

TUGAS AKHIR

**ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA GENERATOR
TURBINE UAP MENGGUNAKAN RELAY ARUS LEBIH DI
PABRIK KELAPA SAWIT PT. BUMI SAMA GANDA**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

ARIEF RAMADHAN

1907220059



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Arief Ramadhan
NPM : 1907220059
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Generator Turbine
Uap Menggunakan Relay Arus Lebih Di Pabrik Kelapa Sawit
PT.Bumi Sama Ganda
Bidang ilmu : Sistem Tenaga Listrik

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 27 September 2023

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



Ir. Abdul Azis Hutasuhut, MM

Dosen Pembimbing I / Penguji



Noorly Evalina, ST, MT

Dosen Pembimbing II / Peguji



Rohana, ST, MT



Faisal Irsan Fasaribu, S.T., M.T.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Arief Ramadhan
Tempat /Tanggal Lahir : Lhokseumawe/1 Desember 2000
NPM : 01907220059
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Generator Turbine Uap Menggunakan Relay Arus Lebih Di Pabrik Kelapa Sawit PT. Bumi Sama Ganda”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2023

Saya yang menyatakan,



Arief Ramadhan

ABSTRAK

ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA GENERATOR TURBINE UAP MENGGUNAKAN RELAY ARUS LEBIH DI PABRIK KELAPA SAWIT PT. BUMI SAMA GANDA

ARIEF RAMADHAN

Program Studi Teknik Elektro

Email : arieframadhan965@gmail.com

Generator merupakan sebuah alat yang memproduksi energi listrik yang sangat penting pada pusat pembangkit, sehingga untuk mencegah hal yang tidak diinginkan terjadi maka dipasangkanlah sebuah proteksi supaya terhindar dari macam gangguan. Rele proteksi adalah peralatan listrik yang dirancang khusus untuk memisahkan bagian sistem tenaga listrik dan untuk mengoperasikan sinyal apabila terjadi gangguan pada sistem. Rele proteksi yang di gunakan untuk memproteksi generator dari gangguan hubung singkat adalah Relay Arus Lebih (OCR) Gangguan arus hubung singkat dapat dihindari dengan cara penyetelan rele dan menentukan penyetelan rele arus lebih di generator untuk menjaga keandalan dan stabilitas sistem tenaga listrik serta untuk perlindungan dari kerusakan generator. Pada saat melakukan pengujian perhitungan dan pengkajian data yang telah diambil, hasil akan diperbandingkan agar bisa mendapatkan hasil selisih yang lebih baik serta aman untuk proteksi arus lebih pada generator. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui seberapa besar gangguan hubung singkat yang terjadi dan perbandingan setting hasil perhitungan dengan setting eksisting dari PLTU PT. Bui Sama Ganda. Metode yang digunakan yaitu melakukan perhitungan secara matematis, sehingga hasil perhitungan akan diperbandingkan dengan data eksistingnya yang diperoleh dari PLTU PT. BUMI SAMA GANDA sendiri. Hasil dari perhitungan menunjukkan I_n (Arus Nominal) memiliki selisih sebesar 4,97 %, I_s (Arus Setting) memiliki selisih sebesar 5,5 %, TMS(Time Multiplier Setting) memiliki selisih sebesar 16 %, dan top(Time Operation) memiliki selisih sebesar 6,6%.

Kata kunci : Generator, Proteksi, Hubung Singkat, Relay Arus Lebih (OCR)

ABSTRACT

ANALYSIS OF SHORT CIRCUITS IN STEAM TURBINE GENERATORS USING OVER CURRENT RELAYS IN PT. BUMI SAMA GANDA

ARIEF RAMADHAN

Program Studi Teknik Elektro

Email : arieframadhan965@gmail.com

The generator is a device that produces electrical energy that is very important at the generator center, so that to prevent unwanted things from happening, a protection is placed to avoid any kind of interference. Protection relay is electrical equipment specifically designed to separate parts of the electric power system and to operate signals in the event of a system failure. Interference with short circuit current can be avoided by adjusting the relay and determining the adjustment of overcurrent relay in the generator to maintain the reliability and stability of the electric power system and for protection from damage to the generator. At the time of testing the calculation and assessment of the data that has been taken, the results will be compared to get better results and be safe for protection of overcurrent on the generator. The purpose of this study is to compare the settings of the calculation results with the existing settings of the Kedung Ombo hydropower plant. The method used is to do mathematical calculations, so the calculation results will be compared with the existing data obtained from the Kedung Ombo hydropower itself. The results of the calculation show that I_n (Nominal Flow) has a difference of 4,97%, I_s (Setting Flow) has a difference of 5,5%, TMS (Time Multiplier Setting) has a difference of 16%, and top (Time Operation) has a difference of 6,6%.

Keywords: Generator, Protection, Short Circuit, Over Current Relay

KATA PENGANTAR

Assalamua'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Gangguan Hubung Ssingkat Pada Generator Turbine Uap Mmenggunakan Relay Arus Lebih Di Pabrik Kelapa Sawit PT. Bumi Sama Ganda” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan. Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus kepada:

1. Ayahanda tercinta Agus Budi Santoso, Ibunda tercinta Yuni, serta seluruh keluarga yang telah memberikan bantuan moril maupun materil serta nasehat dan doanya untuk penulis demi selesainya Tugas Akhir ini.
2. Bapak **Prof. Dr. Agussani, M.A.P** selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
3. Bapak **Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan perhatian sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Bapak **Dr. Ade Faisal M. Sc., Ph.D.**, selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
5. Bapak **Affandi, S.T., M.T.**, selaku Wakil III Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
6. Bapak **Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.**, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
7. Ibu **Elvy Sahnur, S.T., M.T.**, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
8. Bapak **Ir. Abdul Azis Hutasuhut, M.M.**, selaku Pembimbing dalam tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingannya, masukan dan bantuan sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik.

9. **Ibu Noorly Evalina, ST., MT.** Selaku Penguji I dalam tugas akhir ini yang telah bersedia menguji dan memberi masukan dan saran terhadap tugas akhir
10. **Ibu Rohana, ST., MT.** Selaku Penguji II dalam tugas akhir ini yang telah bersedia menguji dan memberi masukan dan saran terhadap tugas akhir
11. Seluruh Dosen dan Staff Pengajar di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
12. Seluruh rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Program Studi Teknik Mesin khususnya kelas A1 Pagi yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis dengan memberikan masukan-masukan yang bermanfaat selama proses perkuliahan maupun dalam penulisan Tugas Akhir ini.
13. Seluruh staff Tata Usaha di biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan tidak luput dari kekurangan, karena itu dengan senang hati dan penuh lapang dada penulis menerima segala bentuk kritik dan saran dari pembaca yang sifatnya membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini. Akhir kata penulis mengharapkan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT selalu merendahkan hati atas segala pengetahuan yang kita miliki. Amiin ya rabbal alamin.

