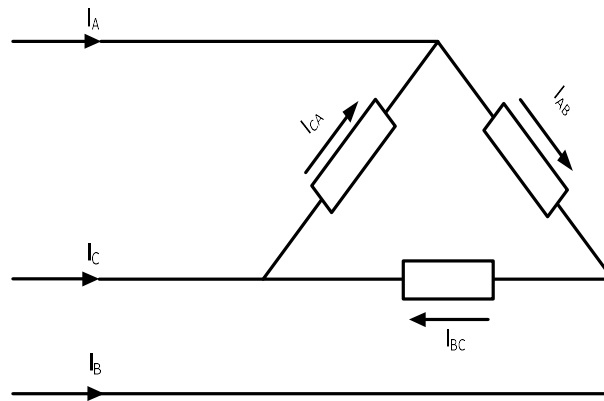
Hubungan bintang ialah hubungan transformator tiga fasa, dimana ujung-ujung awal atau akhir lilitan disatukan. Titik dimana tempat penyatuan dari ujung-ujung lilitan merupakan titik netral.



Gambar 2.5. Hubungan bintang

2) Hubungan Segitiga (Δ)

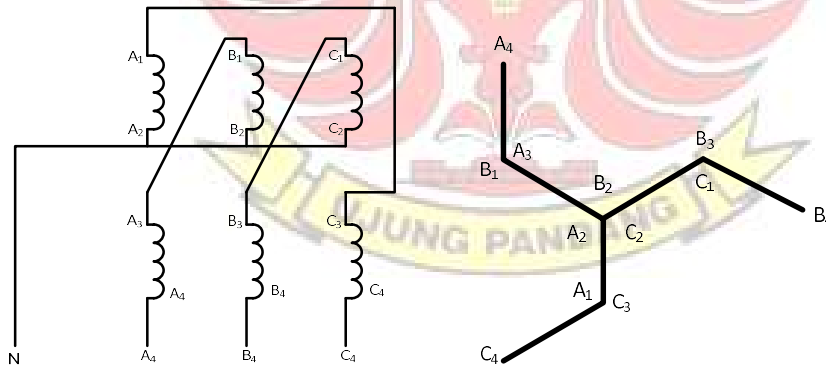
Hubungan segitiga adalah suatu hubungan transformator tiga fasa, dimana cara penyambungannya ialah ujung akhir lilitan fasa pertama disambung dengan ujung mula lilitan fasa kedua, akhir fasa kedua dengan ujung mula fasa ketiga dan akhir fasa ketiga dengan ujung mula fasa pertama.



Gambar 2.6 Hubungan delta

3) Hubungan Zig-zag

Hubungan *zig-zag* merupakan transformator dengan tujuan khusus. Salah satu aplikasinya adalah menyediakan titik netral untuk sistem listrik yang tidak memiliki titik netral. Pada transformator zig-zag masing-masing lilitan tiga fasa dibagi menjadi dua bagian dan masing-masing dihubungkan pada kaki yang berlainan.

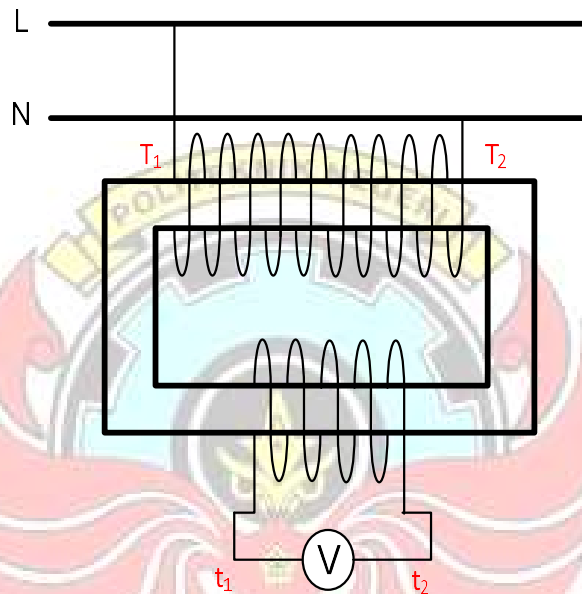


Gambar 2.7 Hubungan zigzag

2.2.5 Transformator Tegangan

Transformator Tegangan atau Potential Transformator (PT) adalah transformator yang berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi / menengah menjadi

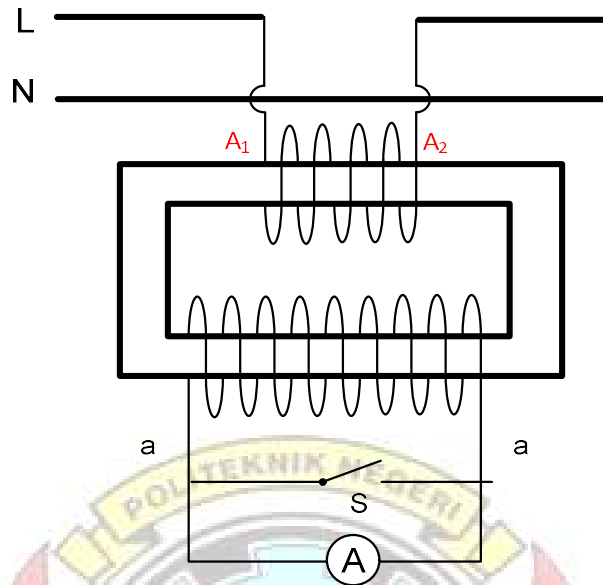
tegangan rendah untuk besaran besaran ukur sesuai dengan alat-alat ukur atau alat proteksi. Jadi transformator tegangan ini hanya berfungsi untuk alat bantu pengukuran atau proteksi saja.



Gambar 2.8 Rangkaian penyambungan transformator tegangan

2.2.6 Transformator Arus

Transformator Arus atau disebut Current Transformen (CT) berfungsi untuk menurunkan arus besar / tinggi pada tegangan tinggi / mencengah menjadi arus kecil pada tegangan rendah yang biasa disebut arus sekunder. Jadi transformator arus ini hanya dipakai untuk alat bantu pengukuran atau proteksi.



Gambar 2.9 Rangkaian penyambungan transformator arus

2.3 Sistem Proteksi

Sistem proteksi 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.

Kegunaan sistem proteksi adalah sebagai 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 (Abdul Kadir, 1987).

Sistem proteksi berfungsi sebagai alat pendeteksi gangguan yang merespon cepat ketika terjadi gangguan pada sistem serta memisahkan bagian sistem yang terganggu supaya bagian sistem lainnya beroperasi secara stabil.

2.3.1 Jenis-jenis Proteksi

Proteksi pada transformator dibagi menjadi 2 bagian utama:

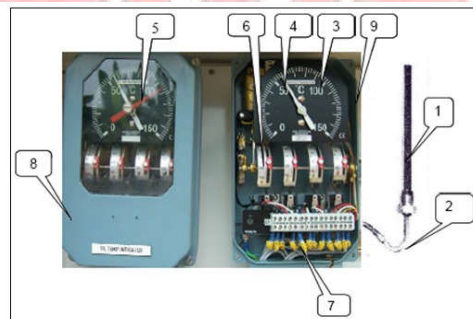
1. Proteksi Mekanik
2. Proteksi Elektrik

1) Proteksi Mekanik

a) Relai Suhu / *Thermal*

Suhu pada transformator yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, losses pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada transformator

Untuk mengetahui suhu operasi dan indikasi ketidaknormalan suhu operasi pada transformator digunakan relai thermal. Relai thermal ini terdiri dari sensor suhu berupa thermocouple, pipa kapiler dan meteran penunjukan.



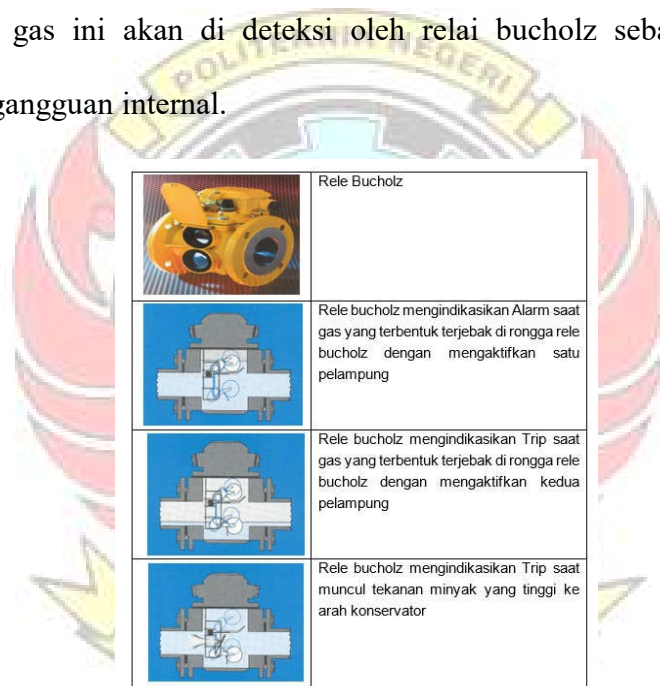
Keterangan :

1. Sensor Suhu
2. Pipa Kapiler
3. Skala Meter
4. Jarum Putih (penunjukan suhu setiap saat)
5. Jarum merah (penunjukan suhu max tercapai)
6. Piringan Cakram
7. Terminasi Kabel
8. Tutup Thermometer
9. Packing / Gasket

Gambar 2.10 Relai Suhu / *Thermal*

b) Relai Bucholz

Pada saat transformator mengalami gangguan internal yang berdampak kepada suhu yang sangat tinggi dan pergerakan mekanis di dalam transformator, maka akan timbul tekanan aliran minyak yang besar dan pembentukan gelembung gas yang mudah terbakar. Tekanan atau gelembung gas tersebut akan naik ke konservator melalui pipa penghubung dan relai bucholz. Tekanan minyak maupun gelembung gas ini akan di deteksi oleh relai bucholz sebagai indikasi telah terjadinya gangguan internal.



Gambar 2.11 Relai Bucholz

c) Relai Jansen

Sama halnya dengan relai bucholz yang memanfaatkan tekanan minyak dan gas yang terbentuk sebagai indikasi adanya ketidaknormalan/gangguan, hanya saja relai ini digunakan untuk memproteksi kompartemen OLTC. Relai ini juga

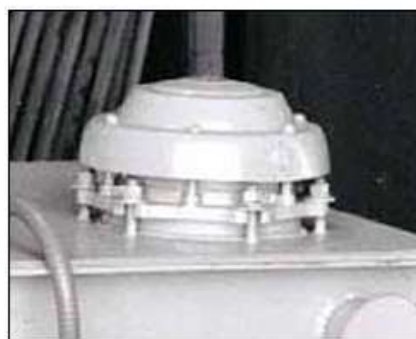
dipasang pada pipa saluran yang menghubungkan kompartement OLTC dengan konservator.



Gambar 2.12 Relai Jansen

d) Relai Sudden Pressure

Relai sudden pressure ini di desain sebagai titik terlemah saat tekanan di dalam trafo muncul akibat gangguan. Dengan menyediakan titik terlemah maka tekanan akan tersalurkan melalui sudden pressure dan titik akan merusak bagian lainnya pada maintank.



Gambar 2.13 Relai Sudden Pressure

2) Proteksi Elektrik

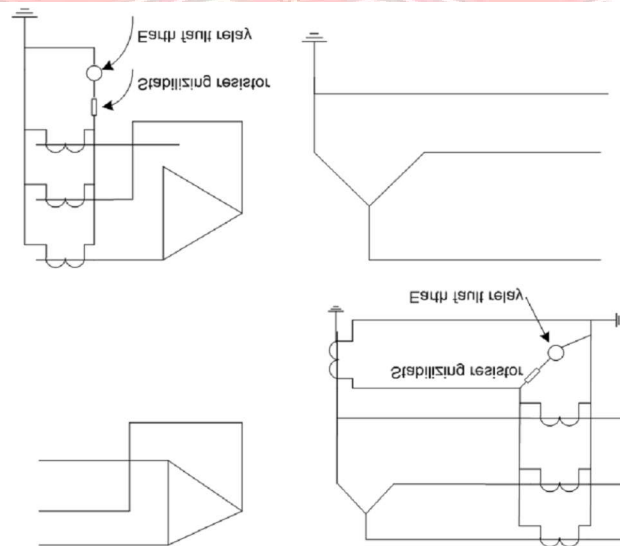
a) Overcurrent Relay & Unrestricted Eart Fault Protection

Overcurrent relay & Unrestricted Eart Fault relay ini dipasang pada sisi primer. Setting overcurrent relay disesuaikan dengan pengaruh magnetizing

inrush current (MIC) koordinasi proteksi dengan relai lain pada sisi hulu rangkaian tersebut. MIC dapat mempunyai modulus yang besarnya mirip dengan arus hubung singkat, hal ini menyebabkan perlu dilakukan perlambatan waktu operasi dari *overcurrent relay* agar tidak bekerja hanya karena MIC ini. Hal ini tentu membuat *relay* tersebut menjadi lebih lambat reaksinya dan ini akan mempengaruhi waktu operasi dari *relay relay* yang terkoordinasi dengannya.

b) Restricted Earth Fault (REF)

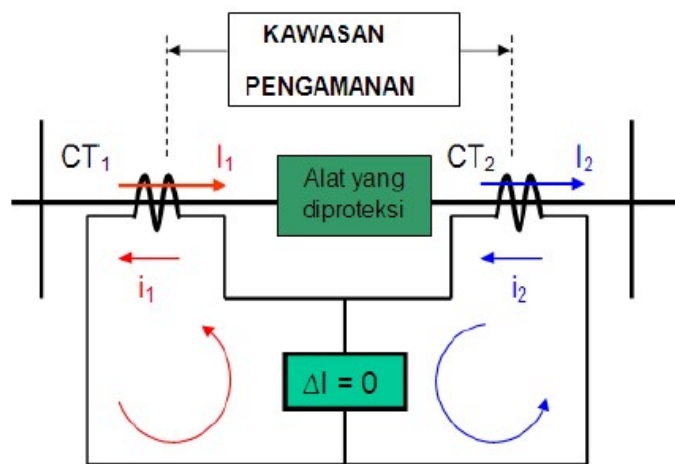
Earth fault merupakan gangguan transformator yang paling sering terjadi. Dengan menggunakan REF, maka top untuk *earth fault* yang terjadi pada internal transformator tidak perlu dikoordinasikan dengan *relay* lain, sehingga REF dapat dibuat sensitive dan dengan waktu operasi yang cepat.



Gambar 2.14 Skema *restricted earth fault relay*

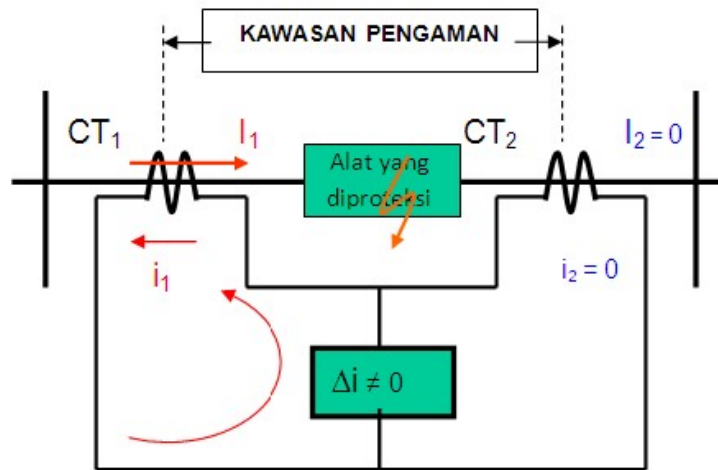
c) Relai Diferensial

Relai diferensial berfungsi 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.



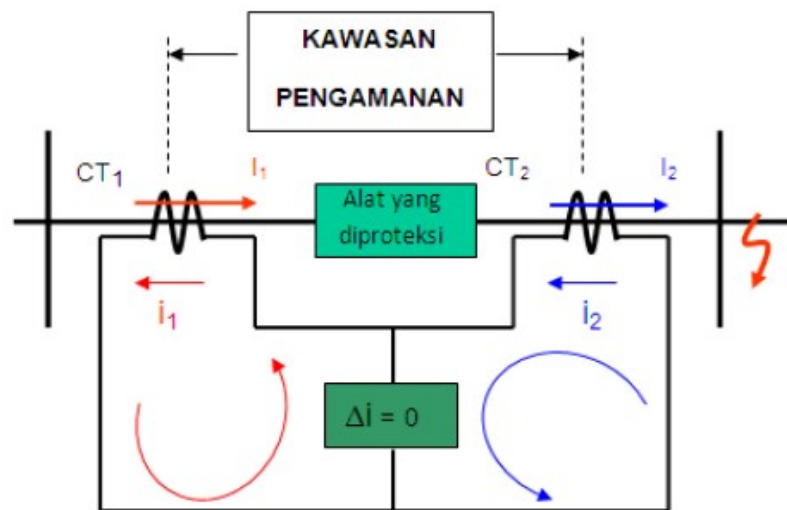
Gambar 2.15 Rangkaian sederhana relai diferensial
(Sumber : Taufik Tribarata Yogi dan Dedeng Herlan : 2014)

Dari Gambar 2.15 dapat dilihat bahwa dengan memilih rasio trafo arus yang tepat dan sesuai, dalam kondisi normal arah arus i_1' dan i_2' adalah berlawanan dan mempunyai besar yang sama sehingga relai diferensial tidak dialiri arus. Jadi relai ini bekerja apabila terjadi perbedaan arus antara kedua sisi sekunder trafo arus.