Wassalamua'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 27 Februari 2023

ARIEF RAMADHAN

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	4
2.2 Landasan Teori	16
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap	16
2.2.1.1 Komponen PLTU	17
2.2.2 Generator	27
2.2.2.1 Prinsip Kerja Generator.....	30
2.2.2.2 Bagian Generator	32
2.2.3 Proteksi	34
2.2.3.1 Over Current Relay (OCR)	38
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	47
3.1 Lokasi Dan Waktu	47
1.1.1 Lokasi	47
1.1.2 Waktu.....	47
3.2 Data	47
3.2.1 Data Spesifikasi Generator	48
3.2.2 Data Panel	48

3.2.3 Data OCR	48
3.2.4 Data Spesifikasi Trafo	49
3.2.5 Data Daya Listrik Terpakai	49
3.2.6 Data Reaktansi	50
3.3 Flow Chart Penelitian	50
3.4 Metode Studi Literatur	51
BAB 4 ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1 Analisis Gangguan Hubung Singkat	52
4.2 Analisis Setting Waktu	59
4.3 Kinerja OCR	61
4.4 Analisa Uraian Hasil Penelitian	63
BAB 5 PENUTUP	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konstanta Karakteristik Setting Waktu	41
Tabel 3.1 Waktu Penelitian	46
Tabel 3.2 Spesifikasi Generator	47
Tabel 3.3 Data Panel	47
Tabel 3.4 Data OCR	47
Tabel 4.5 Spesifikasi Trafo	48
Tabel 4.6 Data Daya Listrik Terpakai	48
Tabel 4.7 Data Reaktansi	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Boiler	17
Gambar 2.2 Turbine	20
Gambar 2.3 Generator	23
Gambar 2.4 Panel Kontrol Listrik	24
Gambar 2.5 Trafo Daya	26
Gambar 2.6 Generator - Turbine.....	30
Gambar 2.7 Diagram Sistem Eksistensi	30
Gambar 2.8 Pembangkit Tenaga Induksi	31
Gambar 2.9 Tegangan Rotor yang dihasilkan melalui cincin seret dan komulator	31
Gambar 2.10 Rotor Dan Stator	32
Gambar 2.11 Sistem Generator PMG	32
Gambar 2.12 Over Current Relay (OCR)	39
Gambar 2.13 Rangkaian Relay Arus Lebih	39
Gambar 2.14 Grafik IDMT OCR	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik menjadi salah satu kebutuhan utama dalam menjalankan sebuah perusahaan agar tetap beroperasi setiap waktu untuk mencapai target pengolahan, dengan target tersebut dibutuhkan penyuplai energy listrik yang mumpuni agar bisa menyamakan pengeluaran energy yang di gunakan oleh perusahaan, perusahaan pengolahan buah sawit (PKS BSG) menggunakan Generator yang digerakkan oleh turbin bertenaga uap.

Turbine Generator merupakan alat yang akan menyuplay energy listrik ke perusahaan untuk di gunakan, dimulai dari boiler yang menghasilkan uap bertekanan dan di arahkan ke turbine untuk memutar shaft yang menghubungkan turbine ke generator, bahan pembakaran menggunakan cangkang dan serat dari buah sawit, sehingga perusahaan dapat mengefisiensikan pengeluaran dana, Listrik yang dihasilkan dari generator tersebut langsung di suplay ke seluruh terminal yang ada dalam perusahaan(Harsono et al., 2014)

Tentu Turbine Generator tidak bisa di pastikan bertahan tanpa adanya gangguan, dengan menyuplay energy listrik ke seluruh terminal secara terus menerus, dengan berkembangnya suatu perusahaan, tentu pastinya energy listrik yang di gunakan menjadi lebih besar dari sebelumnya, dengan begitu proteksi yang di gunakan haruslah sama dengan gangguan yang terjadi yaitu proteksi arus lebih /OCR (Over Current Relay), proteksi ini bekerja saat terjadi beban dan arus lebih untuk melindungi Generator agar tidak terjadi kerusakan.(Binoto & Sriwinarno, 2019)

Proteksi arus lebih OCR merupakan proteksi yang menggunakan arus lebih sebagai pemicu aktif nya PMT untuk melindungi Generator maka dari itu dibutuhkan analisa untuk mengetahui permasalahan dan solusi serta hasil untuk beban lebih pada Generator maka peneliti mengambil judul Analisa Gangguan Hubung Singkat Pada Generator Turbine Uap Menggunakan Relay Arus lebih Di Pabrik Kelapa Sawit PT. Bumi Sama Ganda.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

- 1 Bagaimana menganalisa Gangguan Hubung Singkat pada Generator Turbine Uap ?
- 2 Bagaimana menganalisa perhitungan waktu yang dibutuhkan Proteksi Arus Lebih pada gangguan hubung singkat Generator Turbine Uap ?
- 3 Bagaimana menentukan Kinerja OCR terhadap gangguan yang terjadi pada Generator?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah :

- 1 Menganalisa Gangguan Hubung Singkat pada Generator Turbine Uap
- 2 Menganalisa perhitungan waktu yang dibutuhkan Proteksi Arus Lebih pada gangguan hubung singkat Generator Turbine Uap
- 3 Menentukan Kinerja OCR terhadap gangguan yang terjadi pada Generator?

1.4 Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi :

1. Pada saat menganalisa proteksi arus lebih ini tidak membahas proteksi lain
- 2 Tidak membahas tentang Boiler dan Turbine
- 3 Membahas gangguan yang terjadi pada pembangkit yaitu generator

1.5 Manfaat Penelitian

1. Manfaat bagi universitas

Penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk menambah referensi sebagai bahan penelitian lanjutan yang lebih mendalam pada masa yang akan datang.

2. Manfaat bagi mahasiswa

Penelitian ini diharapkan dapat memberi kontribusi bagi pengembang teori utama untuk penelitian di masa yang akan datang. Dan ebagai bahan acuan untuk meningkatkan ilmu pengetahuan tentang kelistrikan dan pembangkit listrik tenaga uap

2 Manfaat bagi perusahaan

Penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk menganalisa permasalahan yang sama sehingga dapat menghemat waktu dalam menganalisa permasalahan yang terjadi

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Fitriyani et al., 2015) tentang evaluasi setting relay yang berjudul “Evaluasi Setting Relay Proteksi Pada Generator Dan Trafo Generator Di PLTGU Tambak Lorok Blok 1” yang menjelaskan permasalahan yang terjadi karena Sejak 2011 hingga saat ini setting relay proteksi di PLTGU Tambak lorok Blok 1 belum dievaluasi, sehingga untuk menghindari kesalahan kerja dari relay proteksi ini maka akan dilakukan evaluasi setting relay proteksi pada PLTGU Tambak Lorok Blok 1 khususnya relay proteksi pada generator dan trafo generator dengan menggunakan software ETAP 12.6.0, dan penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa hasil Setelah dilakukan evaluasi setting relay proteksi generator dan trafo generator di PLTGU Tambak Lorok Blok 1, maka didapatkan hasil bahwa untuk setting relay diferensial, relay keseimbangan tegangan, relay daya balik, relay hilangnya eksitasi, relay eksitasi lebih dan over frequency relay masih layak untuk digunakan, akan tetapi untuk relay urutan negatif, relay arus lebih dan under frequency relay mengalami perubahan dari nilai eksisting.

Selanjutnya penelitian dari (Amin, 2012) yang meneliti tentang system proteksi yang berjudul “Sistem Proteksi Generator Turbin Uap (Studi Kasus : Pabrik Gula Camming)” yang menjelaskan tentang Gangguan yang dapat menyebabkan kerusakan yang fatal pada peralatan listrik adalah hubung singkat. Gangguan-gangguan hubung singkat yang sering terjadi pada generator adalah hubung singkat antar fasa, hubung singkat antar lilitan, hubung singkat dengan tanah pada belitan rotor dan hubung singkat antar lilitan pada belitan rotor. Gangguan ini akan menimbulkan kondisi abnormal, sehingga dapat menggunakan proses produksi dari industri ini. Kondisi abnormal ini harus ditanggulangi dan diperbaiki dengan cepat sebelum menimbulkan kerusakan yang berat pada generator dan sistem disekitar generator. Dengan itu didapatkan hasil dari penelitian yaitu kehandalan system proteksi generator pada Pabrik Gula Camming tahun 1996 sampai 2003 konfigurasi kehandalannya adalah 1. Tahun 2004 sampai 2007 dengan konfigurasi seri kehandalannya 0,9994, konfigurasi parallel kehandalannya 1 dan konfigurasi

cadangannya 0,9995. Tahun 2008 hingga 2011 dengan konfigurasi seri dan paralel keanggalannya 1 sedangkan konfigurasi cadangan 0,9998. Tahun 2012 dengan konfigurasi seri keandalannya 0,9998, konfigurasi parallel keandalannya 0,0007 dan konfigurasi cadangan keandalannya 1. Ini memperlihatkan bahwa keandalan sistem proteksi generator pada Pabrik Gula Camming diklasifikasikan sangat baik.