Gambar 2.16 Relai diferensial dengan gangguan di daerah pengaman
(Sumber : Taufik Tribarata Yogi dan Dedeng Herlan : 2014)

Jika relai diferensial dipasang sebagai proteksi suatu peralatan dan terjadi gangguan di daerah pengamanannya maka relai diferensial harus bekerja, seperti terlihat pada gambar 2.16 . Pada saat CT₁ mengalir arus I_1 maka pada CT₂ tidak ada arus yang mengalir ($I_2 = 0$), disebabkan karena arus gangguan mengalir pada titik gangguan sehingga pada CT₂ tidak ada arus yang mengalir, maka sisi sekunder CT₂ tidak ada arus yang mengalir ($I_2 = 0$), yang mengakibatkan $i_1 \neq i_2$ ($\Delta i \neq 0$) sehingga relai diferensial bekerja.



Gambar 2.17 Relai Diferensial dengan Gangguan di Luar Daerah Pengaman
(Sumber : Taufik Tribarata Yogi dan Dedeng Herlan : 2014)

Apabila terjadi gangguan di luar daerah pengamanannya maka relai diferensial tidak bekerja seperti pada gambar 2.17. Pada saat sisi primer kedua CT dialiri arus I_1 dan I_2 yang sangat besar karena gangguan hubung singkat, besar dan arah arus pada sekunder CT_1 dan CT_2 menunjukkan perbandingan nilai arus pada relai yang besarnya sama ($i_1 = i_2$) atau dengan kata lain tidak ada selisih perbandingan nilai arus yang mengalir pada relai sehingga relai tidak bekerja. Sirkulasi arus gangguan di luar daerah pengaman kerja relai diferensial hanya berpengaruh pada besarnya arus yang mengalir pada sisi sekunder kedua CT tapi dengan besar perubahan arus ($i_1 = i_2$). Arah arus i_1 dan i_2 juga tidak berubah sehingga relai diferensial tidak bekerja karena tidak ada perbedaan arus ($\Delta i = 0$)

- **Teori Perhitungan Matematis *Setting* Relai Diferensial**

Untuk memilih transformator arus dan relai yang diperlukan untuk memproteksi tranformator daya, sebagai acuan untuk mempertimbangkan

seberapa besar faktor keandalan suatu relai dan transformator. Hal yang perlu diperhatikan dalam memilih rasio masing-masing transformator arus yang diperlukan adalah perbedaan perbandingan rating daya (MVA) transformator tersebut, maka rating arus masing-masing kumparan dapat dihitung sebagai berikut:

- **Perhitungan Rasio CT**

Sebelum menentukan rasio CT terlebih dahulu menghitung arus rating (Liem Ek Bien dan Dita Helna, 2007).

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \dots\dots\dots (2-6)$$

I_n atau arus nominal merupakan arus yang mengalir pada masing-masing jaringan (tegangan tinggi dan tegangan rendah). Arus *rating* berfungsi sebagai batas pemilihan rasio CT.

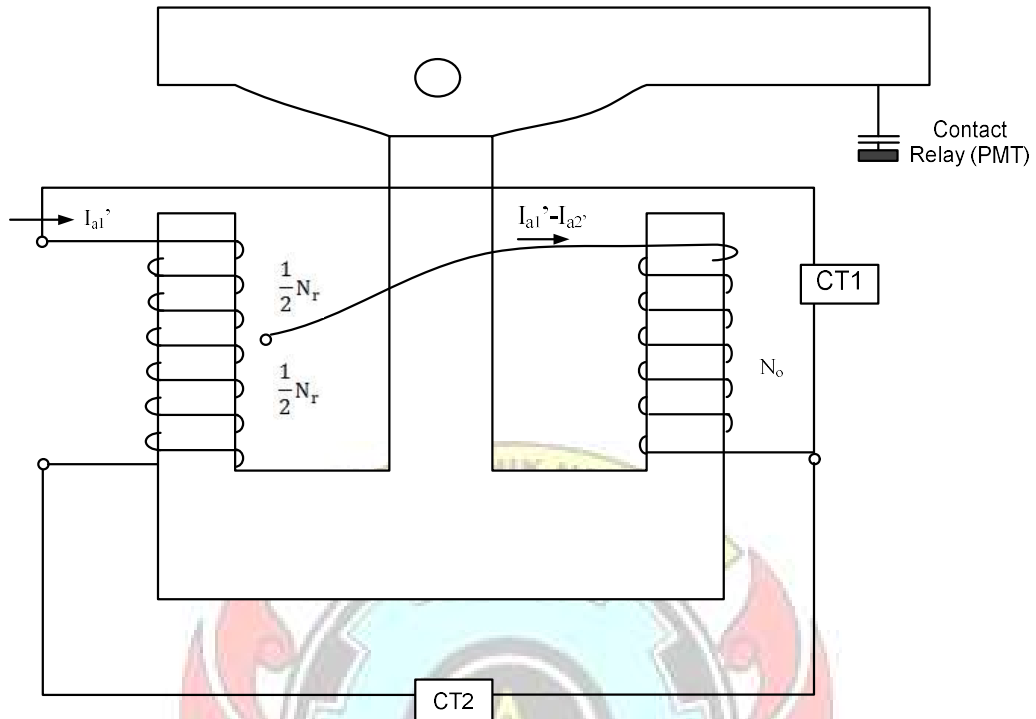
$$I_{rating} = 110\% \times I_{nominal} \dots\dots\dots (2-7)$$

Keterangan :

- I_n = Arus nominal (A)
- S = Daya Tersalur (MVA)
- V = Tegangan pada sisi primer dan sekunder

- **Arus pada Kumparan Restraint**

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



Gambar 2.18 Mekanisme Proteksi Relai Diferensial (Laurasti dan Adhe Puspita : 2016)

Terlihat pada Gambar 2.18 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 :

$$[N_o (I_{a1}' - I_{a2}')]^2 > [N_r (I_{a1}' + I_{a2}')/2]^2 \dots\dots\dots (2-8)$$

Jika pangkat dihilangkan maka :

$$|I_{a1}' - I_{a2}'| > \frac{N_r}{N_o} |(I_{a1}' + I_{a2}')/2| \dots\dots\dots (2-9)$$

$$|I_{a1}' - I_{a2}'| > k |(I_{a1}' + I_{a2}')/2| \dots\dots\dots (2-10)$$

Dimana:

$$k = N_r / N_a$$

Syarat utama bekerjanya relai yaitu :

$$|I_{a1}' - I_{a2}'| > k |(I_{a1}' + I_{a2}') / 2| \dots\dots\dots (2-11)$$

Jika $I_{a2}' > I_{a1}'$:

$$I_{a2}' - I_{a1}' > k (I_{a1}' + I_{a2}') / 2 \dots\dots\dots (2-12)$$

$$I_{a2}' - I_{a1}' > \frac{k I_{a1}'}{2} + \frac{k I_{a2}'}{2} \dots\dots\dots (2-13)$$

$$2I_{a2}' - 2I_{a1}' > k I_{a1}' + k I_{a2}' \dots\dots\dots (2-14)$$

$$I_{a2}' (2 - k) > I_{a1}' (k + 2) \dots\dots\dots (2-15)$$

$$I_{a2}' > \frac{2+k}{2-k} I_{a1}' \dots\dots\dots (2-16)$$

maka :

$$I_{a2}' > \frac{2+k}{2-k} I_{a1}' \text{ untuk } I_{a2}' > I_{a1}' \dots\dots\dots (2-17)$$

Jika $I_{a2}' < I_{a1}'$:

$$I_{a1}' - I_{a2}' > \frac{k I_{a1}'}{2} + \frac{k I_{a2}'}{2} \dots\dots\dots (2-18)$$

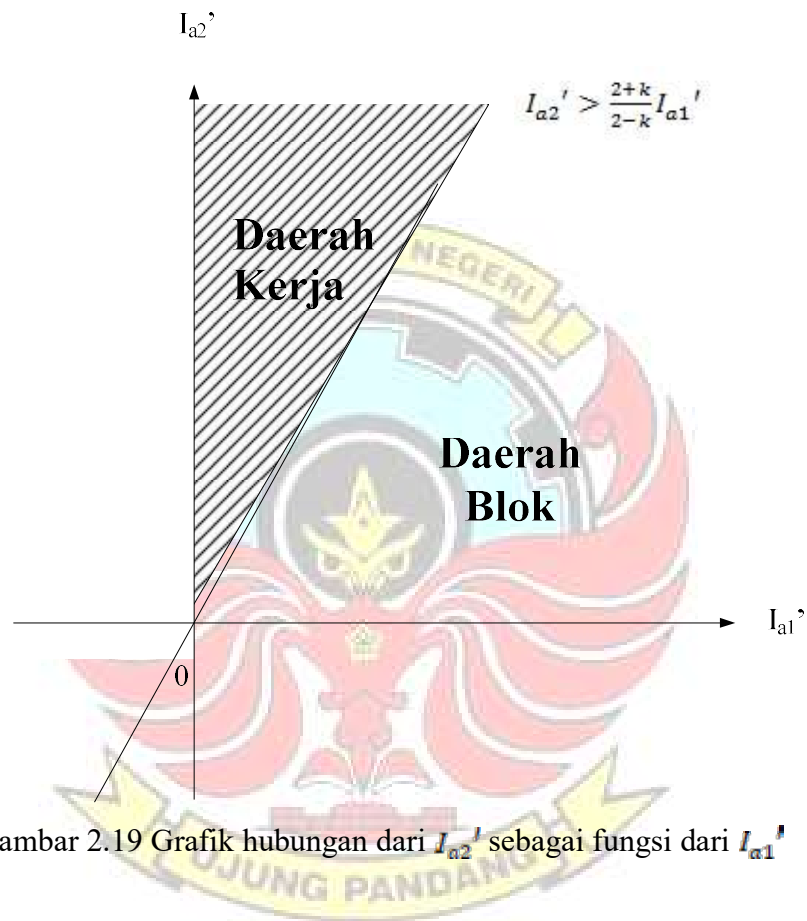
$$2I_{a1}' - 2I_{a2}' > k I_{a1}' + k I_{a2}' \dots\dots\dots (2-19)$$

$$(k + 2) I_{a2}' > (2 - k) I_{a1}' \dots\dots\dots (2-20)$$

maka :

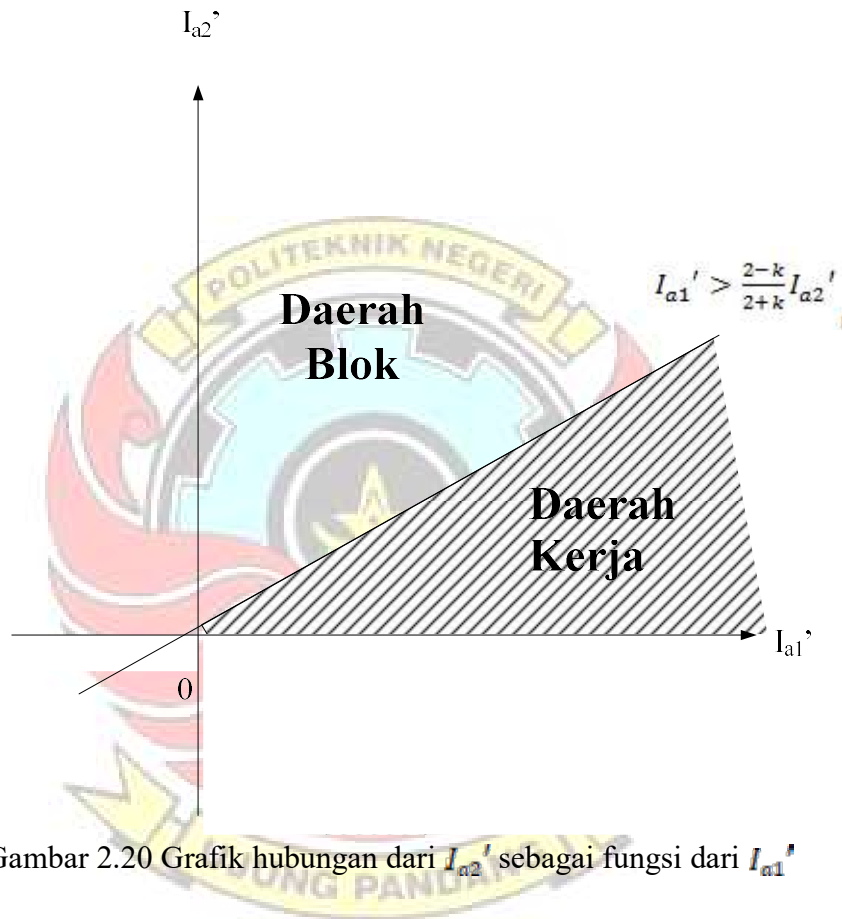
$$I_{a1}' > \frac{2-k}{2+k} I_{a2}' \text{ untuk } I_{a2}' < I_{a1}' \dots\dots\dots (2-21)$$

Pada persamaan (2-17) dapat ditentukan grafik dari I_{a2}' sebagai fungsi dari I_{a1}' jika $I_{a2}' > I_{a1}'$ yaitu sebagai berikut:



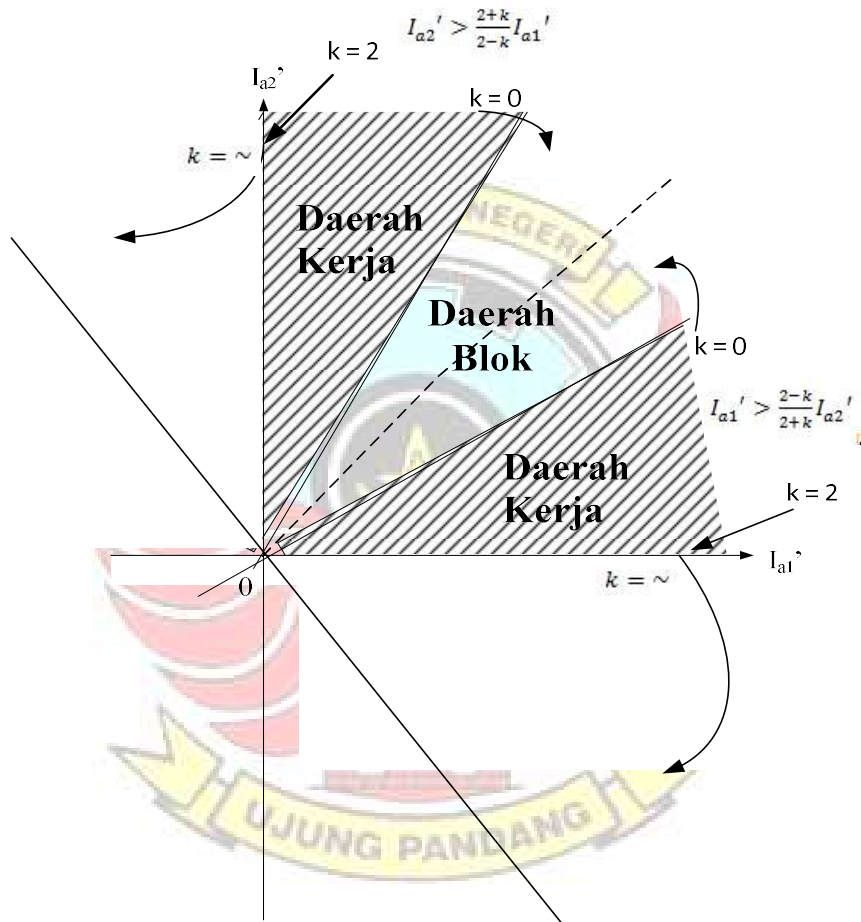
Gambar 2.19 Grafik hubungan dari I_{a2}' sebagai fungsi dari I_{a1}'

Pada persamaan (2-21) dapat juga ditentukan grafik dari I_{a2}' sebagai fungsi dari I_{a1}' jika $I_{a2}' < I_{a1}'$ yaitu sebagai berikut:



Gambar 2.20 Grafik hubungan dari I_{a2}' sebagai fungsi dari I_{a1}'

Jika grafik untuk $I_{a2}' > I_{a1}'$ berimpit dengan sumbu I_{a2}' maka $k = 2$ dan jika grafik untuk $I_{a2}' < I_{a1}'$ berimpit dengan sumbu I_{a1}' maka $k = 2$.