Selanjutnya penelitian dari (Yunitasari et al., 2021) yang meneliti tentang system proteksi OCR yang berjudul “Sistem Proteksi Over Current Relay Motor Forced Draft Fan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap” yang menjelaskan tentang Gangguan yang mungkin terjadi saat motor beroperasi, salah satunya disebabkan oleh arus berlebih atau kipas pada mesin Forced Draft Fan (FDFan) yang terhalang karena terdapat beberapa kotoran yang mengakibatkan beban berlebih. Dan peneliti menggunakan relay arus lebih karena relay yang bekerja saat ada kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dan dalam jangka waktu tertentu, sehingga relay ini dapat dipakai sebagai pola pengaman arus lebih dan peneliti juga memiliki pembahasan bahwa Relay over current merupakan salah satu relay proteksi penting dalam motor FDFan, karena relay mencegah dari arus yang berlebih pada motor.

Selanjutnya penelitian dari (Marpaung et al., 2021) yang meneliti tentang kinerja AVR yang berjudul “Studi Perubahan Beban Terhadap Kinerja AVR Pada Generator Sinkron Unit 2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Ubjom Tenayan Raya” masalah dari penelitian ini adalah Dengan dihasilkannya daya yang cukup besar, maka perubahan beban yang terjadi pada generator akan mempengaruhi kinerja dari AVR. Besar perubahan beban yang terjadi dapat dilihat dari data harian atau logsheet generator pada tanggal 25 juli 2020 beban berubah sebesar 17 % dari nilai nominalnya (Nameplate). Untuk itu diharapkan peran AVR bekerja maksimal dalam setiap perubahan beban yang terjadi, sehingga penulis ingin menganalisa kinerja AVR pada perubahan beban pada pembangkit unit 2 agar life time dari generator ini bisa lebih panjang dan menguntungkan Pihak perusahaan dan Pelanggan. Makadari itu penulis memiliki kesimpulan seperti :

1. Apabila tegangan keluaran generator telah meningkat melampaui tegangan nominalnya, maka perlu penambahan sudut penyalan Thyristor pada sistem AVR, begitu juga sebaliknya hingga eksitasi disesuaikan.

2. Kenaikan beban daya reaktif (induktif) dapat menyebabkan tegangan keluaran generator mengalami penurunan sehingga arus eksitasi harus diperbesar. Sedangkan kenaikan beban daya reaktif (kapasitif) dapat menyebabkan tegangan keluaran generator meningkat sehingga arus eksitasi perlu dikurangi.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh (Asy'ari et al., 2012) yang meneliti tentang pengembangan generator yang berjudul “Desain Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Atau Bayu (PLTB)” permasalahan yang diangkat di penelitian ini adalah penggunaan kincir angin/listrik dibutuhkan generator yang berjenis lowspeed dan tanpa energi listrik awal, karena biasanya ditempatkan di daerah-daerah yang tidak memiliki aliran listrik. Oleh sebab itulah, kami mengembangkan generator mini yang bisa digunakan pada kincir angin/air ataupun sumber penggerak yang lain. Generator yang dibuat haruslah murah, mudah dibuat, mudah perawatannya, lowspeed, high torque serta bisa dikembangkan (scaled up). Peneliti juga meberikan kesimpulan bahwa :

1. Generator magnet permanent dengan 10 kutup dan berjumlah 60 belitan dengan diameter kawat email 0,3 mm akan mengalami penurunan tegangan dari 38 V menjadi 27 V untuk antar fase dan untuk fase nol mengalami penurunan dari 20 V menjadi 17 V pada kondisi 1000 RPM.
2. Arus dan tegangan antar fase maupun fase dengan nol pun juga berbeda, untuk fase nol dengan 200 rpm menghasilkan arus dan tegangan 28,7 ma dan 4 v tetapi untuk antar fase dengan rpm yang sama menghasilkan arus dan tegangan 39,2 ma dan 8 v.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh (Cahyadi, D, 2015) yang meneliti tentang efisiensi generator yang berjudul “Analisa Perhitungan Efisiensi Turbine Ggenerator QFSN-300-2-20B Unit 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU Rembang” Masalah yang diangkat dari penelitian ini ialah Efisiensi dari generator yang akan mempengaruhi kinerja dari sistem PLTU. Semakin besar efisiensi generatornya maka keandalan sistem juga semakin baik. Selama 5 tahun beroperasi, diperkirakan efisiensi generator mengalami penurunan akibat beberapa faktor seperti sering terjadinya derating (penurunan beban) atau trip (unit shutdown), faktor lamanya pemeliharaan, kesalahan dalam pengoperasian dan perawatan serta faktor-faktor

lain. Oleh karena itu perlu dilakukan analisa terhadap efisiensi generator apakah generator masih dalam batasan kondisi yang andal atau tidak. Peneliti juga memiliki hasil yaitu diketahui nilai efisiensi generator secara desain sebesar $\pm 98\%$. Apabila dibandingkan dengan nilai efisiensi hasil perhitungan pada generator unit 10 dan 20 sebesar 93.15% dan 92.39%, nilai efisiensi Turbine Generator QFSN-300-2-20B pada PLTU Rembang saat ini telah mengalami penurunan sebesar $\pm 5\%$. Penurunan efisiensi ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya sudah melemahnya kemampuan kerja generator maupun meningkatnya rugi-rugi yang ada pada generator salah satunya adalah rugi-rugi mekaniknya. Rugi gesekan dapat disebabkan oleh gesekan bantalan dan gesekan udara (windage), yang disebabkan oleh turbulensi udara akibat rotasi jangkar. Faktor perawatan dapat mempengaruhi besarnya rugi gesekan. Pembersihan dan pelumasan yang tepat sangat penting dalam mengurangi gesekan bantalan.

Selanjutnya penelitian dari (Oloni Togu Simanjuntak, Ir. Syamsul Amien, 2016) yang meneliti tentang keandalan komponen yang berjudul “Studi Keandalan (Reliability) Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Labuhan Angin Sibolga” Masalah yang diangkat dari penelitian ini yaitu PLTU terdapat banyak sekali peralatan, mulai dari, boiler, turbin uap, generator, trafo, dan masih banyak lagi dengan jenis yang berbeda-beda. Pada pembangkit tersebut sering mengalami kerusakan pada pipa boiler yang sering diakibatkan gesekan campuran pasir dan batubara yang digunakan, akan tetapi generator dan trafo juga sering mengalami kerusakan sehingga perlu dilakukan pengecekan keandalan dari komponen-komponen tersebut. Pada keadaan ini generator dan trafo menjadi bahasan. Peneliti menggunakan metode keandalan dari sisi kualitas menggunakan persamaan kapasitas faktor yaitu menghitung energi yang dihasilkan selama setahun terhadap daya mampu dikalikan jam (setahun). Ketersediaanya perbandingan antara daya mampu terhadap daya terpasang. Sedangkan keandalan sisi kuantitas data yang diperoleh dianalisis dan dihitung menggunakan persamaan yang ada. Peneliti juga mendapat kan hasil dari perhitungan bahwa pada komponen Isolasi Slip Ring dilakukan Preventif Maintenance setiap 4750 jam sekali, interval waktu tersebut berguna untuk menjaga komponen Isolasi Slip Ring tersebut tetap berada pada keandalan minimum sebesar 0.8. sehingga diharapkan frekuensi kerusakan

komponen tersebut semakin berkurang untuk kedepannya. terlihat bahwa ketersediaan setelah di teliti lebih lama peneliti mendapatkan hasil baru yaitu Isolasi Slip Ring awalnya menurun namun setelah dilakukan maintenance ketersediaan Isolasi.

Selanjutnya penelitian dari (Eratama, 2022) yang meneliti tentang efisiensi turbin pada beban generator yang berjudul “Analisa Efisiensi Turbine Uap Pembangkit Listrik Tenaga Uap Kapasitas 7,5 MW” Masalah yang diangkat dari penelitian ini adalah peranan dari turbin bagi proses produksi listrik, maka perlu dilakukan analisa terhadap efisiensi turbin. Efisiensi dari turbin akan mempengaruhi kinerja sistem PLTU. Semakin besar efisiensi turbinnya maka keandalan sistem juga semakin baik peneliti juga memfokuskan Penelitian ini pada saat beban generator turun, ketika produksi kertas terputus dan saat generator normal operasional produksi. Dan Peneliti ini memberikan Kesimpulan bahwa Dari penelitian yang telah dilakukan di PT Mega Surya Eratama dapat disimpulkan bahwa besarnya daya turbin pada saat keadaan beban generator normal adalah sebesar 12.323,4 kJ/s. dan besarnya daya turbin pada saat beban generator turun adalah 6.184,31 kJ/s. Selanjutnya, efisiensi turbin pada saat beban generator normal adalah 61,27 % dan pada saat beban generator turun adalah 52,4 %.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh (Verta Asi et al., 2018) yang meneliti tentang system pembumian netral pada generator yang berjudul “Analisis Sistem Pembumian Netral Generator Pada Pembangkit” masalah yang diangkat dari penelitian ini ialah system pembumian ,dan peneliti menjelaskan Dalam suatu sistem pastinya dapat terjadi kesalahan atau gangguan sistem. Dalam hal ini terjadinya arus gangguan, dan bila itu terjadi maka arus gangguan yang ditimbulkan akan mengalir ketanah. Semakin besar arus gangguan dan busur api yang ditimbulkan akan semakin sulit untuk padam sendiri. Seiring dengan itu, apabila tegangan transien yang ditimbulkan semakin besar maka dapat menggaggu sistem dan merusak peralatan. Untuk mengatasi gangguan pada sistem tenaga listrik diperlukan rancang sistem yang disebut sistem pembumian yang berfungsi untuk mengalirkan arus gangguan ke tanah dengan menciptakan jalur resistansi pembumian dengan cara penanaman elektroda pembumian. Peneliti juga mendapatkan hasil perhitungan yang dilakukan, dengan tegangan sebesar 0.9868 didapat nilai tahanan Rg sebesar

358.9294 Ω . Pada data milik PLTU Sungai Batu nilai NGR atau tahanan R_g yang ditunjukkan adalah sebesar 360 Ω . Secara matematis dapat ditinjau antara data dan perhitungan memiliki selisih sebesar 1.0706 Ω ini dapat terjadi karena perubahan atau perluasan jaringan pada sistem tenaga, seperti penambahan bus, perubahan peralatan atau mesin yang digunakan yang dapat mengakibatkan perubahan pada data pembangkit atau jaringan khususnya pada nilai impedansinya. Sedangkan perbedaan signifikan yang dimiliki antara harga tahanan R_g dari tahanan tinggi dan tahanan rendah dipengaruhi dari harga Iset yang digunakan. Tahanan tinggi menggunakan Iset 10 A dan tahanan rendah menggunakan Iset 600A. Dipilih nilai tegangan pada fasa b dan Iset yang paling maksimal karena untuk mendapatkan nilai R_g yang maksimal pula.

Selanjutnya penelitian dari (Fahreza et al., 2019) yang meneliti tentang pengendalian frekuensi pada pembangkit listrik yang berjudul “Pemodelan Dan Pengendalian Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Pada Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Uap” metode yang digunakan ialah Data penelitian akan diambil dengan melakukan studi literatur, data dari logsheet. Kemudian dilakukan simulasi dengan software Matlab untuk mendapatkan nilai fungsi alih. Kemudian dibandingkan dengan kehandalan nilai PID pada sistem dan dengan kehandalan pada sistem tanpa pengendali PID. peneliti juga memiliki analisa terhadap governor tanpa PID dan governor dengan PID diketahui bahwa respon tanggapan governor dengan PID lebih cepat dibandingkan dengan governor tanpa PID. Untuk mendapatkan nilai PID yang stabil maka dilakukan eksperimen. Pada performansi governor yang tidak menggunakan sistem kontrol PID memiliki respon yang lebih lambat terhadap error dengan rise time 0,087 detik, settling time 5,02 detik dan Overshoot 76,5% dibandingkan dengan respon pada performansi pada governor dan generator tipe yang sama dengan menggunakan sistem PID. Hal ini dapat diketahui dengan melihat waktu nilai puncak generator tanpa PID adalah 0.087 detik dan overshoot 76.5% sedangkan rise time governor dengan PID adalah 0.087 detik. Dan overshoot pada governor dengan PID sudah menurun 11,2% dan settling time yang lebih cepat yaitu 4,81 detik . Setelah dilakukan eksperimen dengan melakukan tuning melalui metode trial-error nilai dari konstanta P, konstanta I dan konstanta D secara manual, maka didapatkan nilai konstanta P adalah 7, konstanta I adalah 4 dan konstanta D

adalah 4 yang memiliki performansi lebih baik dibandingkan dengan nilai pada governor tanpa PID Input PID ini memiliki respon yang cepat dan overshoot yang rendah. Hal ini diketahui dari waktu keadaan mantap yaitu 4,81 detik dan overshoot 11.2%.

Selanjutnya penelitian dari (Harsono et al., 2014) yang berjudul " Studi Pengaruh Beban Lebih Terhadap Kinerja Relay Arus Lebih Pada Transformator Daya Di Gardu Induk Pedan Menggunakan Etap" Transformator daya yang ada di gardu induk Pedan mengalami gangguan dengan berbagai jenis gangguan. Salah satu gangguan yang terjadi adalah beban lebih (overload). Transformator II mengalami gangguan beban lebih (overload) disebabkan karena pembangkit mengalami trip ketika terjadi gangguan internal pada pembangkit tersebut. Kejadian ini menimbulkan ketidaknyamanan terhadap konsumen dan kerugian terhadap pihak PLN. Melihat gangguan yang sering terjadi pada transformator II di gardu induk Pedan, dengan kapasitas transformator 30 MVA dan pembebanan 110% serta beban yang semakin meningkat setiap hari, PT. PLN (Persero) P3B Jawa Bali APP Salatiga Gardu induk Pedan dituntut harus melakukan penambahan jumlah transformator. Hal ini bertujuan untuk menghindari transformator dari gangguan-gangguan yang terjadi. Selain itu juga perlu melakukan pengaturan pembebanan ulang.

Terjadinya gangguan internal pada pembangkit yang berlangsung selama 0.267 jam (16 menit 2 detik) menyebabkan relai diferensial yang ada pada pembangkit tersebut bekerja memerintahkan PMT agar memutuskan hubungan listrik (trip). Transformator II yang ada di gardu induk Pedan bekerja sama dengan pembangkit untuk menyuplai beban ke penyulang (feeder). Inilah yang menyebabkan ketika terjadi trip pada pembangkit seluruh beban yang mengalir pada pembangkit harus ditampung oleh transformator II sehingga mengalami trip.