Gambar 2.21 Grafik hubungan dari I_{a2}' sebagai fungsi dari I_{a1}'

Apabila ditemukan kasus $I_{a2}' > I_{a1}'$ maka :

$$I_{a1}' = \frac{I_{pm}}{n_1} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_p \times n_1} \dots\dots\dots (2-22)$$

$$I_{a2}' = \frac{\sqrt{3} \times I_{2m}}{n_2} = \frac{S}{V_2 n_2} \dots\dots\dots (2-23)$$

$$\frac{s}{V_2 n_2} > \frac{s}{\sqrt{3} \times V_p \times n_1} \dots\dots\dots (2-24)$$

$$\frac{1}{V_2 n_2} > \frac{1}{\sqrt{3} \times V_p \times n_1} \text{ atau } \frac{V_2 \times n_2}{\sqrt{3} \times V_p \times n_1} < 1 \dots\dots\dots (2-25)$$

$$n_2 < \frac{\sqrt{3} \times V_p}{V_2} \times n_1 \dots\dots\dots (2-26)$$

Nilai $k = \frac{N_r}{N_o}$ dapat dihitung sebagai berikut :

$$k = \frac{2 |\text{selisih nilai arus}|}{\text{jumlah nilai arus}} = \frac{2 |I_{a2} - I_{a1}|}{I_{a2} + I_{a1}}$$

$$= \frac{2 \left(\frac{s}{V_2 \times n_2} - \frac{s}{\sqrt{3} \times V_p \times n_1} \right)}{\frac{s}{\sqrt{3} \times V_p \times n_1} + \frac{s}{V_2 \times n_2}} = \frac{2 (n_1 \times V_p \times \sqrt{3} - V_2 \times n_2)}{n_1 \times V_p \times \sqrt{3} + V_2 \times n_2} \dots\dots\dots (2-27)$$

Dan apabila ditemukan kasus $I_{a2} < I_{a1}$ maka :

$$\frac{s}{V_2 n_2} < \frac{s}{\sqrt{3} \times V_p \times n_1} \dots\dots\dots (2-28)$$

$$\frac{1}{V_2 n_2} < \frac{1}{\sqrt{3} \times V_p \times n_1} \text{ atau } \frac{V_2 \times n_2}{\sqrt{3} \times V_p \times n_1} > \dots\dots\dots (2-29)$$

$$n_2 > \frac{\sqrt{3} \times V_p}{V_2} \times n_1 \dots\dots\dots (2-30)$$

2.4 Gangguan Hubung Singkat

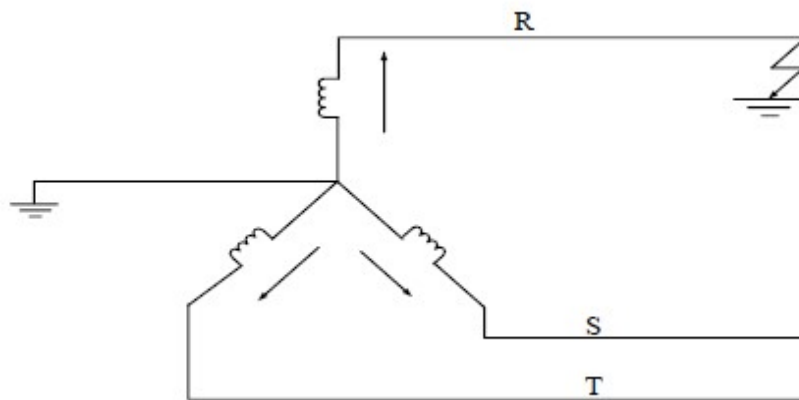
Gangguan hubung singkat mungkin terjadi pada setiap titik didalam sistem, yang diketahui terutama adalah besarnya arus gangguan hubung singkat pada setiap cabang (bisa di transmisi, distribusi, trafo maupun sumber pembangkit). Besar arus atau tegangan hasil analisa inilah yang diperlukan oleh *engineer* proteksi untuk penyetelan proteksi, sehingga bila gangguan hubung singkat itu benar-benar terjadi didalam sistem, peralatan proteksi dapat bekerja mengamankan bagian sistem yang

terganggu sesuai yang diharapkan. Karena setiap gangguan menyebabkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem yang dapat merusak peralatan listrik apabila tidak segera ditangani. Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam jaringan (sistem kelistrikan) ada 3, yaitu :

1. Gangguan hubung singkat 3 fasa
2. Gangguan hubung singkat 2 fasa, dan
3. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.

1) Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

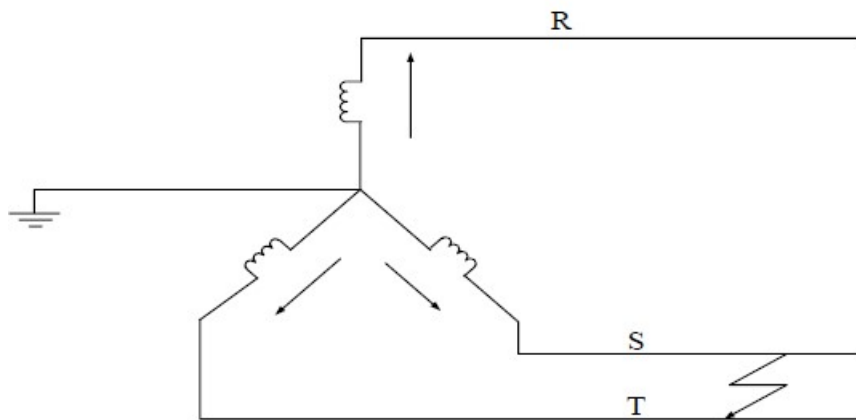
Kemungkinan terjadinya gangguan satu fasa ke tanah adalah *back flashover* antara tiang ke salah satu kawat transmisi dan distribusi. Sesaat setelah tiang tersambar petir yang besar walaupun tahanan kaki tiangnya cukup rendah namun bias juga gangguan fasa ke tanah ini terjadi sewaktu salah satu kawat fasa transmisi / distribusi tersentuh pohon yang cukup tinggi dll.



Gambar 2.22 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

2) Gangguan hubung singkat dua fasa

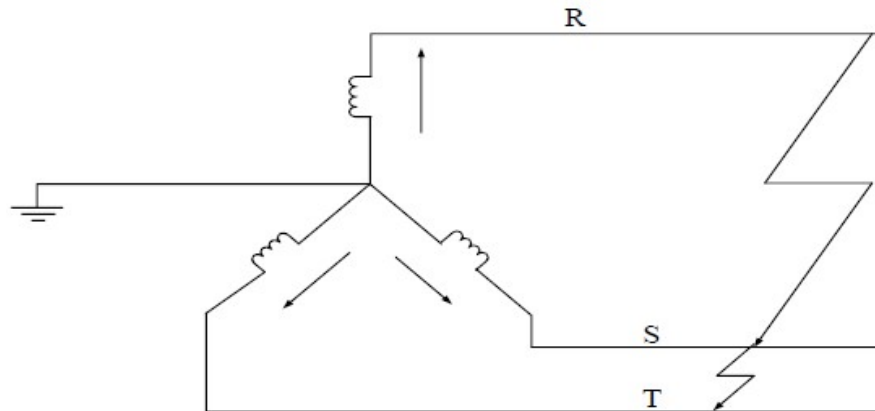
Kemungkinan terjadinya gangguan 2 fasa disebabkan oleh putusnya kawat fasa tengah pada transmisi atau distribusi. Kemungkinan lainnya adalah dari rusaknya isolator di transmisi atau distribusi sekaligus 2 fasa. Gangguan seperti ini biasanya mengakibatkan 2 fasa ke tanah.



Gambar 2.23 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

3) Gangguan hubung singkat tiga fasa

Gangguan tiga fasa adalah gangguan dalam sistem tenaga listrik yang jarang terjadi, tetapi dalam analisisnya harus tetap diperhitungkan. Diagram rangkaian untuk suatu gangguan tiga fasa dengan asumsi gangguan terjadi pada semua fasa.



Gambar 2.24 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Dalam menghitung gangguan hubung singkat pada sistem tiga-fasa dapat dihitung berdasarkan pada sisi generator dan sisi transformator (Laurasti dan Adhe Puspita : 2016).

Berdasarkan perhitungan pada sisi generator yaitu :

$$S_{1-base} = S_g \dots\dots\dots (2-31)$$

$$V_{1-base} = V_g \dots\dots\dots (2-32)$$

$$I_{base} = \frac{S_g}{\sqrt{3} \cdot V_p} \dots\dots\dots (2-33)$$

Menentukan nilai reaktansi

$$X_{g,baru} = X_g \dots\dots\dots (2-34)$$

$$X_{t,baru} = X_t \cdot \frac{S_g}{S_t} \rightarrow X_{pu} = X_{g,baru} + X_{t,baru} = X_g + \frac{X_t S_g}{S_t} = pu \dots\dots\dots (2-35)$$

Arus hubung singkat dalam sistem per unit :

$$I_f(pu) = \frac{V_f}{X_{pu}} = \frac{1}{X_g + \frac{X_t X_g}{S_t}} = \frac{S_t}{X_g S_t + X_t S_g} \dots\dots\dots (2-36)$$

Arus hubung singkat keseluruhan :

$$I_f = I_{f(pu)} \cdot I_{base} = \frac{S_t}{X_g S_t + X_t S_g} \cdot \frac{S_g}{\sqrt{3} \cdot V_s} = \frac{S_t X_t}{V_p (X_g S_t + X_t S_g) \sqrt{3}}$$

$$I_f = \frac{1}{V_p \left(\frac{X_g}{S_g} + \frac{X_t}{S_t} \right) \sqrt{3}} \dots \dots \dots (2-37)$$

Menghitung arus hubung singkat berdasarkan pada sisi transformator:

$$S_{2-base} = S_t \dots \dots \dots (2-38)$$

$$V_{2-base} = V_g \dots \dots \dots (2-39)$$

$$I_{base} = \frac{S_g}{\sqrt{3} \cdot V_p} \dots \dots \dots (2-40)$$

Menentukan nilai reaktansi :

$$X_{g.baru} = X_g \cdot \frac{S_g}{S_t} \dots \dots \dots (2-41)$$

$$X_{t.baru} = X_t \rightarrow X_{pu} = X_{g.baru} + X_{t.baru} = X_g \cdot \frac{S_t}{S_g} + X_t \dots \dots \dots (2-42)$$

Arus hubung singkat dalam sistem per unit :

$$I_{f(pu)} = \frac{V_f}{X_{pu}} = \frac{1}{X_g \frac{S_t}{S_g} + X_t} = \frac{S_t}{X_g X_t + X_t X_g} \dots \dots \dots (2-43)$$

Arus hubung singkat keseluruhan :

$$I_f = I_{f(pu)} \cdot I_{base} = \frac{S_t \cdot S_g}{V_p (X_g S_t + X_t X_g)}$$

$$I_f = \frac{1}{V_s \left(\frac{X_g}{S_g} + \frac{X_t}{S_t} \right) \sqrt{3}} \dots \dots \dots (2-44)$$

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)

$X_{g,baru}$ = Reaktansi baru generator (pu)

X_t = Reaktansi transformator (pu)

$X_{t,baru}$ = Reaktansi baru transformator (pu)

$I_{f(pu)}$ = Arus gangguan hubung singkat dalam satuan sistem per unit (pu)

I_f = Arus gangguan hubung singkat (A)

$S_{2-base} = S_t$ = Daya dasar kedua transformator (MVA)

$V_{2-base} = V_g$ = Tegangan dasar kedua transformator (V)

2.5 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.

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.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Proyek PLTA Malea Energy unit PLTM Malea (2x5,5MW) Lembang Randan Batu, Kecamatan Makale Selatan, Kabupaten Tana Toraja Provinsi Sulawesi Selatan.

3.2 Objek Penelitian

Dalam hal ini penulis melakukan penelitian mengenai penggunaan relai diferensial sebagai proteksi transformator dengan membandingkan perhitungan nilai teori dan data aktual pada Pembangkit Listrik Tenaga *Minihydro* (PLTM) di PT. Malea Energy serta melakukan simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6.0.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Cara yang digunakan dalam pengambilan data pada penelitian ini adalah:

1) Teknik Observasi (*Field Research*)

Penulis melakukan penelitian secara langsung di lapangan terhadap transformator daya untuk memperoleh data-data yang akan diperlukan khususnya pada sub unit pembangkitan PLTM.

2) Studi Dokumen

Penulis mengumpulkan dokumen-dokumen dengan membaca dan mempelajari terkait sistem proteksi transformator.

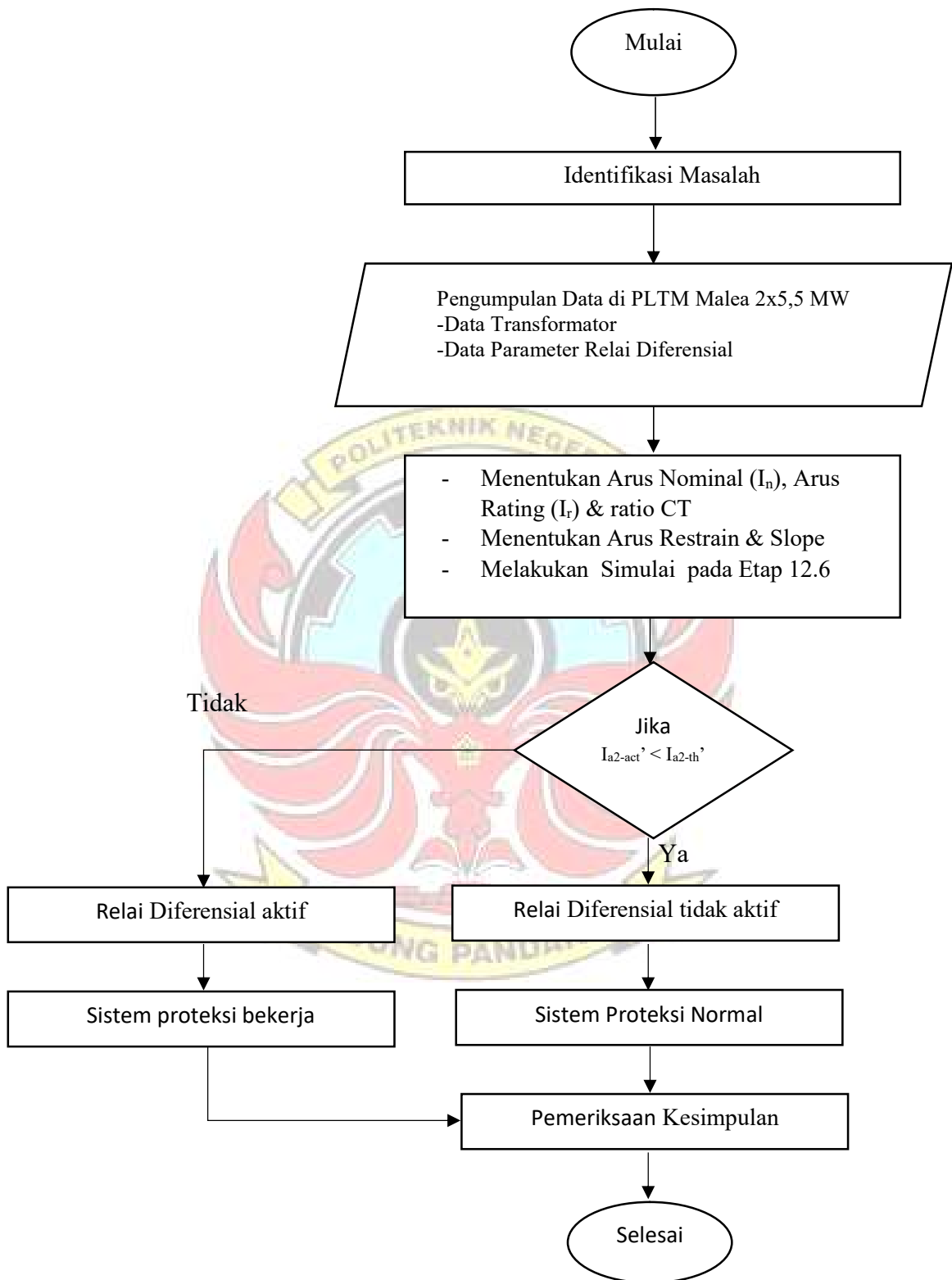
3) Wawancara (*Interview*)

Mengumpulkan data yang dilakukan oleh peneliti dengan menanyakan langsung tentang hal-hal yang berkaitan dengan transformator daya pada Pembangkit Listrik Tenaga Minihydro (PLTM) di PT. Malea Energy.

3.4 Prosedur Penelitian

Langkah – langkah proses penelitian mengenai sistem proteksi transformator pada PLTM Malea secara umum dapat di lihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 *Flow chart* prosedur penelitian

3.5 Teknik Analisis Data

Data transformator yang diperoleh dari sistem PLTM unit 5 dan 6 kemudian dianalisis dan dievaluasi tentang hasil perhitungan *setting differential relay* pada transformator dari sistem proteksi yang digunakan, dan dilakukan perbandingan dengan data aktual yang terpasang di PT. Malea Energy. Apabila hasil perhitungan sesuai dengan data aktual, maka dapat dipastikan bahwa sistem proteksi *differential relay* pada *main transformer* sudah handal terhadap gangguan yang akan terjadi baik gangguan internal dan eksternal.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Pengamatan yang Diproteksi

Peralatan yang diproteksi adalah transformator tiga fasa yang terdapat pada unit 5 dan unit 6 Pembangkit Listrik Tenaga *Minihydro* (PLTM) Malea. Berikut adalah name plate yang terdapat pada transformator tiga fasa unit 5 dan unit 6 dan keduanya memiliki spesifik name plate yang sama.

4.1.1 Name plate transformator unit 5 dan unit 6 Pembangkit Listrik Tenaga *Minihydro* (PLTM) Malea:

Tabel 4.1 Data sheet Transformator Daya unit 5 dan 6 PLTM Malea

Type	S11-
Rated capacity	8 MVA
Rated voltage	6,3 / 20 kV
Rated current	733,1 / 230,9 kV
Rated frequency	50 Hz
EX-Works No (trafo unit 5)	17040418
EX-Works No (trafo unit 6)	17040419
Phase	3
Vector	YNd5
Voltage adjusting scope	$20 \pm 2 \times 2,5 \%$
Cool method	ONAN

4.1.2 Data Pengamatan Relai Proteksi

Tabel 4.2 Data Sheet Aktual Relai Diferensial

Merk	Hunan UnisPlendour M&C Co., Ltd.
Type	DCAP-5580C (2D)
Serial No.	1704N01422
Power Supply	DC110V
Rated Input	100V/5A/50Hz
Inspector	770
Date	2017.04.27
I_n	4,2 A

4.2 Pembahasan

4.2.1 Menentukan Besaran-Besaran Arus Nominal dan Besaran Rating pada Transformator

Dengan menggunakan data *real* transformator dalam operasi normal maka dapat dihitung nilai arus primer dan sekunder sesuai pada persamaan (7).

Dari data transformator yang ada, diketahui nilai $S = 8 \text{ MVA}$, $V_p = 6,3 \text{ kV (LL)}$ dan nilai $V_s = 20 \text{ kV (LL)}$

maka :

Arus pada sisi 6,3 kV

$$I_{pn} = \frac{S}{V \times \sqrt{3}} = \frac{8 \times 10^6}{6,3 \times 10^3 \times \sqrt{3}} = 733,143 \text{ A}$$

Dari persamaan (2-8) didapatkan :

$$I_{p(\text{rating})} = 110 \% \times I_{pn} = 110 \% \times 733,143 = 806,457 \text{ A}$$

Arus pada sisi 20 kV

$$I_{sn} = \frac{S}{V \times \sqrt{3}} = \frac{8 \times 10^6}{20 \times 10^3 \times \sqrt{3}} = 230,940 \text{ A}$$

Dari persamaan (2-8) didapatkan :

$$I_{s(\text{rating})} = 110 \% \times I_{sn} = 110 \% \times 230,940 = 254,034 \text{ A}$$

4.2.2 Menghitung Arus di Sisi Primer Transformator Berdasarkan Arus di Sisi Sekunder yang telah diketahui dari Hasil Pencatatan Daya Pembangkitan.

Sebagai contoh dari data pertama Tabel 4.3 pukul 00.30 untuk tanggal 14 Agustus 2020 karena hanya diketahui arus sisi sekunder transformator dayanya maka dihitung arus di sisi primer. Dengan nilai $I_s = 148,3 \text{ A}$ dan $V_s = 21 \text{ kV}$

Maka;

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{V_{sn}}{V_{pn}} \times I_s \\ &= \frac{20}{6,3} \times 148,3 \\ &= 470,79365 \text{ A} \end{aligned}$$

Untuk tegangan di sisi primer:

$$\begin{aligned} V_p &= \frac{V_s}{V_{sn}} \times V_{pn} \\ &= \frac{21}{20} \times 6,3 \\ &= 6,615 \text{ kV} \end{aligned}$$

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

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \text{ atau } S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{3} \times V_s \times I_s \\ &= \sqrt{3} \times 21 \times 144,3 \\ &= 5394,126 \text{ MVA} \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{P^2 + Q^2} \\ S &= 1000 \times \sqrt{(5,510)^2 + (0,377)^2} \\ &= 5522,882 \text{ MVA} \end{aligned}$$

maka nilai arus di sisi primer adalah :

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V_p} \\ &= \frac{5394,126}{\sqrt{3} \times 6,615} \\ &= 470,794 \text{ A} \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V_p} \\ &= \frac{5522,882}{\sqrt{3} \times 6,615} \\ &= 482,03135 \text{ A} \end{aligned}$$

Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil perhitungan arus di sisi primer pada transformator unit 6 ($V_{pn}=6,3$ kV dan $V_{sn}=20$ kV).

Pukul	Waktu	Sekunder Transformator				S (kVA)		V_p (kV)	Arus Primer	
		P (MW)	Q (MVar)	V_s (kV)	I_s (A)	$S=\sqrt{3} \times V \times I$	$S=\sqrt{P^2 + Q^2}$		I_p (A)	I_p (A)
00:30	14 Agustus 2020	5,510	0,377	21	148,3	5394,126	5522,882	6,615	470,794	482,0314
08:00		4,072	0,537	21	102,6	3731,877	4107,256	6,615	325,714	478,672
08:30		4,029	0,660	21	103,3	3757,339	4082,700	6,615	327,937	356,334
07:00		4,527	0,586	21	125	4546,633	4564,77	6,615	396,825	398,408
22:00		5,040	0,841	21	140	5092,229	5109,685	6,615	444,444	445,968
01:00	15 Agustus 2020	5,002	0,570	21	140	5092,229	5034,372	6,615	444,444	439,395
02:00		4,065	0,406	21	110	4001,037	4085,225	6,615	349,206	356,554
06:30		4,184	0,466	21	110	4001,037	4209,871	6,615	349,206	367,433
14:30		4,145	0,795	21	110	4001,037	4220,551	6,615	349,206	368,365
23:00		4,187	0,599	21	110	4001,037	4229,630	6,615	349,206	369,158
01:30	16 Agustus 2020	4,870	0,486	21	110	4001,037	4894,190	6,615	349,206	427,16
03:00		5,491	0,499	21	140	5092,229	5513,627	6,615	444,444	481,224
03:30		4,596	0,715	21	120	4364,768	4651,284	6,615	380,952	405,959
06:30		4,029	0,844	21	116,6	4241,099	4116,452	6,615	370,159	359,28
13:00		4,690	0,587	21	136,6	4968,561	4726,592	6,615	433,651	412,532
01:00	17 Agustus 2020	4,623	0,487	21	120	4364,768	4648,580	6,615	380,952	405,723
02:00		4,586	0,461	21	120	4364,768	4609,112	6,615	380,952	402,279
10:00		5,088	0,851	21	130	4728,499	5158,677	6,615	412,698	450,243
11:00		5,536	0,655	21	150	5455,960	5574,614	6,615	476,190	486,546
13:00		5,518	0,663	21	150	5455,960	5557,688	6,615	476,190	485,091
00:30	18 Agustus 2020	5,002	0,492	21	160	5819,691	5026,138	6,615	507,937	438,676
05:30		3,792	0,631	21	106,6	3877,369	3844,142	6,615	338,413	335,513
11:30		3,945	0,385	21	83,3	3029,876	3963,742	6,615	264,444	345,951
17:00		3,742	0,377	21	100	3637,307	3760,943	6,615	317,460	328,251
18:30		4,165	0,494	21	110	4001,037	4194,193	6,615	349,206	366,065

4.2.3 Menentukan Rasio Transformator Arus Berdasarkan Besaran Nominal

Berdasarkan *Main Transformator* Unit 5 dan Unit 6, hubungan belitan pada transformator tersebut yaitu hubungan delta-wye, tegangan di sisi primer 6,3 kV dan di sisi sekunder 20 kV. Sedangkan pada transformator arus hubungan belitannya yaitu wye-delta dimana pada saat keadaan normal relai diferensial tidak bekerja.

Dari nilai $I_{pn} = 733,143$ A maka :

- Pilih $n_1 = \frac{750}{5}$ = rasio transformator arus pada sisi primer.

Sekunder dari transformator-transformator arus pada sisi 6,3 kV adalah terhubung Y.

Dari nilai $I_{sn} = 230,940$ A maka :

- Pilih $n_2 = \frac{250}{5}$ = rasio transformator arus pada sisi sekunder.

Sekunder dari transformator-transformator arus pada sisi 20 kV adalah terhubung Δ .

4.2.4 Menentukan Rasio Transformator Arus Berdasarkan Besaran Rating

Berdasarkan *Main Transformator* Unit 5 dan Unit 6, hubungan belitan pada transformator tersebut yaitu hubungan delta-wye, tegangan di sisi primer 6,3 kV dan di sisi sekunder 20 kV. Sedangkan pada transformator arus hubungan belitannya yaitu wye-delta dimana pada saat keadaan normal relai diferensial tidak bekerja.

Dari nilai $I_{p(\text{rating})} = 806,457 \text{ A}$

➤ Pilih $n_1 = \frac{1000}{5}$ = rasio transformator arus pada sisi primer.

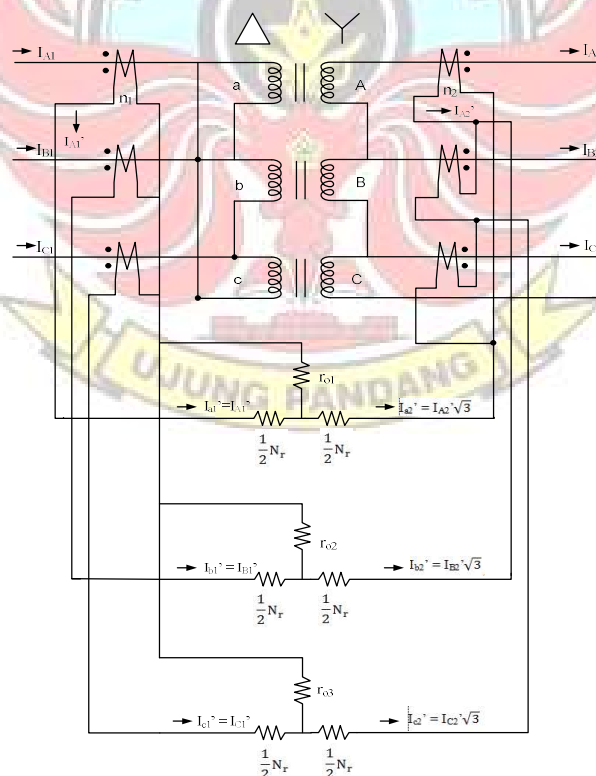
Sekunder dari transformator-transformator arus pada sisi 6,3 kV adalah terhubung Y.

Dari nilai $I_{s(\text{rating})} = 254,034 \text{ A}$

➤ Pilih $n_2 = \frac{300}{5}$ = rasio transformator arus pada sisi sekunder.

Sekunder dari transformator-transformator arus pada sisi 20 kV adalah terhubung Δ .

4.2.5 Menentukan Arus pada Kumparan Restraint Relai Diferensial



Gambar 4.2 Ilustrasi Transformator dengan Proteksi Relai Diferensial (Laurasti dan Adhe Puspita : 2016:52)

Pada Gambar 4.2 menunjukkan saat belitan transformator terhubung delta-wye maka belitan sekunder dari ketiga transformator arus pada sisi tegangan rendah harus terhubung Y, sementara belitan sekunder dari ketiga transformator arus pada sisi tegangan tinggi harus terhubung Δ .

1) Arus Kumparan Restraint Berdasarkan Besaran Nominal.

Misalkan I_{a1}' , I_{a2}' adalah arus-arus yang lewat pada kumparan restraint maka pada:

Sisi tegangan rendah, terhubung Y :

Dari data relai proteksi diketahui $I_n = 4,2 A$

$$I_{a1}' = I_{A1}' = \frac{I_{pn}/n_1}{I_n} = \frac{733,143/150}{4,2} = 1,164 A$$

Sisi tegangan tinggi, terhubung Δ

$$I_{a2}' = \sqrt{3} I_{A2}' = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{pn}/n_2}{I_n} = \frac{\sqrt{3} \cdot 230,940/50}{4,2} = 1,905 A$$

2) Arus Kumparan Restraint Berdasarkan Besaran Rating.

Misalkan I_{a1}' , I_{a2}' adalah arus-arus yang lewat pada kumparan restraint maka pada:

Sisi tegangan rendah, terhubung Y :

Dari data relai proteksi diketahui $I_n = 4,2 A$

$$I_{a1}' = I_{A1}' = \frac{I_{p(rating)}/n_1}{I_n} = \frac{806,457/200}{4,2} = 0,960 A$$

Sisi tegangan tinggi, terhubung Δ

$$I_{a2}' = \sqrt{3} I_{A2}' = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{2(\text{rating})}/n_2}{I_n} = \frac{\sqrt{3} \cdot 254,034/60}{4,2} = 1,746 \text{ A}$$

4.2.6 Menentukan Percent Slope (Setting Kecuraman) Berdasarkan Arus-arus Kumparan Restrain

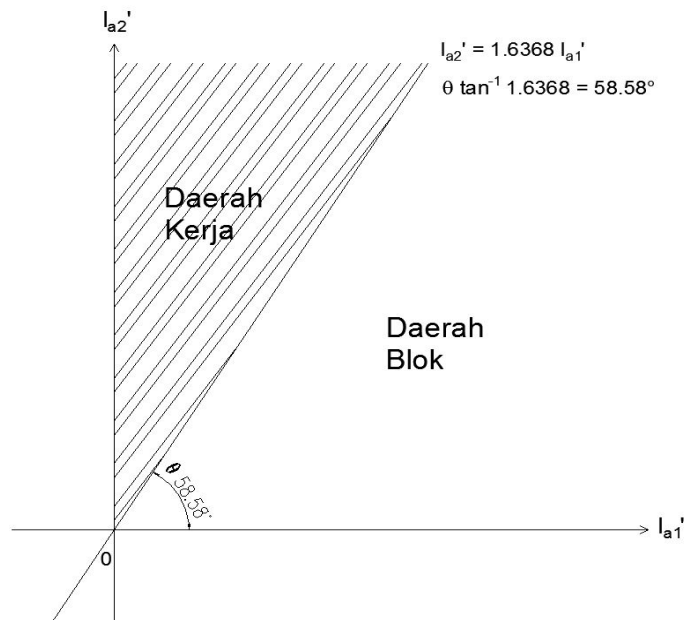
1) Berdasarkan Besaran Nominal

Nilai batas untuk k dapat ditentukan dengan menerapkan persamaan (27) :

$$k = \frac{|I_{a2}' - I_{a2}'|}{\frac{1}{2}(I_{a1}' + I_{a2}')} = \frac{|1,164 - 1,905|}{0,5(1,164 + 1,905)} = 0,483$$

Grafik dari I_{a2}' sebagai fungsi dari I_{a1}' dapat dilihat berdasarkan persamaan (21) yang dalam hal ini :

$$I_{a2}' = \frac{2+k}{2-k} \times I_{a1}' = \frac{2+0,483}{2-0,483} \times I_{a1}' = 1,6368 I_{a1}'$$



Gambar 4.3 Grafik hubungan dari I_{a2}' sebagai fungsi dari I_{a1}' berdasarkan besaran nominal transformator

Sebagai contoh dari data pertama Tabel 4.3 pukul 00.30 untuk tanggal 14 Agustus 2020 karena hanya diketahui arus sekunder transformator dayanya maka terlebih dahulu dihitung arus di sisi primer.

$$I_s = 148,3 \text{ A}$$

$$I_p = \frac{V_s}{V_p} \times I_s$$

$$= \frac{20}{6,3} \times 148,3$$

$$= 470,79365 \text{ A}$$

Karena dipilih $n_1 = 150$ dan $n_2 = 50$ dan dari data relai proteksi diketahui $I_n = 4,2 \text{ A}$, jadi setiap arus melewati sekunder transformator arus dibagi 4,2 maka :

$$I_{a1}'_{-act} = I_{A1}' = \frac{I_p/n_1}{I_n}$$

$$= \frac{470,79365/150}{4,2}$$

$$= 0,7473 \text{ A}$$

$$I_{a2}'_{-act} = \sqrt{3} \times I_{A2}' = \frac{\sqrt{3} \cdot I_s/n_2}{I_n}$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 148,3/50}{4,2}$$

$$= 1,22316 \text{ A}$$

Secara teoritis dapat dihitung :

$$I_{a2}'_{-th} = 1,6368 \times I_{a1}'_{-act}$$

$$= 1,6368 \times 0,7473$$

$$= 1,22318 \text{ A}$$

Karena $I_{a2}'_{-act} < I_{a2}'_{-th}$ maka relai tidak akan bekerja karena berada dalam daerah blok pada Gambar 4.3. Hasil-hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.4



Tabel 4.4 Penentuan bekerja tidaknya relai pada rasio transformator arus yang ditentukan berdasarkan besaran nominal transformator unit 6 ($n_1 = 150$, $n_2 = 50$) untuk $V_p = 6,3 \text{ kV}$; $V_s = 20 \text{ kV}$; $S = 8 \text{ MVA}$

No.	Waktu	I_s (A)	I_p (A)	I_{a1}' (A)	$I_{a2}'\text{-act}$ (A)	$I_{a2}'\text{-th}$ (A)	Unjuk Kerja Relai
1	14 Agustus 2020	148,3	470,79365	1,16372	1,22315	1,22318	Tidak Bekerja
2		102,6	325,71429	1,16372	0,8462305	0,8462367	Tidak Bekerja
3		103,3	327,93651	1,16372	0,8520040	0,8520102	Tidak Bekerja
4		125	396,82539	1,16372	1,0309826	1,0309901	Tidak Bekerja
5		140	444,44444	1,16372	1,1547005	1,1547089	Tidak Bekerja
6	15 Agustus 2020	140	444,44444	1,16372	1,1547005	1,1547089	Tidak Bekerja
7		110	349,20635	1,16372	0,9072647	0,9072714	Tidak Bekerja
8		110	349,20635	1,16372	0,9072647	0,9072714	Tidak Bekerja
9		110	349,20635	1,16372	0,9072647	0,9072714	Tidak Bekerja
10		110	349,20635	1,16372	0,9072647	0,9072714	Tidak Bekerja
11	16 Agustus 2002	110	349,20635	1,16372	0,9072647	0,9072714	Tidak Bekerja
12		140	444,44444	1,16372	1,1547005	1,1547089	Tidak Bekerja
13		120	380,95238	1,16372	0,9897433	0,9897506	Tidak Bekerja
14		116,6	370,15873	1,16372	0,9617006	0,9617076	Tidak Bekerja
15		136,6	433,65079	1,16372	1,1266578	1,1266661	Tidak Bekerja
16	17 Agustus 2020	120	380,95238	1,16372	0,9897433	0,9897431	Tidak Bekerja
17		120	380,95238	1,16372	0,9897433	0,9897431	Tidak Bekerja
18		130	412,69841	1,16372	1,0722219	1,0722217	Tidak Bekerja
19		150	476,19048	1,16372	1,2371791	1,2371789	Tidak Bekerja
20		150	476,19048	1,16372	1,2371791	1,2371789	Tidak Bekerja
21	18 Agustus 2020	160	507,93651	1,16372	1,3196578	1,3196575	Tidak Bekerja
22		106,6	338,12698	1,16372	0,87922198	0,8792218	Tidak Bekerja
23		83,3	264,44444	1,16372	0,68704682	0,68704668	Tidak Bekerja
24		100	317,46032	1,16372	0,8247861	0,82478594	Tidak Bekerja
25		110	349,20635	1,16372	0,9072647	0,9072645	Tidak Bekerja

Pada Tabel 4.4 menunjukkan tidak bekerjanya relai pada rasio yang ditentukan ($n_1 = 150$ dan $n_2 = 50$) berdasarkan besaran nominal transformator apabila nilai $I_{a2}' -_{act}$ (arus aktual) lebih kecil dari pada $I_{a2}' -_{th}$ (arus teoritis) dan bekerja apabila $I_{a2}' -_{act}$ (arus aktual) lebih besar dari nilai $I_{a2}' -_{th}$ (arus teoritis). Hasil penentuan bekerja tidaknya relai ini menunjukkan bahwa relai tidak akan bekerja jika nilai $I_{a2}' -_{th}$ (arus teoritis) berada di bawah nilai $I_{a2}' -_{act}$ (arus aktual). Maka pada PLTM Malea menggunakan rasio transformator berdasarkan besaran nominal.