Hasil dari penelitiannya adalah Dari hasil perhitungan gangguan yang terjadi pada transformator II di gardu induk Pedan, gangguan yang terjadi sangat berpengaruh terhadap kinerja OCR. Semakin besar nilai gangguan yang terjadi, OCR akan bekerja semakin cepat. Sebaliknya, semakin kecil nilai gangguan yang terjadi, OCR akan bekerja semakin lama. Hal ini dapat dilihat dari nilai arus gangguan yang terjadi pada transformator yaitu sebesar 130.59 A. Nilai ini

merupakan nilai yang sangat kecil, maka OCR pun akan bekerja dalam waktu yang sangat lama terhitung dari gangguan terjadi yaitu 3 menit 25 detik.

Selanjutnya penelitian dari (Rahim et al., 2023) yang membahas tentang koordinasi reay yang berjudul “ Studi Koordinasi Relay Arus Lebih Pada Sistem Proteksi Generator Dan Transformator PLTA Bakaru “ yang menjelaskan tentang Keandalan sistem kelistrikan ditunjukkan ketika terjadi gangguan yang dapat mengganggu penyaluran energi listrik ke konsumen. Dalam suatu sistem kelistrikan tidak mungkin bebas dari gangguan. Gangguan dapat terjadi pada pembangkitan, transmisi dan distribusi tenaga listrik. Contohnya adalah kerusakan pada generator. Generator merupakan komponen yang sangat penting dalam pembangkitan energi listrik. Jika terjadi gangguan pada genset maka akan mengganggu proses produksi energi listrik dan dapat merusak genset itu sendiri. Selain gangguan pada generator, transformator daya juga mengalami salah satu gangguan tersebut. Permasalahan yang terjadi adalah Alasan tidak berfungsinya sistem kelistrikan adalah karena arus yang mengalir melalui lokasi gangguan lebih besar dari kapasitas penginderaan arus maksimum yang diperbolehkan, yang mengakibatkan kerusakan pada peralatan akibat pemanasan. Metode yang dipakai Pada penelitian ini analisis data dilakukan dengan menggunakan metode kuantitatif. Sehingga untuk menentukan setting overcurrent relay pada generator maka dibutuhkan indikator data seperti impedansi, arus hubung singkat, arus nominal. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan nilai yang sesuai atau tidak dengan hasil pengujian di lapangan, jika hasilnya sesuai maka selanjutnya akan dilakukan simulasi dengan menggunakan software ETAP. Apabila hasil yang didapatkan belum sesuai maka dilakukan perhitungan ulang dengan parameter yang berbeda. Dan hasil dari Pada penelitian ini analisis data dilakukan dengan menggunakan metode kuantitatif. Sehingga untuk menentukan *setting overcurrent relay* pada generator maka dibutuhkan indikator data seperti impedansi, arus hubung singkat, arus nominal. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan nilai yang sesuai atau tidak dengan hasil pengujian di lapangan, jika hasilnya sesuai maka selanjutnya akan dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* Etap. Apabila hasil yang didapatkan belum sesuai maka dilakukan perhitungan ulang dengan parameter yang berbeda.

Selanjutnya penelitian dari (Rimbawati et al., 2019) yang berjudul “Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator (Aplikasi Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Fakultas Teknik-Umsu)” yang menjelaskan tentang Pembebanan sistem interkoneksi selalu berubah-ubah setiap saat. Perubahan beban menyebabkan fluktuasi tegangan keluaran generator. Perubahan tegangan keluaran bisa menimbulkan bermacam-macam efek ke generator. Untuk menghasilkan tegangan keluaran generator yang konstan diperlukan suatu pengaturan tegangan keluaran generator. Pengaturan tegangan tersebut dilakukan dengan mengatur arus eksitasinya. Arus eksitasi adalah sistem pasokan listrik DC sebagai penguatan pada generator atau sebagai pembangkit medan sehingga suatu generator dapat menghasilkan energi listrik dengan besar tegangan keluaran generator bergantung pada besarnya arus eksitasi. Pengaturan arus eksitasi ini akan mempengaruhi tegangan terminal (tegangan keluaran) generator. Arus eksitasi yang tidak dikendalikan akan menyebabkan distribusi fluks menjadi tidak merata metode yang di gunakan Dengan memperbesar arus medan exciter hingga I_f tertentu maka tegangan terminal akan naik dari nol bertambah secara linear, sampai pada suatu titik arus eksitasi terjadi perubahan arah tegangan yang tidak lagi linear dan menuju suatu kondisi yang stasioner atau kondisi jenuh kemudian ketika I_f terus dinaikkan hingga pada titik tertentu maka tegangan tidak lagi mengalami perubahan harga atau konstan. generator yang muncul karena adanya medan magnet yang disebabkan oleh bantuan arus searah. Arus eksitasi sendiri adalah suatu arus yang diberikan pada kutub magnetik dengan mengatur besar kecil dari nilai arus eksitasi tersebut maka dapat memperoleh nilai tegangan output generator yang diinginkan serta daya reaktifnya. Arus eksitasi yang diatur pada generator yang bekerja dimana kondisi dari putaran tetap maka nilai dari fluks magnetik akan naik serta daya reaktif yang dibutuhkan juga akan mengalami kenaikan namun nilai dari daya reaktif yang tidak akan berubah sehingga akan mempengaruhi nilai dari faktor daya Dan peneliti mengambil kesimpulan Pengaturan arus eksitasi pada generator mempengaruhi nilai tegangan keluaran generator. Tegangan tersebut sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya arus eksitasi yang diberikan. Semakin besar arus eksitasi yang diberikan maka tegangan keluaran generator akan semakin besar. Pada beban R-L daya reaktif paling tinggi dicapai pada pengaturan arus eksitasi

sebesar 3,5 ampere dengan nilai daya reaktif sebesar 661,4 var. Sedangkan daya reaktif terendah di dapat pada pengaturan arus eksitasi sebesar 0,5 ampere dengan nilai sebesar 40,7 var. Pada beban R-C tegangan yang dihasilkan dari pengaturan arus eksitasi lebih rendah dari beban R-L sehingga daya reaktif yang dihasilkan juga lebih rendah. Pada beban R-C daya reaktif paling tinggi dicapai pada pengaturan arus eksitasi sebesar 3,5 ampere dengan nilai daya reaktif sebesar 616,93 VAr. Sedangkan daya reaktif terendah di dapat pada pengaturan arus eksitasi sebesar 0,5 ampere dengan nilai sebesar 38,8 VAr.

Selanjutnya Penelitian dari (Andriansah & Haryudo, 2020) yang berjudul “Sistem Pengaturan Beban Generator Satu Fasa Secara Otomatis Berbasis Arduino Uno” yang menjelaskan tentang pengaman generator Dalam mengatasi masalah tersebut maka peneliti membuat sistem pengaturan beban generator satu fasa secara otomatis berbasis arduino uno yang dapat mendeteksi serta mengamankan generator dari beban maksimal atau beban lebih, yakni dengan cara memutus beban terakhir yang menyebabkan berlebihnya kapasitas generator, tanpa memadamkan dan mengganggu beban yang sudah bekerja sebelumnya sehingga tidak terjadi kerusakan yang lebih parah pada generator. Naik turun tegangan hanya $\pm 10\%$, atau hanya $\pm 5\%$ untuk frekuensi, atau $\pm 10\%$ untuk jumlah naik turun tegangan dan frekuensi, maka pada umumnya dikatakan, bahwa motor dapat dipakai tanpa gangguan praktis pada keluaran nominal. Akan tetapi pada keadaan ini karakteristik akan berubah fakta ini harus sepenuhnya diberikan perhatian dalam pemilihan dan kerja motor. Metode yang digunakan dengan mempelajari tentang generator, overload, arduino dan komponen lain yang terkait dalam penelitian ini, kemudian desain sistem bertujuan untuk mengetahui konsep rangkaian alat keseluruhan yang nantinya akan di buat, rancangan alat sendiri meliputi rancangan hardware dan software. Ketika software dan hardware sudah selesai maka langkah selanjutnya yaitu pengambilan data, pengambilan data pada penelitian ini yang digunakan yaitu metode observasi. Data-data yang telah didapat dari observasi, pengamatan dan pengukuran secara langsung selanjutnya dianalisis. Adapun teknik Analisis datanya adalah sebagai berikut

a Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus dilakukan pada generator satu fasa, sensor yang digunakan yaitu sensor arus ACS712. Generator satu fasa ini menghasilkan daya maksimal 3000 Watt, akan tetapi setpoint yang digunakan yaitu sebesar 1000 Watt nilai ini akan menjadi acuan pembebanan overload. Ketika generator dibebani dengan beban maksimal atau bisa dikatakan overload maka akan terjadi peningkatan besaran. Apabila arus overload melampaui batas yang sudah ditetapkan menurut standar maka relai akan memutuskan beban yang terakhir yang menyala dan bebanyang lain tetap menyala.