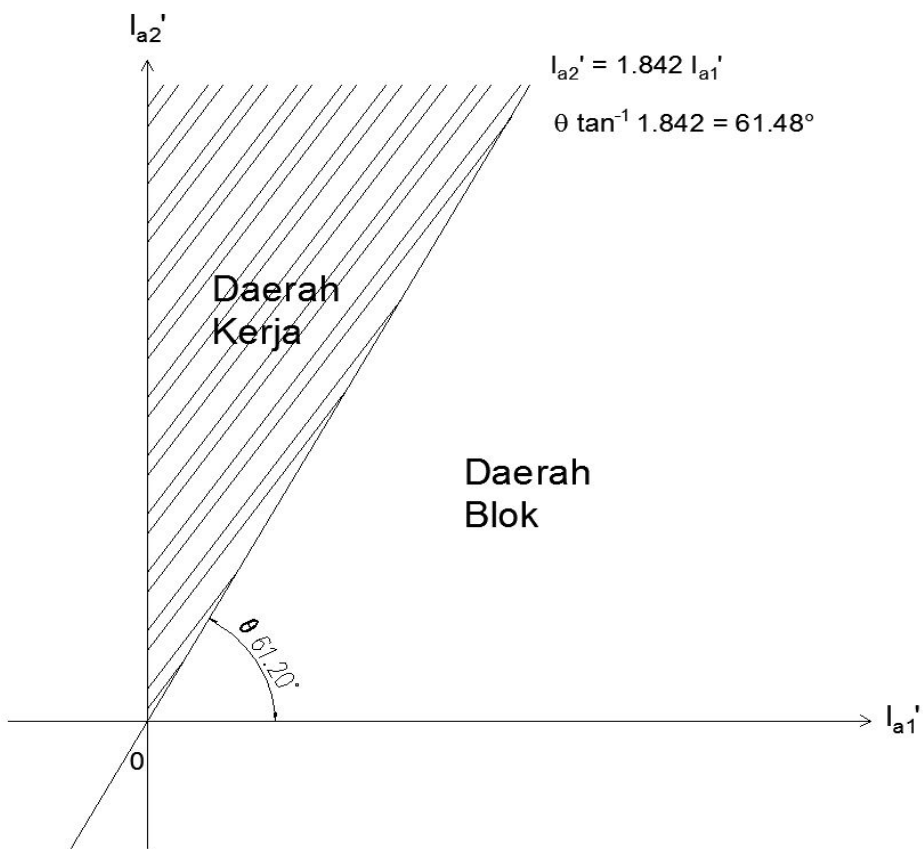
2) Berdasarkan Besaran Rating

Nilai batas untuk k dapat ditentukan dengan menerapkan persamaan (27) :

$$k = \frac{|I_{a1}' - I_{a2}'|}{\frac{1}{2}(I_{a1}' + I_{a2}')} = \frac{|0,960 - 1,746|}{0,5(0,960 + 1,746)} = 0,581$$

Grafik dari I_{a2}' sebagai fungsi dari I_{a1}' dapat dilihat berdasarkan persamaan (21) yang dalam hal ini

$$I_{a2}' = \frac{2+k}{2-k} \times I_{a1}' = \frac{2+0,581}{2-0,581} \times I_{a1}' = 1,819 I_{a1}'$$



Gambar 4.4 Kurva hubungan dari I_{a2}' sebagai fungsi dari I_{a1}' berdasarkan besaran rating transformator.



Sebagai contoh dari data pertama Tabel 4.3 untuk tanggal 14 Agustus 2020 karena hanya diketahui arus sekunder transformator dayanya maka terlebih dahulu dihitung arus di sisi primer.

$$I_s = 148,3 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{V_s}{V_p} \times I_s \\ &= \frac{20}{6,3} \times 148,3 \\ &= 470,794 \text{ A} \end{aligned}$$

Karena dipilih $n_1 = 200$ dan $n_2 = 60$ dan dari data relai proteksi diketahui $I_n = 4,2 \text{ A}$, jadi setiap arus melewati sekunder transformator arus dibagi 4,2 maka :

$$\begin{aligned} I_{a1}'-act &= I_{A1}' = \frac{I_p/n_1}{I_n} \\ &= \frac{470,794/200}{4,2} \\ &= 0,5605 \text{ A} \\ I_{a2}'-act &= \sqrt{3} \times I_{A2}' = \frac{\sqrt{3} \cdot I_s/n_2}{I_n} \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 148,3/60}{4,2} \\ &= 1,0193 \text{ A} \end{aligned}$$

Secara teoritis dapat dihitung :

$$\begin{aligned} I_{a2}'-th &= 1,819 \times I_{a1}'-act \\ &= 1,819 \times 0,5605 \\ &= 1,0195 \text{ A} \end{aligned}$$

Karena $I_{\alpha 2}'_{-act} < I_{\alpha 2}'_{-th}$ maka relai tidak akan bekerja karena berada dalam daerah blok pada Gambar 4.4. Hasil-hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.5



Tabel 4.5 Penentuan bekerja tidaknya relai pada rasio transformator arus yang ditentukan berdasarkan besaran rating transformator unit 6 ($n_1 = 250$, $n_2 = 60$) untuk $V_p = 6,3 \text{ kV}$; $V_s = 20 \text{ kV}$; $S = 8 \text{ MVA}$

No.	Waktu	I_s (A)	I_p (A)	I_{a1}' (A)	$I_{a2}'\text{-act}$ (A)	$I_{a2}'\text{-th}$ (A)	Unjuk Kerja Relai
1	14 Agustus 2020	148,3	470,79365	1,819	1,0193	1,0195	Tidak bekerja
2		102,6	325,714	1,819	0,70519211	0,70519224	Tidak bekerja
3		103,3	327,937	1,819	0,71000336	0,71000349	Tidak bekerja
4		125	396,825	1,819	0,85915218	0,85915211	Tidak bekerja
5		140	444.444	1,819	0,75605392	0,75605405	Tidak bekerja
6	15 Agustus 2020	140	444.444	1,819	0,75605392	0,75605405	Tidak bekerja
7		110	349.206	1,819	0,75605392	0,75605405	Tidak bekerja
8		110	349.206	1,819	0,75605392	0,75605405	Tidak bekerja
9		110	349.206	1,819	0,75605392	0,75605405	Tidak bekerja
10		110	349.206	1,819	0,75605392	0,75605405	Tidak bekerja
11	16 Agustus 2020	110	349.206	1,819	0,75605392	0,75605405	Tidak bekerja
12		140	444.444	1,819	0,96225044	0,96225061	Tidak bekerja
13		120	380,952	1,819	0,8247861	0,82478624	Tidak bekerja
14		116,6	370,159	1,819	0,80141716	0,8014173	Tidak bekerja
15		136,6	433,651	1,819	0,93888151	0,93888167	Tidak bekerja
16	17 Agustus 2020	120	380,952	1,819	0,8247861	0,82478621	Tidak bekerja
17		120	380,952	1,819	0,8247861	0,82478621	Tidak bekerja
18		130	412,698	1,819	0,89351827	0,8935184	Tidak bekerja
19		150	476,190	1,819	1,0309826	1,0309828	Tidak bekerja
20		150	476,190	1,819	1,0309826	1,0309828	Tidak bekerja
21	18 Agustus 2020	160	507,937	1,819	1,0997148	1,09971499	Tidak bekerja
22		106,6	338,413	1,819	0,73268498	0,7326851	Tidak bekerja
23		83,3	264,444	1,819	0,57253901	0,57253912	Tidak bekerja
24		100	317,460	1,819	0,68732175	0,68732187	Tidak bekerja
25		110	349,206	1,819	0,75605392	0,75605406	Tidak bekerja

Pada Tabel 4.5 menunjukkan tidak bekerjanya relai pada rasio yang ditentukan ($n_1 = 200$ dan $n_2 = 60$) berdasarkan besaran rating transformator, terlihat dari Tabel 4.5 nilai $I_{a2}'_{-act}$ (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 akan bekerja jika nilai $I_{a2}'_{-th}$ (arus teoritis) berada di atas nilai $I_{a2}'_{-act}$ (arus aktual). Ini disebabkan karena pada pemilihan rasio transformator arus, arus pada sisi primer dan sekunder dikalikan dengan 110 % sehingga menghasilkan nilai rasio transformator arus yang lebih besar dari pada rasio pada besaran nominal.

4.2.7 Menentukan Besar Arus Gangguan Hubung Singkat

Menghitung besar arus gangguan di luar zona proteksi di sisi outgoing transformator dengan menggunakan data daya generator dan data daya transformator sebagai dasar.

1) Daya Generator sebagai Dasar

$$S_g = 5,5 \text{ MW} = 6,875 \text{ MVA} \text{ (daya generator)}$$

$$X_g = 0,190 \text{ pu} \text{ (reaktansi generator)}$$

$$S_t = 8 \text{ MVA} \text{ (daya transformator)}$$

$$X_t = 0,1423 \text{ pu} \text{ (reaktansi transformator)}$$

Besar arus gangguan di sisi primer transformator T1 (I_{pf})

$$S_{1 \text{ base}} = S_g = 6,875 \text{ MVA}$$

$$V_{1\text{-base}} = V_g = 6,3 \text{ kV}$$

$$I_{base} = \frac{S_g}{\sqrt{3} \cdot V_p} = \frac{6,875 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 6,3 \times 10^3} = 630,045 \text{ A}$$

Nilai impedansi yaitu :

$$X_{g,baru} = X_g = 0,190 \text{ pu}$$

$$X_{t,baru} = X_t \times \frac{S_g}{S_t} = 0,1423 \times \frac{6,875 \times 10^6}{8 \times 10^6} = 0,1223 \text{ pu}$$

$$X_{pu} = X_{g,baru} + X_{t,baru} = 0,190 + 0,122 = 0,312 \text{ pu}$$

Nilai arus gangguan hubung singkat dalam satuan per unit yaitu :

$$I_{f(pu)} = \frac{S_t}{X_g \cdot S_t + X_t \cdot S_g} = \frac{8 \times 10^6}{0,190 \cdot 8 \times 10^6 + 0,1423 \cdot 6,875 \times 10^6} = 3,202 \text{ pu}$$

Maka nilai arus gangguan hubung singkat secara keseluruhan :

$$I_{pf} = I_f = I_{f(pu)} \cdot I_{base} = 3,202 \times 630,045 = 2017,51 \text{ A} = 2,01751 \text{ kA}$$

2) Daya Transformator sebagai Dasar

Dalam hal ini akan dihitung, besar arus gangguan di sisi primer transformator

T1 (I_{pf}) :

$$S_{2-base} = S_t = 8 \text{ MVA}$$

$$V_{2-base} = V_g = 6,3 \text{ kV}$$

$$I_{base} = \frac{S_t}{\sqrt{3} \cdot V_p} = \frac{8 \times 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \times 10^3} = 733,143 \text{ A}$$

Nilai impedansi yaitu :

$$X_{g,baru} = X_g \times \frac{S_t}{S_g} = 0,190 \times \frac{8 \times 10^6}{6,875 \times 10^6} = 0,2211 \text{ pu}$$

$$X_{t,baru} = X_t = 0,1423$$

$$X_{pu} = X_{g,baru} + X_{t,baru} = 0,2211 + 0,1423 = 0,3634 \text{ pu}$$

Nilai arus gangguan hubung singkat dalam satuan per unit yaitu :

$$I_{f(pu)} = \frac{S_g}{X_g \cdot S_t + X_t \cdot S_g} = \frac{6,875 \times 10^6}{0,190 \cdot 8 \times 10^6 + 0,1423 \cdot 6,875 \times 10^6} = 2,752 \text{ pu}$$

Maka nilai arus gangguan hubung singkat secara keseluruhan :

$$I_{pf} = I_f = I_{f(pu)} \cdot I_{base} = 2,752 \times 733,143 = 2017,51 \text{ A} = 2,01752 \text{ kA}$$

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa dalam menghitung arus gangguan, dapat dipilih besar daya yang sembarang sebagai dasar. Karena arus gangguan sisi primer transformator untuk gangguan di luar zona di sisi *outgoing* sudah diketahui, maka dapat dihitung arus gangguan di sisi sekunder transformator.

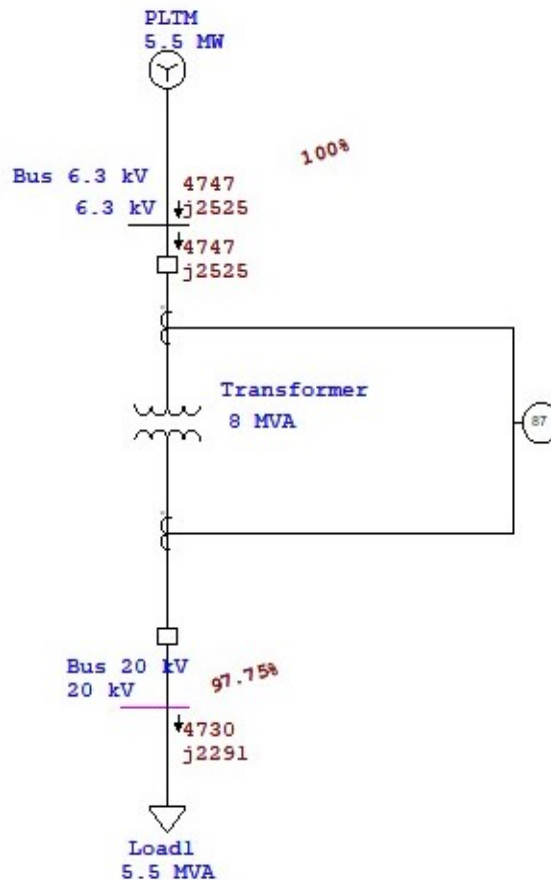
$$\begin{aligned} I_{pf} &= 2017,51 \text{ A} \\ I_{sf} &= \frac{V_p}{V_s} \times I_{pf} \\ &= \frac{6,3}{20} \times 2017,51 \\ &= 635,52 \text{ A} = 0,636 \text{ kA} \end{aligned}$$

4.3 Simulasi Relai Diferensial Menggunakan Software ETAP 12.6

Simulasi relai diferensial bertujuan untuk mengetahui kinerja relai diferensial pada transformator dengan kapasitas 8 MVA di PLTM Malea Energy. Simulasi ini dilakukan dengan kondisi normal atau tanpa gangguan, memberikan gangguan (*fault insertion*) pada daerah pengaman relai diferensial dan memberikan gangguan pada daerah luar pengaman relai diferensial. Simulasi ini menggunakan *software* ETAP12.6.

4.3.1 Simulasi dalam Keadaan Normal

Berikut simulasi jaringan menggunakan software ETAP 12.6 dalam keadaan normal atau tanpa gangguan pada gambar 4.5.