b Pengujian Waktu Kerja Trip Relai

Kemudian dilakukan pengujian waktu kerja trip relai, pada saat generator di beri beban maksimal/overload, berapa waktu kinerja relai yang diperlukan untuk memutuskan beban terakhir yang melebihi kapasitas setpoint

Kesimpulan dari penelitian ini Setelah dilakukan pengujian Sistem Pengaturan Beban Generator Satu Fasa Secara Otomatis Berbasis Arduino Uno dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut : Kinerja dari sistem pengaturan beban generator satu fasa secara otomatis menggunakan arduino berhasil mengamankan gangguan overload yang melebihi kapasitas pembebanan yang sudah di atur 80 % dari beban 1250W yakni 1000W dengan arus sebesar 4.54A. ketika terjadi overload lampu indikator akan menyala dan kemudian relai akan memproteksi/mematikan grup yang mengalami overload tanpa mengganggu grup lainnya. Hasil dari pengujian pada sistem ini didapatkan akurasi pembacaan sensor arus memiliki rata-rata error sebesar 5.14%, dan sistem ini memiliki rata-rata waktu delay trip dari terjadinya gangguan overload sebesar 2,5 detik.

Selanjutnya penelitian dari (Noer, 2017) yang meneliti tentang pembebanan generator yang berjudul “Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Generator Di PLTG BORANG Dengan Menggunakan Software MATLAB “ permasalahan yang terjadi Untuk mengetahui nilai efisiensi generator dan rugi daya pada PLTG Borang, dilakukan perhitungan secara manual serta menggunakan software MATLAB, Perhitungan efisiensi generator dan rugi daya dengan menggunakan software MATLAB dilakukan dengan mengumpulkan data-data berupa daya dan arus beban terpakai generator. Berdasarkan hasil perhitungan

manual dan dengan menggunakan software MATLAB berbasis GUI, efisiensi tertinggi pada PLTG Borang didapat saat beban puncak sebesar 99,88 %. Sedangkan efisiensi terendah untuk hasil perhitungan manual didapat saat beban tertinggi sebesar 99,87 %. Dan hasil perhitungan rugi daya dengan perhitungan manual lebih kecil jika dibandingkan dengan menggunakan software MATLAB, rugi daya terkecil pada saat beban puncak adalah 0,0112 MW dan rugi daya terbesar pada saat beban puncak adalah 0,0136 MW. Efisiensi dan Rugi daya sangat dipengaruhi oleh daya dan arus beban yang terpakai. Semakin tinggi daya dan arus beban maka semakin tinggi efisiensi generator dan semakin kecil rugi daya pada generator. Pembahasan yang didapat Berdasarkan Data Pembebanan rata-rata arus dan tegangan pada table dibawah ini, dari tanggal 16-18 Maret 2016 maka dapat terlihat daya keluaran generator dari beban yang terpakai, yang kemudian dapat menghitung rugi daya pada generator dan efisiensi generator. Efisiensi yang didapat dari hasil perhitungan berdasarkan perbandingan daya keluaran terhadap daya masukkan dari tanggal 16 Maret 2016 sampai 18 Maret 2016 disini terlihat bahwa rata-rata efisiensi perhari pada generator tersebut berkisar antara 99.87% sampai 99.88 %. Jika semakin besar daya keluarannya atau daya yang terpakai maka tingkat efisiensi generator akan semakin tinggi karena efisiensi generator sangat dipengaruhi oleh beban yang terpakai yang sesuai dengan kemampuan dan kapasitas generator. Nilai hasil perhitungan rugi daya dan efisiensi dengan menggunakan matlab rata-rata lebih besar dibandingkan dengan perhitungan secara manual, hal ini dikarenakan jika menghitung menggunakan matlab maka hasil akan lebih akurat. Contohnya, jika menghitung secara manual maka kita mungkin akan membulatkan angka hanya menjadi 2 desimal, sedangkan di program matlab tetap menggunakan angka asli tanpa pembulatan. Nilai efisiensi bervariasi tergantung dari nilai arus beban dan daya beban yang terpakai. Nilai arus beban dan daya beban juga mempengaruhi rugi daya, semakin kecil nilai dari rugi daya maka semakin meningkat nilai efisiensi. Kesimpulan dari penelitian ini

- a Nilai efisiensi generator ini sangat dipengaruhi oleh beban yang terpakai, pada PLTG Borang besarnya beban yang terpakai adalah fluktuatif, dan nilai beban puncak berkisar antara 10,2 - 10,6 MW pada range waktu 16.00-20.00 WIB.

- b Nilai efisiensi generator juga dipengaruhi oleh rugi daya beban yang terpakai, pada PLTG Borang besarnya rugi daya berkisar 0,0112 MW- 0,0136 MW. Perhitungan rugi daya dengan menggunakan Software MATLAB menghasilkan nilai yang lebih besar dibanding hasil perhitungan manual.

2.2 Landasan Teori

Teori yang digunakan dalam penelitian ini mencakup Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Generator dan Proteksi Arus Lebih, penjelasan lebih lanjut dalam penelitian ini dapat dijabarkan seperti :

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap

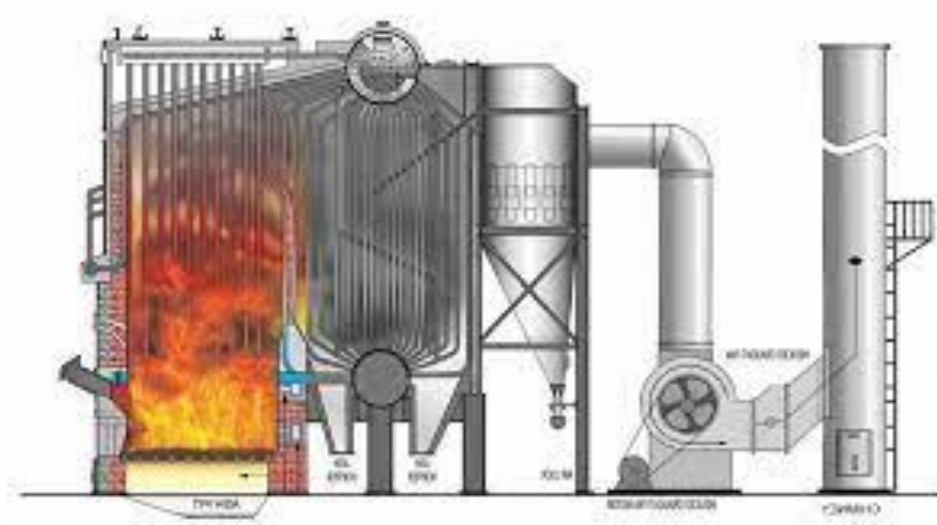
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah Generator yang seporos dengan turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas/kering. Urutan awal sebelum keluarnya energi listrik dari generator yaitu dimulai dari Boiler, Turbine, Generator

Sistem pembangkit listrik tenaga uap merupakan sistem pembangkitan energi listrik dari perubahan energi thermal yang dihasilkan oleh bahan bakar untuk memanaskan air. Mesin-mesin konversi energi yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik diantaranya yaitu turbin uap. Dimana turbin uap merupakan kelompok pesawat-pesawat konversi. Dengan mengubah energy potensial uap menjadi energi kinetik pada nosel (turbin impuls) dan sudu-sudu gerak (turbin reaksi) dan diubah menjadi energi mekanik pada poros turbin. Dan dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung dengan mekanisme yang digerakan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, untuk transportasi, dan untuk pembangkit tenaga listrik.(Wahyudi, 2019)

2.2.1.1 Komponen PLTU

Ada beberapa komponen PLTU yang akan menjadi data pendukung dalam penelitian ini, dan untuk penjelasan tentang komponen PLTU berikut ulasannya :

1. Boiler



Gambar 2.1 Boiler

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam. Air panas atau steam pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi steam, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik.