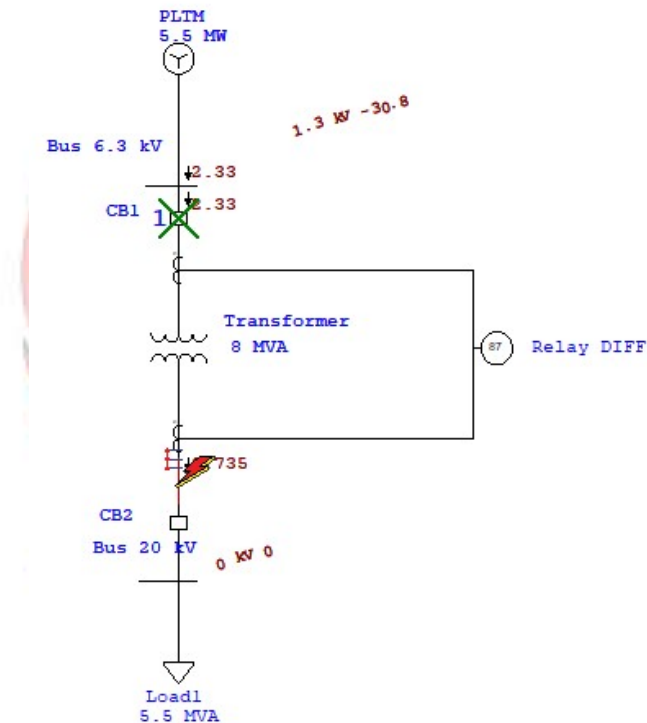
Gambar 4.5 Simulasi Relai Diferensial pada Kondisi Normal

Pada gambar 4.5 generator menyuplai daya sebesar 5,5 MW untuk digunakan oleh beban pada jaringan 20 kV dan beban untuk pemakaian oleh PT. Malea Energy. Tegangan keluaran yang di dihasilkan generator sebesar 6,3 kV, namun tegangan perlu distabilkan oleh *automatic voltage regulator* (AVR).

Tegangan keluaran 6,3 kV akan didistribusikan ke jaringan 20 kV sehingga di perlukan transformator step up yang berfungsi untuk menaikkan tegangan.

4.3.2 Simulasi Gangguan di Luar Daerah Pengaman Relai Diferensial

Berikut simulasi jaringan menggunakan software ETAP 12.6 dalam keadaan terdapat gangguan pada atau diberikan (short circuit) di daerah luar pengaman relai diferensial yang di tampilkan pada gambar 4.6.

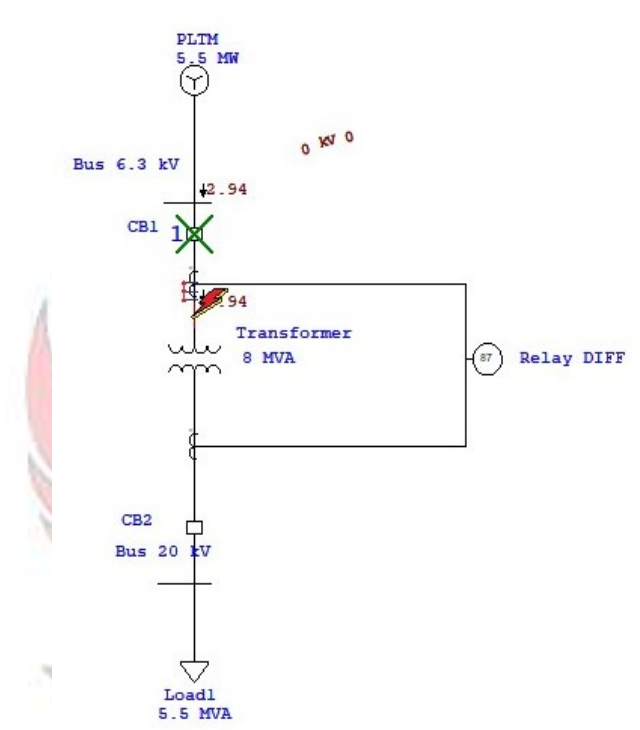


Gambar 4.6 Simulasi Relai Diferensial Saat Terjadi Gangguan Eksternal

Pada Gambar 4.6 menunjukkan terjadinya gangguan di luar zona pengaman relai diferensial dengan menggunakan software ETAP 12.6, ketika diberi *short circuit* maka *circuit breaker* terdekat akan tetap mentrip jaringan karena *circuit breaker* berkoordinasi dengan *overcurrent relay* dan *overvoltage relay* akan tetapi relai diferensial tidak bekerja karena gangguan berada di luar zona pengaman.

4.3.3 Simulasi Gangguan di Dalam Daerah Pengaman Relai Diferensial

Berikut simulasi jaringan menggunakan software ETAP 12.6 dalam keadaan terdapat gangguan pada atau diberikan (short circuit) di daerah pengaman relai diferensial yang di tampilkan pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Simulasi Relai Diferensial Saat Terjadi Gangguan Internal

Gambar 4.7 menunjukkan terjadinya gangguan di daerah pengaman relai diferensial dengan menggunakan software ETAP 12.6, ketika short circuit berada di daerah pengaman atau zona proteksi transformator daya maka relai diferensial akan memberi sinyal kepada pemutus tenaga (*circuit breaker*) untuk mentrip jaringan agar transformator daya tidak mengalami kerusakan dan menjaga stabilitas peralatan listrik.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Berdasarkan perhitungan relai diferensial pada PLTM Malea secara teori dan data aktual sudah tepat. Dalam hal ini, sistem kerja relai diferensial pada PLTM Malea berdasarkan besaran nominal karena apabila menggunakan besaran rating nilai ratio yang dihasilkan lebih besar serta arus yang melewati sekunder transformator lebih besar dan dapat merusak peralatan. Dimana nilai restrain berdasarkan besaran nominal pada sisi tegangan rendah yaitu 1,164 A dan pada sisi tegangan tinggi 1,905 A sedangkan berdasarkan besaran rating pada sisi tegangan rendah yaitu 0,960 A dan pada sisi tegangan tinggi 1,746 A
- 2) Dari simulasi yang dilakukan dengan menggunakan software ETAP 12.6 terbukti bahwa relai diferensial bekerja secara normal dan dapat bekerja secara instan dalam artian tingkat keandalan relai tersebut masih dalam batas normal dan apabila terdapat gangguan pada zona pengamanan maka relai akan bekerja. Jika dibandingkan dengan perhitungan manual dengan hasil simulasi maka terdapat perbedaan sebesar 13,56% untuk sisi tegangan rendah 6,3 kV dan 13,47% untuk sisi tegangan tinggi 20 kV.

5.2 Saran

Saran yang dihasilkan dari penelitian ini tentu dapat menjadi pertimbangan lebih lanjut. Berikut saran yang dapat dipertimbangkan:

- 1) Untuk PLTM Malea Energy, walaupun kondisi relai diferensial masih dalam kondisi baik akan tetapi pengecekan secara berkala tetap harus dilakukan. Hal tersebut mengingat kondisi alat proteksi merupakan suatu hal penting dalam kelangsungan sistem pembangkit yang berkualitas.



DAFTAR PUSTAKA

- Alvin, dkk. 2014. Perbaikan Tegangan Sisi Sekunder Transformator Daya 150/20 KV di Gardu Induk Ungaran. Laporan Tugas Akhir. Semarang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Aziz, Khoirul. 2018. Simulasi & Analisis Sistem Proteksi Differential Relay Main Transformer (87 GT) Pada PLTU Unit 5 (Lima) PT Pertamina Geothermal Energi Area Kamojang dengan Software Etap 12.6. Laporan Tugas Akhir. Yogyakarta: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- El-Bages. 2011. Improvement of Digital Differential Relay Sensitivity for Internal Ground Fault In Power Transformer. *Journal of Engineering*. 3. 1-5
- Glover, J. dan M. Sarma. 1994. Power System Analysis and Design. 2nd edition Boston : PWS Publishing Company.
- Herlan, Dedeng & Tribata, Yogi. 2014. Pemasangan Rele Diferensial pada Trafo Daya dengan Vektor Group yang Berbeda. Laporan Tugas Akhir. Jakarta: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (<https://www.esdm.go.id/id/berita-unit/direktorat-jenderal-ketenagalistrikan/kementerian-esdm-targetkan-rasio-elektifikasi-999-persen-di-tahun-2019>)
- Laurasti dan Adhe Puspita. 2016. Studi Penggunaan Relai Diferensial sebagai Sistem Proteksi Transformator pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru. Laporan Tugas Akhir. Makassar: Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Maulana, Iskak. 2018. Analisis Uji Performa Transformator Daya GT (Generator Transformer) 370 MVA di PT. PJB UBJOM PLTU. . Laporan Tugas Akhir. Yogyakarta: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Paliwal, Nikhil., & Trivedi, A. (2014). *Analysis of Modern Digital Differential Protection for Power Transformer*. International Journal of Interdisciplinary Research and Innovations. 2, 46-53.
- Phadke, Arun. (2001). *Power System Protection*. The Electric Power Engineering Handbook.

PT PLN (Persero). Final Pedoman O&M Trafo Tenaga

PT PLN (Persero).2014. Buku Pedoman Pemeliharaan. Proteksi dan Kontrol Transformator

Raju, K., & Reddy, Ramamohan. (2012). Differential Relay Reliability Impliment Enhancement of Power Transformer. International Journal of Modern Engineering Research. 2, 3612-3618.

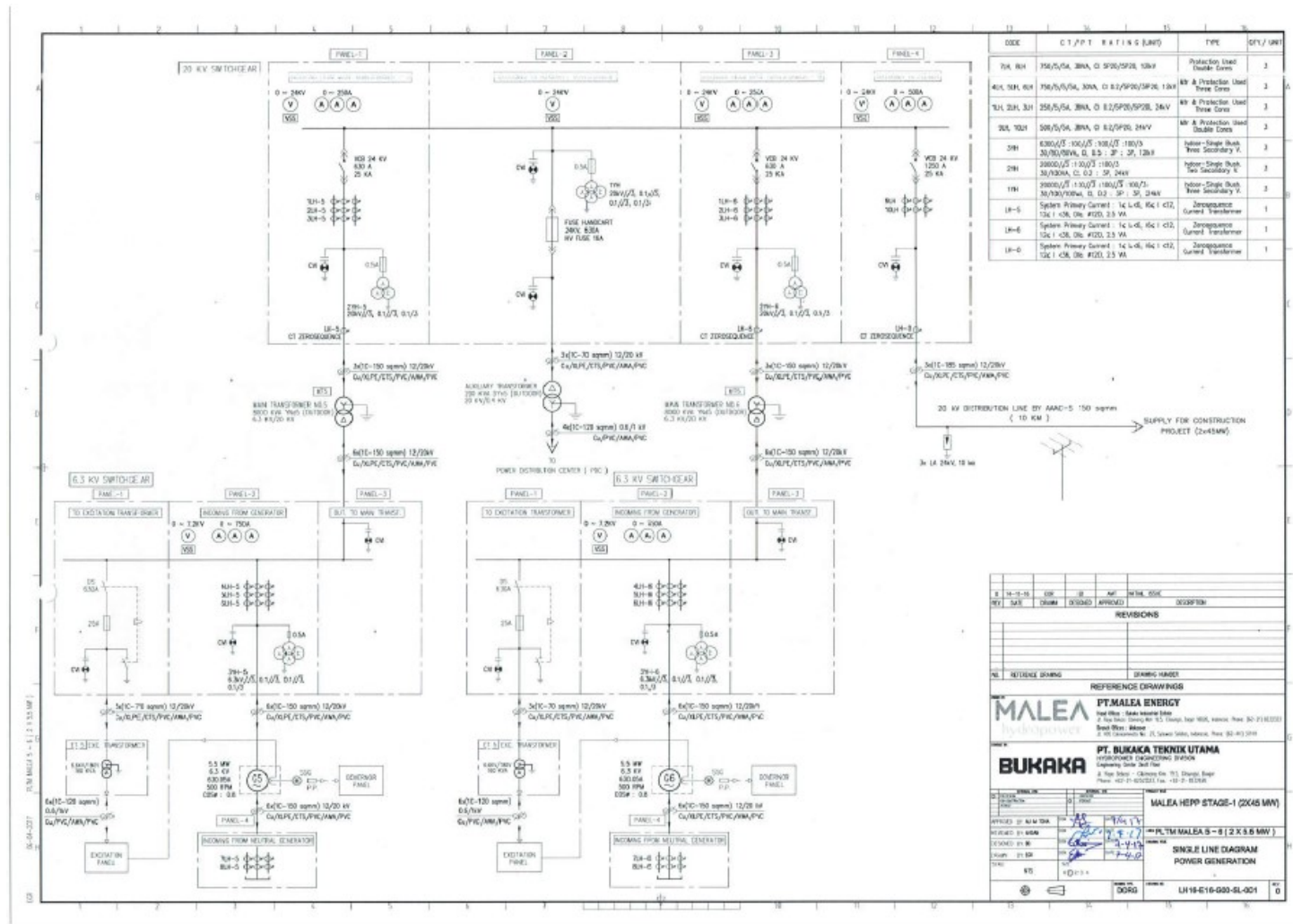
Sigit, Purnama. 2009. Analisa Pengaruh Pembebanan terhadap Susut Umur Transformator Tenaga. Laporan Tugas Akhir. Semarang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Dipanegara Semarang.





LAMPIRAN

Lampiran 1. Single Line Diagram PLTM Malea Unit 5 & Unit 6



Lampiran 2. Relai Diferensial pada PLTM Malea unit 5 & 6



Lampiran 3. Data Aktual Relai Diferensial

No.	Descriptions	Setting Value	Protection Status	Calculation	
Current					
	CT Ratio 20 kV	250	A		
		5	A		
	CT Ratio 6.3 kV	750	A		
		5	A		
	VT Ratio 20 kV	20000	V		
		100	V		
	VT Ratio 6.3 kV	6300	V		
		100	V		
	le	630.79	A		
	Rated Current (Secondary)	4.2	A		
Differential Protection					
1	Un	100	V		
2	In	4.2	A		
3	Inst. Differential (Inst. DI>)	21.03	A	ON	$I_{dZsd} = 5 \cdot I_e / \text{rasio ct}$
4	Inst. DI> Operate Time	0.00	s		
5	3 Phase Differential current (DI>)	2.10	A	ON	$I_{cd} = 0,5 \times I_e / \text{rasio ct}$
6	Inst. DI> Operate Time	1.00	s		
7	Riset1	3.20	A	ON	
8	K11	0.50			$K1 = 0,50$ According to experience
9	Riset2	3.60	A		
10	K12	0.15			$K2 = 0,15$ According to experience



Lampiran 4. Transformator Daya pada PLTM Unit 5&6 di PT. Malea Energy



1. Specification

Type	S11-	EX-Works No.:	17040418
Rated capacity	8000 kVA	Phase No.:	Three-phase
Rated voltage	20/6.3 kV	Vector No.:	YNd5
Rated current	230.9/733.1 A	Voltage adjusting scope:	20 ± 2X2.5 %
Rated frequency	50 Hz	Cool method:	ONAN

1. Specification

Type	S11-	EX-Works No.:	17040419
Rated capacity	8000 kVA	Phase No.:	Three-phase
Rated voltage	20/6.3 kV	Vector No.:	YNd5
Rated current	230.9/733.1 A	Voltage adjusting scope:	20 ± 2X2.5 %
Rated frequency	50 Hz	Cool method:	ONAN

Lampiran 5. Generator pada PLTM Malea Unit 5&6



Spesifikasi Generator

Manufacture	CWTW
Rated Power	5500 Kw
Rated Discharge	11.11 m ³ /s
Rated Head	60 m
Rated Speed	500 r/min
Runway Speed	933 r/min
Rated Voltage	6300 V
Rated Current	630 A
Cos Ø	0.8
Frequency	50 Hz
Insulation Level	F

Lampiran 6. Hasil Simulasi Gangsuan Hubung Singkat dengan menggunakan Etap 12.6

SHORT- CIRCUIT REPORT

Fault at bus: **Bus 20 kV**

Prefault voltage = 20.000 kV = 100.00 % of nominal bus kV (20.000 kV)
 = 100.00 % of base kV (20.000 kV)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0
Bus 20 kV	Total	0.00	0.735	0.00	86.69	85.88	1.017	1.017	2.21E+001	3.92E+002	5.70E+000	8.11E+001
Bus 6.3 kV	Bus 20 kV	20.70	0.735	54.39	55.66	98.25	1.017	1.017 *	2.21E+001	3.92E+002	5.70E+000	8.11E+001
PLTM	Bus 6.3 kV	100.00	2.334	100.00	100.00	100.00	1.865	0.000	1.64E+001	3.11E+002	1.64E+001	1.15E+002

Indicates fault current contribution is from three-winding transformers

* Indicates a zero sequence fault current contribution (3I0) from a grounded Delta-Y transformer

PT. MALEA ENERGY
The HYDROPOWER OF TATOR



UNIT : 6
TANGGAL : 11-08. 2020

Time	Daya (KW)	Q (KVAR)	Generator			Trafo			Freq (Hz)	Cos φ	Excitation			NP-4 Out Going to Line Distribution						
			Arus (Amp)			Arus (Amp)					Teg kV	Gen Voltage	Field Voltage	Field Current	Arus (Amp)			Tegangan (kV)		
			R	S	T	R	S	T						R	S	T	R	S	T	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0:30	5510	377	800	521	500	145	110	150	21	5006	0.95	62	75	250	1422	1403	1511	107331	106763	106116
1:00	5401	371	800	521	500	141	110	150	21	5013	0.95	62	75	250	1426	1400	1514	107240	106519	105933
1:30	5492	432	800	521	500	145	150	150	21	4992	0.95	62	75	250	1421	1409	1515	107254	106501	105879
2:00	5481	453	800	525	500	145	110	150	21	4946	0.95	62	75	250	1421	1401	1505	107376	106635	106173
2:30	5479	545	800	525	500	145	110	150	21	4945	0.95	62	75	250	1425	1404	1500	107049	106505	105703
3:00	5461	506	800	525	500	145	110	150	21	4946	0.95	62	75	250	1426	1409	1515	106468	106546	105406
3:30	5429	430	800	525	500	145	110	150	21	5003	0.95	62	75	250	1404	1400	1500	107376	106600	105424
4:00	5437	443	800	525	500	145	110	150	21	5019	0.95	62	75	250	1407	1405	1493	107376	106750	106178
4:30	5409	366	800	525	500	145	110	150	21	4983	0.95	62	75	250	1404	1465	1480	107403	106682	106110
5:00	5449	415	800	525	500	145	110	150	21	5004	0.95	62	75	250	1406	1478	1475	107235	106818	106151
5:30	5472	297	800	525	500	145	110	150	21	4995	0.95	62	75	250	1401	1463	1477	107308	106641	105976
6:00	5415	424	800	525	500	145	110	150	21	5002	0.95	62	75	250	1412	1403	1505	107853	106278	106655
6:30	5422	637	800	521	500	145	110	150	21	5000	0.95	62	75	250	1391	1450	1493	107240	106886	106038
7:00	5041	454	425	475	425	145	110	150	21	4935	0.95	62	75	250	1321	1310	1421	106987	105848	106121
7:30	5032	411	425	475	425	145	110	150	21	4935	0.95	62	75	250	1326	1330	1415	105606	105143	104408
8:00	4072	539	375	400	375	102	104	104	21	4993	0.95	62	65	220	1061	1120	1157	106396	105070	105157
8:30	4079	660	375	400	375	102	104	104	21	5003	0.95	62	65	220	1083	1146	1175	106233	105742	105171
9:00	4032	368	375	400	375	102	104	104	21	4995	0.95	62	65	220	1085	1151	1172	105080	106626	104027
9:30	4016	284	375	400	375	102	104	104	21	5001	0.95	62	65	220	1089	1150	1169	105130	104601	104054
10:00	4086	553	375	400	375	102	104	104	21	4984	0.95	62	65	220	1092	1147	1193	105193	104505	104013
10:30	4023	652	375	400	375	102	104	104	21	4998	0.95	62	65	220	1079	1162	1181	105756	105171	104588
11:00	4527	586	425	425	425	125	125	125	21	5010	0.95	62	70	220	1101	1261	1277	105674	105075	104463
11:30	4512	520	425	425	425	125	125	125	21	4991	0.95	62	70	220	1100	1248	1280	105306	105375	104600
12:00	4517	495	425	425	425	125	125	125	21	5005	0.95	62	70	220	1178	1230	1267	105919	105416	104654
12:30	5021	470	450	475	450	125	125	125	21	5005	0.95	62	70	240	1329	1379	1415	106470	105926	105021
13:00	5056	574	450	475	450	125	125	125	21	4991	0.95	62	70	240	1397	1373	1401	106382	105702	105116

06 - 40 daya diturunkan air kurang
07 - 35 daya kembali diturunkan lagi

11/2
2/4

14.00.200

(6)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
13:30	5057	758	450	475	450	125	125	150	21	4095	095	62	70	240	1301	1371	1404	106382	105870	105730
14:00	5062	595	450	475	450	125	125	150	21	4086	095	62	70	240	1313	1409	1441	106882	106132	105567
14:30	5001	527	475	475	475	125	125	150	21	4097	095	62	70	240	1321	1467	1471	10646A	106096	105484
15:00	5006	635	450	475	450	125	125	150	21	4092	095	62	70	240	1307	1382	1410	106001	105687	104926
15:30	5056	710	450	475	450	125	125	150	21	4089	095	62	70	240	1307	1392	1421	105959	105443	104762
16:00	5027	617	475	475	450	125	125	150	21	4188	095	62	70	240	1332	1390	1421	105851	105441	104735
16:30	5042	604	450	475	450	140	140	140	21	5002	095	62	75	240	1314	1385	1407	105552	105848	104926
17:00	5063	502	475	475	450	140	140	140	21	5002	095	62	75	240	1319	1379	1412	106205	105770	105007
17:30	5010	435	475	475	450	140	140	140	21	4997	095	62	75	240	1298	1360	1391	106559	106092	105607
18:00	5001	716	450	475	450	140	140	140	21	5006	095	62	75	240	1300	1357	1388	106682	106169	105902
18:30	5015	592	450	475	475	140	140	140	21	4998	095	62	75	240	1332	1366	1406	107145	106951	106151
19:00	5016	325	450	475	450	140	140	140	21	5002	095	62	75	240	1317	1357	1397	10645A	106997	106001
19:30	5000	693	450	475	450	140	140	140	21	4093	095	62	75	240	1313	1343	1385	106723	106576	106028
20:00	5008	716	450	475	450	140	140	140	21	4994	095	62	75	240	1304	1344	1376	106723	106573	106782
20:30	5045	107	450	475	450	140	140	140	21	4990	095	62	75	240	1295	1335	1373	107125	106995	106260
21:00	5010	692	475	475	450	140	140	140	21	5006	095	62	75	240	1321	1354	1385	106437	106083	105538
21:30	5080	209	450	475	450	140	140	140	21	4987	095	62	75	240	1328	1381	1410	106672	106287	105606
22:00	5040	841	450	475	450	140	140	140	21	4991	095	65	75	240	1317	1370	1404	106695	106464	105715
22:30	5015	107	450	475	450	140	140	140	21	4995	095	65	75	240	1335	1401	1431	107117	106997	106151
23:00	5020	571	475	475	475	140	140	140	21	4994	095	65	75	240	1319	1375	1376	106900	106022	106328
23:30	5021	107	450	475	450	140	140	140	21	5006	095	65	75	240	1345	1351	138A	107930	107213	106518
24:00	5012	311	475	475	475	140	140	140	21	4987	095	62	70	240	1310	1369	1304	107921	107417	106736

Catatan :

PT. MALEA ENERGY
The HYDROPOWER OF TATOR



UNIT : 6
TANGGAL : 15-08-2020

Time	Daya (KW)	Q (KVAR)	Generator			Trafo			Freq (Hz)	Cos φ	Excitation			NP-4 Out Going to Line Distribution						
			Arus (Amp)			Arus (Amp)					Teg kV	Gen Voltage	Field Voltage	Field Current	Arus (Amp)			Tegangan (kV)		
			R	S	T	R	S	T			R				S	T	R	S	T	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0:30	5031	894	450	475	450	140	140	140	21	4999	091	62	75	240	1313	1373	1385	10748	106940	106282
1:00	5002	870	450	475	450	140	140	140	21	4980	091	62	75	240	1302	1311	1390	107281	106892	106328
1:30	4923	853	450	475	450	140	140	140	21	4995	091	62	75	240	1291	1338	1380	107267	106291	106268
2:00	4065	406	450	475	450	110	110	110	21	4993	091	62	75	240	1054	1101	1135	106341	106063	105470
2:30	4120	325	450	475	450	110	110	110	21	4995	091	62	75	240	1064	1109	1144	106464	106056	105348
3:00	4113	406	450	475	450	110	110	110	21	5007	091	62	75	240	1075	1125	1151	106518	106132	105456
3:30	4147	244	450	475	450	110	110	110	21	4984	091	62	75	240	1079	1128	1157	106518	106096	105525
4:00	4142	371	450	475	450	110	110	110	21	4982	095	62	75	240	1077	1128	1163	106655	106437	105770
4:30	4176	414	450	475	450	110	110	110	21	4988	095	62	75	240	1076	1132	1156	106709	106384	105565
5:00	4165	438	450	475	450	110	110	110	21	5012	095	62	75	240	1092	1163	1168	106805	106110	105484
5:30	4195	420	450	475	450	110	110	110	21	4982	095	62	75	240	1084	1131	1168	106691	106355	105552
6:00	4106	447	375	400	375	110	110	110	21	5006	095	61	65	220	1085	1129	1165	106586	106287	105429
6:30	4184	466	375	400	375	110	110	110	21	5004	095	61	65	220	1094	1131	1184	106450	106246	105510
7:00	4104	650	375	400	375	110	110	110	21	5005	095	61	65	220	1091	1132	1175	106452	106247	105519
7:30	4188	676	375	400	375	110	110	110	21	5003	095	61	65	220	1095	1134	1179	106484	106251	105543
8:00	4191	728	375	400	375	110	110	110	21	5001	095	61	65	220	1094	1146	1180	106483	106272	105388
8:30	4067	674	375	400	375	110	110	110	21	4994	095	61	65	220	1073	1123	1153	104694	104476	103736
9:00	4132	761	375	400	375	110	110	110	21	5016	095	61	65	220	1071	1120	1156	104708	104245	103510
9:30	4134	343	375	400	375	110	110	110	21	4992	095	61	65	220	1094	1150	1168	105334	104966	104231
10:00	4121	353	375	400	375	110	110	110	21	5002	095	61	65	220	1097	1144	1181	105198	104735	104061
10:30	4129	484	375	400	375	110	110	110	21	4983	095	61	65	220	1075	1120	1144	105325	104885	104340
11:00	4161	405	375	400	375	110	110	110	21	5011	095	61	65	220	1077	1141	1169	105380	104953	104286
11:30	4128	419	375	400	375	110	110	110	21	4993	095	61	65	220	1097	1151	1180	105429	105130	104397
12:00	4161	352	375	400	375	110	110	110	21	5009	095	61	65	220	1081	1156	1186	105112	105556	104757
12:30	4180	536	375	400	375	110	110	110	21	4994	095	61	65	220	1098	1181	1172	106233	105633	105379
13:00	4123	554	375	400	375	110	110	110	21	5001	095	61	65	220	1072	1122	1152	106110	105770	105116

UNIT 6

15/8-2020

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
13:30	A180	534	375	400	375	110	110	110	21	5010	095	61	65	220	1092	1146	1172	105633	105279	104655
14:00	4197	686	375	400	375	110	110	110	21	5005	095	61	65	220	1097	1091	1171	1054116	105225	104659
14:30	4148	795	375	400	375	110	110	110	21	4986	095	61	65	220	1094	1135	1171	105239	104857	104476
15:00	4167	725	375	400	375	110	110	110	21	5010	095	61	65	220	1112	1152	1180	105225	104953	104381
15:30	4159	784	375	400	375	110	110	110	21	5010	095	61	65	220	1110	1157	1194	105225	104789	104218
16:00	4172	685	375	400	375	110	110	110	21	4987	095	61	65	220	1114	1151	1184	105550	104595	104163
16:30	4178	737	375	400	375	110	110	110	21	4990	095	61	65	220	1095	1151	1172	105375	105062	104246
17:00	4167	530	375	400	375	110	110	110	21	4986	095	61	65	220	1095	1196	1198	105090	104612	103918
17:30	4152	532	375	400	375	110	110	110	21	5005	095	61	65	220	1095	1191	1171	105233	105824	105266
18:00	4186	626	375	400	375	110	110	110	21	4997	095	61	65	220	1091	1131	1175	106028	105898	105062
18:30	4152	640	375	400	375	110	110	110	21	5009	095	61	65	220	1109	1191	1172	105899	105797	105095
19:00	4169	782	375	400	375	110	110	110	21	4999	095	61	65	220	1112	1137	1177	105565	105443	104735
19:30	4186	656	375	400	375	110	110	110	21	4990	095	61	65	220	1116	1134	1181	105293	105326	104894
20:00	4156	503	375	400	375	110	110	110	21	5002	095	61	65	220	1107	1137	1182	108855	104986	104163
20:30	4172	602	375	400	375	110	110	110	21	4996	095	61	65	220	1126	1154	1194	105229	105095	104354
21:00	4192	577	375	400	375	110	110	110	21	4992	095	61	65	220	1106	1191	1188	105375	105239	104390
21:30	4156	506	375	400	375	110	110	110	21	5003	095	61	65	220	1116	1196	1178	105565	105324	104544
22:00	4192	397	375	400	375	110	110	110	21	4998	095	61	65	220	1098	1135	1175	105797	105606	104303
22:30	4185	288	375	400	375	110	110	110	21	5015	095	61	65	220	1095	1124	1178	105001	105452	104857
23:00	4187	599	375	400	375	110	110	110	21	5001	095	61	65	220	1092	1141	1171	106382	106015	105125
23:30	4192	577	375	400	375	110	110	110	21	4994	095	61	65	220	1106	1138	1178	107213	106091	106124
24:00	4197	398	375	400	375	110	110	110	21	5008	095	62	65	220	1080	1125	1160	107512	107158	106109

Catatan :

PT. MALEA ENERGY
The HYDROPOWER OF TATOR



UNIT : 6
TANGGAL : 16-8-2020

Time	Daya (KW)	Q (KVAR)	Generator			Trafo			Freq (Hz)	Cos φ	Excitation			NP-4 Out Going to Line Distribution						
			Arus (Amp)			Arus (Amp)					Teg kV	Gen Voltage	Field Voltage	Field Current	Arus (Amp)			Tegangan (kV)		
			R	S	T	R	S	T							R	S	T	R	S	T
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0:30	4240	361	375	400	375	110	110	110	21	4981	0.95	62	65	220	1067	1109	1159	107124	107267	106546
1:00	4160	677	375	400	375	110	110	110	21	5001	0.95	62	65	220	1112	1153	1190	106581	106627	105851
1:30	4070	1106	375	400	375	110	110	110	21	4990	0.95	62	65	220	1112	1158	1171	106910	106951	105919
2:00	4271	1187	375	400	375	110	110	110	21	4989	0.95	62	65	220	1100	1131	1171	106801	106877	105851
2:30	4180	375	375	400	375	110	110	110	21	5002	0.95	62	65	220	1100	1151	1187	106855	106369	105688
3:00	4101	498	475	500	475	140	140	140	21	4995	0.95	61	75	250	1412	1480	1497	107186	106668	106090
3:30	4596	715	475	475	475	120	120	120	21	4996	0.95	61	70	240	1471	1281	1285	106871	106515	105810
4:00	4091	6094	375	400	375	110	110	110	21	5000	0.95	61	70	220	1067	1107	1141	10714	106601	105917
4:30	4036	836	375	400	375	110	110	130	21	5000	0.95	61	70	220	1060	1100	1146	106954	106655	106056
5:00	4094	811	375	400	375	110	110	130	21	4994	0.95	61	70	220	1051	1098	1146	107036	106691	106042
5:30	4070	720	375	400	375	110	110	130	21	4996	0.95	61	70	220	1061	1109	1147	107240	106927	106246
6:00	4075	758	375	400	375	110	110	130	21	4995	0.95	61	70	220	1043	1052	1112	106995	106804	106056
6:30	4029	844	375	400	375	110	110	130	21	4983	0.95	61	70	220	1083	1069	1109	106797	106573	105906
7:00	4025	827	375	400	375	110	110	130	21	4994	0.95	61	70	220	1073	1064	1123	106995	106845	105974
7:30	4043	808	375	400	375	110	110	130	21	4997	0.95	61	70	220	1074	1203	1282	107226	106022	106205
8:00	4125	437	375	400	375	110	110	130	21	4994	0.95	61	70	220	1125	1201	1277	107122	106830	106001
8:30	4275	840	375	400	375	110	110	110	21	5003	0.95	61	70	220	1181	1230	1273	107131	106668	105851
9:00	4296	478	400	400	375	110	110	130	21	5004	0.95	61	67	220	1061	1110	1143	106804	106437	105854
9:30	4439	379	400	425	400	110	110	130	21	4992	0.95	61	67	220	1080	1128	1187	105987	105620	104926
10:00	4447	430	400	475	400	110	110	130	21	4990	0.95	61	67	220	1160	1234	1282	106804	106260	105605
10:30	4491	411	400	475	400	110	110	130	21	4988	0.95	61	67	220	1141	1197	1222	107417	106832	106067
11:00	4073	411	375	400	375	110	110	130	21	5007	0.95	61	65	200	1055	1122	1153	106940	106464	105671
11:30	4091	403	375	400	375	110	110	130	21	5009	0.95	61	65	200	1077	1123	1157	106859	106437	105633
12:00																				
12:30																				
13:00	4690	587	475	475	475	130	130	150	21	4990	0.95	62	70	230	1258	1279	1301	107671	107877	106467

→ daya diturunkan PRL 10:36 km kurang air

Unit : G

16 Agustus 2020

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
13:30	4701	621	472	410	474	120	125	150	21	4999	095	62	70	240	1230	1279	1313	107648	107300	106580
14:00	4046	667	375	400	375	110	110	130	21	4601	095	62	65	220	1039	1089	1132	107417	107158	106805
14:30	3527	490	375	350	325	100	100	100	21	4997	095	62	65	200	1162	1245	1293	108084	107608	107131
15:00	4621	640	425	450	425	120	125	150	21	4991	095	62	70	240	1191	1226	1273	107771	107403	106818
15:30	4635	652	425	450	425	120	125	150	21	4996	095	62	70	240	1194	1255	1279	107757	107254	106809
16:00	4677	652	425	450	425	120	125	150	21	4998	095	62	70	240	1206	1258	1295	107744	107362	106846
16:30	4608	717	425	450	425	120	125	150	21	4999	095	62	70	240	1196	1255	1286	107621	107119	106909
17:00	4082	467	400	425	400	110	110	135	21	4988	095	62	70	240	1079	1128	1157	106821	106783	106810
17:30	3770	445	350	350	325	100	100	120	21	5004	095	62	65	200	0968	1015	1046	106573	106260	105552
18:00	3757	450	350	370	325	100	100	120	21	4956	095	62	65	200	0981	1017	1064	106233	106069	105231
18:30	3732	625	350	350	325	100	100	120	21	4984	095	62	65	200	1001	1029	1070	105680	105715	104885
19:00	3877	632	400	350	325	100	100	120	21	4989	095	62	65	200	1015	1027	1086	105661	105620	104749
19:30	3831	500	350	350	325	100	100	120	21	5003	095	62	65	200	0997	1008	1038	105715	105728	104674
20:00	3805	466	350	350	325	100	100	120	21	4984	095	62	65	200	0987	1008	1069	105865	105933	104940
20:30			350	350	325	100	100	120	21		095	62	65	200						
21:00			350	350	325	100	100	120	21		095	62	65	200						
21:30	4051	638	350	350	325	100	100	120	21	4990	095	62	65	200	1041	1080	1120	107380	107641	106430
22:00	4011	570	350	350	325	100	100	120	21	4986	095	62	65	200	1038	1076	1120	107553	107362	106668
22:30	4081	512	350	370	325	100	110	120	21	5003	095	62	65	200	1064	1012	1151	106579	106320	105405
23:00	4065	709	350	350	325	100	100	120	21	4998	095	62	65	200	1063	1103	1134	106777	106532	105830
23:30	4046	567	350	350	325	110	110	120	21	4990	095	62	65	200	1035	1100	1132	105974	106777	106910
24:00	4053	541	375	375	350	110	110	110	21	4981	095	62	65	220	1095	1092	1128	107703	107281	106655