Pada PLTU terdapat ketel uap (boiler). Efisiensi ketel uap dinyatakan sebagai perbandingan panas sebenarnya yang digunakan untuk memanaskan air dan pembentukan uap terhadap panas hasil pembakaran bahan bakar [3]. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai efisiensi boiler antara lain mass flow, tekanan dan temperatur uap masuk boiler, serta tekanan dan temperatur uap keluar boiler

Sistem boiler terdiri dari : sistem air umpan, sistem steam dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler. Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan steam diatur menggunakan kran dan dipantau dengan

alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

Air yang disuplai ke boiler untuk diubah menjadi steam disebut air umpan. Dua sumber air umpan adalah : (1) Kondensat atau steam yang mengembun yang kembali dari proses dan (2) Air makeup (air baku yang sudah diolah) yang harus diumpankan dari luar ruang boiler dan plant proses. Untuk mendapatkan efisiensi boiler yang lebih tinggi, digunakan economizer untuk memanaskan awal air umpan menggunakan limbah panas pada gas. Singkatnya, alat ini mengubah energi kimia menjadi energi lain menghasilkan tenaga untuk kerja dan dirancang untuk melakukan atau mentransfer panas dari sumber bahan bakar, yang biasanya berupa bahan bakar yang terbakar. Boiler memiliki fungsi utama yaitu menghasilkan uap, namun prakteknya hasil uap tersebut mampu dimanfaatkan di berbagai industri.

Proses pertama adalah konduksi, di mana ini terjadi saat boiler mendapatkan energi panas untuk mengubah air menjadi uap dari penghantar panas. Lalu dilanjutkan dengan distribusi antar molekul air dalam aliran yang terjadi secara konveksi. Perpindahan panas konvektif antar molekul air, seolah-olah menciptakan aliran fluida yang terpisah dari aliran air di pipa-pipa boiler. Selanjutnya, Bahan bakar gas yang mengandung energi panas terus mengalir ke sisi knalpot mengikuti bentuk boiler. Panas yang terkandung dalam gas buang diserap oleh permukaan tabung ketel dan dipindahkan ke air di dalam tabung. Air secara bertahap mengubah fase menjadi uap basah (jenuh) dan selanjutnya dapat bertransisi menjadi uap kering (super panas).

Efisiensi suatu boiler berkaitan dengan factor - faktor operasi seperti : efisiensi pembakaran dan kualitas manajemen air umpan (feed water) boiler. Berikut adalah penjelasan dari masing-masing faktor operasi tersebut terhadap efisiensi boiler. Manajemen pembakaran pada boiler dimaksudkan untuk mendapatkan kondisi pembakaran suatu bahan bakar yang optimum. Kegiatan utama dalam manajemen pembakaran adalah :

- a Menjaga agar pembakaran selalu berada pada ratio udara rendah (low air ratio combustion)

- b Menjaga agar kapasitas burner beroperasi sesuai dengan beban boiler;
- c Memelihara (maintenance) burner.

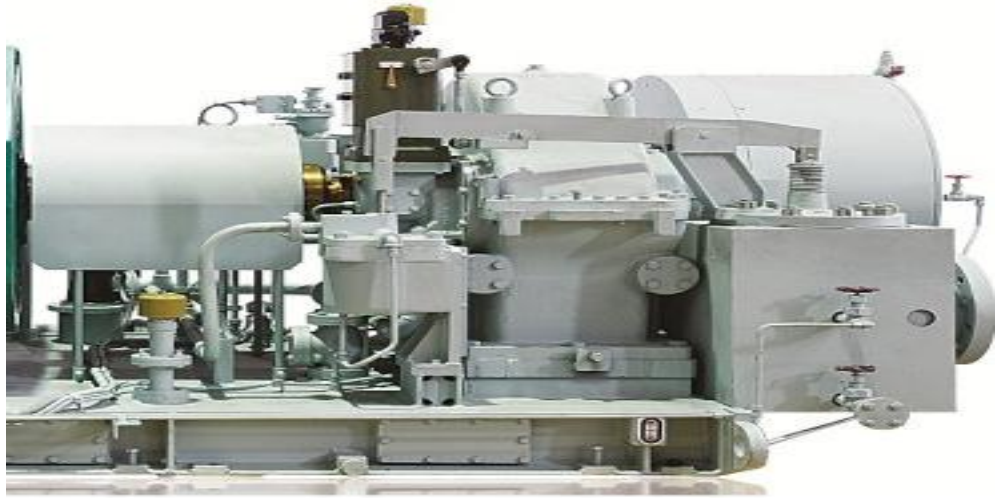
Tahap awal proses penentuan efisiensi boiler adalah data tekanan, temperatur masukan dan keluaran boiler. Data tersebut diubah menjadi entalpi panas lanjut, hg, dalam kJ/kg dan entalpi air umpan, dalam kJ/kg untuk mendapatkan nilai energi keluar dan energi masuk pada persamaan yang diperoleh pada tabel *Superheated Steam* dan *Saturated steam*.

Tahap kedua adalah jika data dari perusahaan tidak sama dengan nilai di tabel *Superheated Steam* dan *Saturated steam*, maka dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai sebenarnya entalpi panas lanjut, dengan rumus berdasarkan persamaan (Pravitasaria et al., 2017)

Pembakaran sempurna dapat terjadi bilamana jumlah udara pembakaran yang dipasok ke ruang bakar berlebih dari kebutuhan teoritis (stoichiometric). Namun apabila udara lebih (excess air) tersebut dibuat terlalu banyak maka jumlah gas buang (exhaust gas) hasil pembakaran menjadi besar dan akibatnya energi sensibel gas buang atau biasa disebut energi hilang ke stack (cerobong) jumlahnya menjadi besar.

Energi sensibel gas pembakaran sebagai fungsi dari suhu dan excessair haruslah dipahami secara benar jika ingin menerapkan konsep efisiensi dalam system pembakaran yang ada. Bila temperatur stack gas keluar dari boiler dapat dibuat rendah dan persentase excess air pada udara pembakaran dibuat sesedikit mungkin, berarti kita berhasil mengurangi rugi-rugi energi melalui gas buang. Dengan kata lain efisiensi pembakaran meningkat menjadi optimal. Uraian di atas pada hakekatnya ingin menjelaskan bahwa energi pada suatu sistem pembakaran dapat dihemat dengan cara mudah; yaitu dengan mengurangi suhu gas buang dan persentase udara lebih. Udara lebih atau excessair sering dinyatakan dengan rasio udara. Rasio udara adalah perbandingan antara udara pembakaran aktual dengan udara pembakaran teoritis.