Catatan :

LEPAS PKUL : 11.32

masuk PKUL : 13.00

} BANGGUAN JARINGAN

23-58 Daya dimatikan air naik

14:00 - Daya diturunkan untuk PEMBERSIHAN U.S

14:30 - Daya diturunkan kembali untuk penambahan beban U.S

16:57 - Daya diturunkan kurang air

17:15 - Daya diturunkan / kurang air

20:19 - Lepas - Paralel 21.05 Jaringan

P

PT. MALEA ENERGY
DATA OPERASI PLTM



UNIT : 6
TANGGAL : 17-8-2020

Time	Daya (KW)	Q (KVA R)	Generator						Freq (Hz)	Cos φ	Excitation			NP-4 Out Going to Line Distribution					
			Arus (Amp)			Tegangan (kV)					Gen Voltage	Field Voltage	Field Current	Arus (Amp)			Tegangan (kV)		
			R	S	T	R	S	T						R	S	T	R	S	T
0:30	4554	405	400	425	400	120	120	120	4985	0.95	62	70	240	1171	1224	1246	107021	107017	106815
1:00	4623	467	400	425	400	120	120	120	8000	0.95	62	70	240	1164	1230	1246	107674	107221	106532
1:30	4523	407	400	425	400	120	120	120	4995	0.95	62	70	240	1182	1237	1259	107684	107040	106937
2:00	4586	461	400	425	400	120	120	120	4981	0.95	62	70	240	1171	1223	1249	107757	107335	106936
2:30	4565	442	400	425	400	120	120	120	5008	0.95	62	70	240	1179	1236	1251	107853	107335	106695
3:00	4561	437	400	425	400	120	120	120	4995	0.95	62	70	240	1169	1219	1264	107403	107400	106600
3:30	4569	418	400	425	400	120	120	120	4982	0.95	62	70	240	1165	1242	1261	107730	107390	106649
4:00	4570	394	400	425	400	120	120	120	5012	0.95	62	70	240	1171	1234	1285	107907	107349	106641
4:30	4560	430	400	425	400	120	120	120	4989	0.95	62	70	240	1177	1210	1246	107403	107431	106677
5:00	4573	437	400	425	400	120	120	120	5006	0.95	62	70	240	1172	1230	1253	107800	107494	106658
5:30	4550	406	400	425	400	120	120	120	5000	0.95	62	70	240	1168	1218	1253	107667	107267	106641
6:00	4581	407	400	425	400	120	120	120	4990	0.95	62	70	240	1171	1224	1251	107362	107213	106346
6:30	4557	375	400	425	400	120	120	120	5001	0.95	62	70	240	1172	1224	1259	107458	106900	106121
7:00	4540	407	400	425	400	120	120	120	4996	0.95	62	70	240	1178	1225	1268	107077	106763	105892
7:30	4560	407	400	425	400	120	120	120	4993	0.95	62	70	240	1180	1219	1261	107077	106810	105892
8:00	5094	564	450	475	450	130	130	130	4985	0.95	61	75	250	1332	1384	1415	107417	107049	106287
8:30	5117	748	450	475	450	130	130	130	4998	0.95	61	75	250	1329	1388	1419	107390	106809	106016
9:00	5035	820	450	475	450	130	130	130	4995	0.95	61	75	250	1338	1394	1429	107199	106709	106283
9:30	5006	840	450	475	450	130	130	130	4996	0.95	61	75	250	1335	1392	1421	107244	106691	106287
10:00	5088	851	450	475	450	130	130	130	5005	0.95	61	75	250	1386	1393	1425	107251	106606	105983
10:30	5549	683	500	525	500	150	150	150	4990	0.95	61	75	260	1407	1512	1542	106831	106287	106294
11:00	5136	685	500	525	500	150	150	150	5014	0.95	61	75	260	1446	1509	1546	106839	106292	106296
11:30	5509	664	500	525	500	150	150	150	5002	0.95	61	75	260	1472	1518	1534	106913	106205	106168
12:00	5537	707	500	525	500	150	150	150	5003	0.95	61	75	260	1435	1512	1537	106913	106260	106114
12:30	5541	643	500	525	500	150	150	150	5001	0.95	61	75	260	1431	1509	1532	106911	106291	105516
13:00	5518	662	500	525	500	150	150	150	4994	0.95	61	75	260	1438	1502	1529	107077	106409	106168
13:30	5526	623	500	525	500	150	150	150	5020	0.95	61	75	260	1435	1503	1528	107026	106112	106169

6
17-09-2020

14:00	8539	655	500	525	800	150	150	150	4990	095	61	75	260	1440	1511	1523	10702	106340	105606
14:30	5528	678	500	525	800	150	150	150	5006	095	61	75	260	1442	1517	1528	10705	106343	105612
15:00	5526	606	500	525	800	150	150	150	4999	095	61	75	260	1431	1506	1532	107012	106405	105552
15:30	5515	604	500	525	800	150	150	150	4999	095	61	75	260	1432	1504	1527	107011	106406	105527
16:00	5520	721	500	525	800	150	150	150	4994	095	61	75	260	1438	1508	1537	106913	106347	105665
16:30	5501	700	500	525	800	150	150	150	4994	095	61	75	260	1424	1502	1531	106806	106164	105402
17:00	5492	646	500	525	800	150	150	150	5007	095	61	75	260	1413	1493	1533	106927	106308	105779
17:30	5533	601	500	525	800	150	150	150	5007	095	61	75	260	1426	1500	1529	106044	106347	105739
18:00	5485	589	500	525	800	150	150	150	5209	035	61	75	260	1446	1514	1543	106763	106301	105497
18:30	5025	931	500	525	800	135	135	135	4984	035	61	75	260	1327	1372	1410	106192	105566	105116
19:00	5036	917	475	475	450	135	135	135	4994	095	62	75	250	1333	1373	1416	105579	105404	104600
19:30	5067	676	475	475	450	135	135	135	5011	035	62	75	250	1330	1360	1415	105906	105993	104694
20:00	5070	619	475	475	450	135	135	135	4999	095	61	75	250	1330	1309	1431	105979	105779	104735
20:30	5009	581	475	475	450	135	135	135	4994	095	62	75	250	1341	1307	1429	106110	105797	104904
21:00	5102	434	475	475	450	135	135	135	5002	035	62	75	250	1345	1388	1426	106169	105824	105143
21:30	5123	706	475	475	450	135	135	135	5015	095	62	75	250	1327	1392	1421	106401	106201	105361
22:00	5534	657	500	525	800	150	150	150	4901	095	62	75	260	1437	1497	1530	107608	107213	106450
22:30	5547	647	500	525	800	150	150	150	4990	095	62	75	260	1421	1493	1510	107703	107267	106510
23:00	5516	571	500	525	800	150	150	150	5601	095	62	75	260	1427	1508	1511	107967	107203	106668
23:30	5453	576	500	525	800	150	150	150	4986	035	62	75	260	1415	1483	1500	107962	107403	106655
24:00	5411	576	500	525	800	150	150	150	5017	095	62	75	260	1397	1459	1480	108030	107937	106809

Catatan : info untuk semua karyawan perum yang menjaga agar keranya meletak di catatan longsheet waktu ketika trip (jam trip). Beserta dengan keterangannya.

PKL 18-09. Danya di kurangkan 500 (kurang air)

PKL 21-09. Danya di naikan (terobok) jadi 5.5 perum (pergantian orang cleaning)

PT. MALEA ENERGY
DATA OPERASI PLTM

UNIT : 6
TANGGAL : 15-8-2020

Time	Daya (KW)	Q (KVA R)	Generator						Freq (Hz)	Cos φ	Excitation			NP-4 Out Going to Line Distribution					
			Arus (Amp)			Tegangan (kV)					Gen Voltage	Field Voltage	Field Current	Arus (Amp)			Tegangan (kV)		
			R	S	T	R	S	T						R	S	T	R	S	T
0:30	5002	492	500	525	500	150	150	180	50.09	0.91	62	75	260	1279	1341	1364	108016	107526	106791
1:00	5232	512	495	520	500	150	150	180	50.01	0.91	62	75	260	1279	1359	1371	108014	107402	106781
1:30	5061	473	495	520	500	150	150	180	49.82	0.91	62	75	260	1291	1351	1377	108016	107477	106779
2:00	4989	462	475	500	500	150	150	180	50.06	0.91	62	75	260	1286	1339	1363	108098	107608	106819
2:30	4896	475	475	500	500	150	150	180	49.97	0.91	62	75	260	1258	1308	1341	108139	107648	107022
3:00	4760	428	475	500	500	150	150	180	49.92	0.91	62	75	260	1211	1271	1293	108179	107567	106948
3:30	3675	539	475	500	500	150	150	180	50.05	0.91	62	75	260	0.979	0.973	1026	100.156	107546	106887
4:00	3735	539	380	350	450	150	150	180	49.97	0.95	62	65	220	0.955	1.004	1.043	07.079	107539	106832
4:30	3746	533	475	500	500	150	150	180	49.92	0.95	62	65	220	0.970	1.011	1.049	107.785	107526	106818
5:00	3786	556	350	350	350	100	100	120	50.09	0.95	62	65	220	0.993	1.061	1.063	107.730	107.444	106783
5:30	3792	631	350	350	350	100	100	120	49.94	0.95	62	65	220	0.987	1.039	1.077	107.580	107.407	106695
6:00	3812	612	350	350	350	100	100	120	50.02	0.95	62	65	220	1.014	1.052	1.099	107.213	107.090	106314
6:30	3845	594	350	375	350	100	100	120	49.81	0.95	62	65	220	1.004	1.049	1.097	106.576	107.360	106873
7:00	4589	663	425	450	425	120	120	120	49.97	0.95	62	70	240	1.191	1.243	1.285	106.478	106.239	105511
7:30	4590	739	425	450	425	120	120	120	49.98	0.95	62	70	240	1.225	1.258	1.301	106.260	106.028	105266
8:00	4570	808	425	450	425	120	120	120	49.93	0.95	62	70	240	1.202	1.253	1.292	106.287	105.819	105110
8:30	4593	761	425	450	425	120	120	120	49.89	0.95	62	70	240	1.224	1.258	1.302	106.096	105.918	104926
9:00	4516	837	425	450	425	120	120	120	49.91	0.95	62	70	240	1.240	1.305	1.305	105.416	104.007	104503
9:30	4596	947	425	450	425	120	120	120	50.04	0.95	62	70	240	1.206	1.261	1.283	106.042	105.893	105116
10:00	4561	936	425	450	425	120	120	120	49.96	0.95	62	70	240	1.230	1.268	1.295	105.212	105.997	104817
10:30	4589	824	425	450	425	120	120	120	50.02	0.95	62	70	240	1.225	1.279	1.301	105.556	105.988	104779
11:00	4540	461	425	450	425	120	120	120	49.90	0.95	62	70	240	1.222	1.265	1.277	104.478	104.092	103659
11:30	3815	385	275	300	275	80	80	90	50.06	0.95	62	70	200	974	977	1051	106.505	106.572	105987
12:00	4015	202	200	200	175	50	50	60	49.84	0.95	60	55	180	1033	1110	1159	106.578	106.578	105937
12:30	4588	506	425	450	425	120	120	120	49.88	0.95	62	70	240	1.283	1.298	1.273	106.927	106.369	105865
13:00	4561	396	425	450	425	120	120	120	49.89	0.95	62	70	240	1.180	1.249	1.273	107.213	106.682	106205
13:30	4589	559	425	450	425	120	120	120	50.05	0.95	62	70	240	1.203	1.248	1.280	106.845	106.233	105747

6 18-8-20

14:00	2500	539	425	450	425	120	120	120	4992	0.95	62	70	290	1164	1258	1311	106709	106491	106164
14:30	1560	459	150	170	150	20	20	20	4994	0.95	62	55	180	1055	1122	1878	106505	106287	105816
15:00																			
15:30																			
16:00	3692	442	325	350	325	100	100	100	4994	0.95	6	60	200	987	1021	1054	104921	104313	103741
16:30	3597	477	325	350	325	100	100	100	5008	0.95	6	60	200	988	1022	1053	104922	104314	103745
17:00	3742	377	325	350	325	100	100	100	5001	0.95	6	60	200	1030	1069	1061	105024	104667	103932
17:30	3754	184	325	350	325	100	100	100	4953	0.95	6	60	200	1033	1035	1063	105049	104871	104231
18:00	3795	935	325	350	325	100	100	100	4995	0.95	6.1	65	220	1032	1073	1067	106207	106015	105361
18:30	4165	494	375	400	375	110	110	110	4998	0.95	6.1	65	220	1109	1156	1187	104640	104531	103796
19:00	4575	853	425	450	425	120	120	120	5010	0.95	6.1	70	240	1128	1221	1264	105184	104930	104218
19:30	4544	035	425	450	425	120	120	120	4997	0.95	6.1	70	240	1224	1246	1296	105116	104966	104258
20:00	4576	289	425	450	425	120	120	120	4998	0.95	6.1	70	240	1216	1237	1287	105497	105136	104381
20:30	4562	891	425	450	425	120	120	120	5004	0.95	6.1	70	240	1208	1234	1286	105145	104902	104435
21:00	4564	645	425	450	425	120	120	120	4994	0.95	6.1	70	240	1211	1246	1285	105579	105152	104817
21:30	4535	843	425	450	425	120	120	120	4996	0.95	6.1	70	240	1181	1234	1264	105633	105193	104885
22:00	4517	444	425	450	425	120	120	120	5002	0.95	6.1	70	240	1195	1222	1270	105347	105197	105021
22:30	4525	589	425	450	425	120	120	120	4998	0.95	6.1	70	240	1196	1224	1271	105946	105192	105012
23:00	4505	574	425	450	425	120	120	120	4953	0.95	6.1	70	240	1172	1219	1245	106886	106600	105947
23:30	4575	577	400	425	400	100	100	100	4998	0.95	6.1	65	220	1026	1072	1114	106072	106655	105838
24:00	4036	304	375	400	350	100	100	100	4906	0.95	62	65	210	1038	1003	1113	107473	107049	106307

Catatan : Pukul 24.15 daya diturunkan karena kurang air

PK 6.47 daya dinaikkan dari 3,3M menjadi 4.5M

10.57 Daya diturunkan #5 RUNNING TEST(U sinker 1 MW)

12.17 Daya dinaikkan kembali US OFF.

13.49 Daya diturunkan #5 RUNNING test(11)

19.08 daya diturunkan #5 3MW

pukul. 18.05 → daya 41mw #

pukul 18.42 → daya 45mw + 500

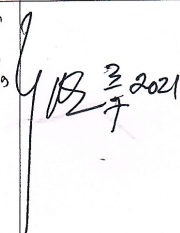
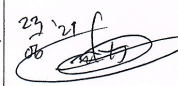
pukul 23.07-0 daya 4.1mw - 500

u-6. Paralel kbl PK # 15.26 tukar unit 5

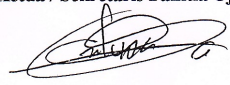
LEMBAR REVISI JUDUL SKRIPSI

Nama : Nursyamsi Lika Tondok
 NIM : 442 18 058

Catatan Daftar Revisi Penguji :

No	Nama	Uraian	Tanda Tangan
1.	Marhatang, S.S.T., M.T.	<ul style="list-style-type: none"> - Lengkapi daftar simbol dengan satuan - Perbaiki penulisan 5.26 pada hal. xiii - Perbaiki penulisan satuan: Chul.1, dxq.) - Perbesar gambar 2.15, qh. 2.18, qbr. 2.19 dan tabel 4.5 - Tambahkan data CTz pada tabel 4.4 dan tabel 4.5 - Tambahkan analisis perhitungan secara manual utk. dibandingkan dgn ETAP - Tambahkan nilai konstrain pada kesimpulan 	 23/21/2021
2.	Sukma Abadi, S.T., M.T.	<ul style="list-style-type: none"> - Tabel 3.1 dihilangkan saja - Perbesar tabel analisis dengan tambahkan keterangan PERAL BEKERJA atau DAK. 	 23/21/2021

Makassar, 19 September 2020
 Ketua / Sekretaris Panitia Ujian Sidang,



Sukma Abadi, S.T., M.T.
 NIP.

Catatan: Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir konfirmasi secepatnya ke bagian Akademik.