2. Turbine



Gambar 2.2 Turbine

Turbin uap termasuk dalam kelompok pesawat-pesawat konversi energy potensial uap menjadi energy mekanik pada poros turbin uap. Poros turbin uap langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, transportasi, penerangan lampu, serta untuk pembangkit bertenaga listrik.

Adapun turbin uap digunakan merupakan sebagai fluida kerja, sehingga menghasilkan bahan bakar seperti pada pabrik kelapa sawit, bahan bakar pada turbin uap adalah untuk membangkitkan besarnya tenaga uap, sehingga turbine uap mendistribusikan ke 3 bagian seperti melalui pipa-pipa rebusan, minyak dan pressan dimana digunakan untuk proses pengolahan. Namun sebelum dimanfaatkan untuk proses pengolahan, terlebih dahulu berfungsi untuk menghidupkan panel-panel listrik yang digerakkan oleh generator listrik sehingga generator listrik memutarakan turbin uap

Pada turbin uap daya yang dapat dihasilkan bisa diperhitungkan dengan cara menggunakan nilai laju aliran massa daripada uap dan kinerja daripada turbin uap. Kinerja pada turbin uap dapat diperoleh dengan cara melakukan perhitungan pada entalpi uap yang masuk pada inlet turbin dan menghitung entalpi uap yang keluar pada outlet turbin. Hasil dari perhitungan kinerja tersebut dapat pula diperhitungkan sebagai efisiensi turbin uap. Jadi kelembapan udara akan mempengaruhi nilai

kevakuman pada kondensor melalui perubahan air pendingin yang dihasilkan, dimana ketika nilai kevakuman berubah, kondisi ini dapat mempengaruhi besaran daya yang dihasilkan, kinerja dari turbin uap, bahan bakar yang diperlukan (*Specific Steam Consumption*) dan efisiensi daripada turbin uap. Sama halnya menurut hasil penelitian J.zhang et al. bahwa kelembapan suatu udara akan mempengaruhi nilai koefisien perpindahan panas nya secara alami

Adapun fungsi turbin di antaranya adalah menyediakan elektrik untuk kebutuhan, alternatif pembangkit listrik yang ramah lingkungan, optimasi pemanfaatan daya, menjalankan moda transportasi dan pembangkit elektrik yang murah dan mudah didapatkan. Penggunaan turbin yang paling mendasar adalah untuk memproduksi daya elektrik. Hampir semua daya elektrik dipabrikasi gunakan turbin dari jenis khusus, sehingga banyak yang menggunakan turbin untuk kepentingan pabrikasi daya elektrik. Biasanya sebuah mesin pembakaran tenaga elektrik terdiri atas turbin, kombustor, kompresor dan alternator. Turbin bisa punya kerapatan tenaga yang luar biasa, yakni berlawanan dengan massa dan volumenya.

Berdasarkan prinsip kerja aksi (*impuls*) dimana proses ekspansi penurunan tekanan fluida kerja hanya terjadi di dalam baris sudu tetapnya saja. Bila pada sebuah turbin uap, uap dari ketel diekspansikan dalam nosel dari tekanan ketel (P_0) ketekanan tertentu (P_1), maka akibat penurunan tekanan ini akan terjadi kenaikan kecepatan uap, dari kecepatan uap memasuki nosel (C_0) ke kecepatan uap memasuki sudu gerak (C_1). Oleh karena energi potensial uap yang disebut juga entalpi uap tergantung pada tekanan dan suhu uap, maka pada penurunan tekanan akan terjadi juga penurunan suhu akibat penurunan tekanan. Dalam sudu-sudu gerak terjadi penurunan kecepatan uap dari kecepatan mutlak C_1 menjadi C_2 , maka tekanan uap memasuki turbin P_1 sama dengan uap keluar P_2 . Sehingga prinsip kerja dari turbin aksi ini, di dalam nosel terjadi perubahan energi potensial menjadi energi kinetik sedangkan yang terjadi dalam sudu-sudu gerak terjadi perubahan energi mekanik

Komponen konversi energi utama dari pembangkit listrik tenaga uap adalah turbin uap. Fungsi turbin uap adalah untuk mengubah energi termal uap menjadi energi listrik melalui generator yang dikopel. Sistem turbin terdiri dari dua

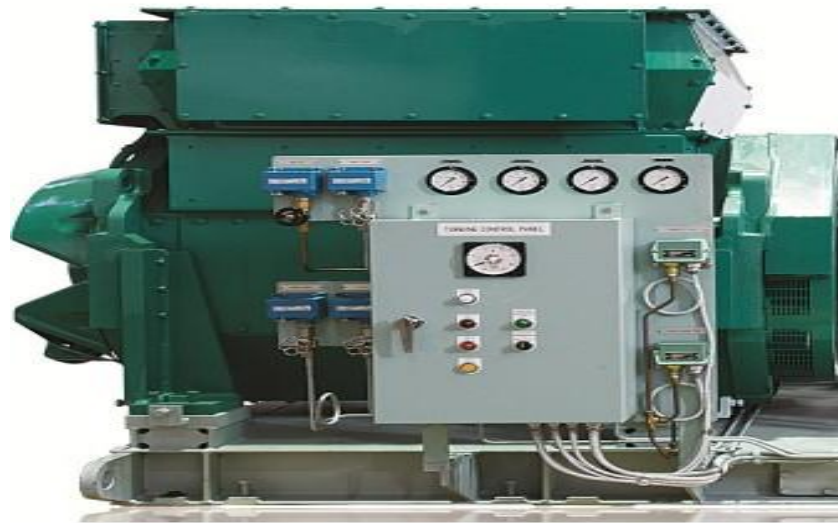
komponen terpisah, yaitu turbin uap yang mengubah energi panas menjadi energi mekanik serta generator yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik

Steam turbine adalah mesin yang berfungsi untuk mengubah energi termal menjadi energi poros. Terdapat dua jenis turbin uap penggerak generator, yaitu Back Pressure Turbine dan Condensing Turbine. Back Pressure Turbine terdiri atas 9 stage yang digerakkan oleh steam bertekanan tinggi sekitar $62,5 \text{ kg/cm}^2$. Energi dari steam ini berupa energi panas dan tekanan yang diubah menjadi energi gerak melalui beberapa proses. Condensing Turbine terdiri atas 17 stage yang digerakkan oleh steam bertekanan tinggi. Proses terjadinya listrik sama dengan proses yang terjadi pada Back Pressure Turbine, hanya saja turbin jenis ini dapat beroperasi secara kondensasi total, secara ekstraksi dan secara induksi (Anggraini, 2018). Sedangkan generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Apabila rotor generator diputar pada kecepatan konstan, fluks magnetik yang dihasilkan arus eksitasi pada belitan medan rotor menginduksi tegangan pada belitan jangkar stator. Tegangan induksi stator ini meningkat secara linier sesuai dengan peningkatan arus eksitasi hingga terjadi kejenuhan pada inti rotor. Apabila terminal rotor dihubungkan dengan beban, akan mengalir arus pada belitan jangkar stator, dan terjadilah transfer daya dari generator ke beban tersebut. Pada PLTU, generator dikopel langsung dengan turbin uap kemudian akan menghasilkan tegangan listrik manakala turbin tersebut berputar (Wulandari et al., 2023)

Prinsip kerja turbin adalah mengubah daya potensi air jadi daya mekanis, sehingga bisa menghasilkan sumber daya elektrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam ubah daya potensi air jadi daya mekanis, arus air harus dipancarkan ke sudip-sudip turbin oleh nozzle. Putaran dari sudip-sudip ini yang akan sebabkan poros turbin ikut beralih dan lalu putarannya akan diteruskan ke genset elektrik untuk diubah jadi daya elektrik. Inilah prinsip kerja dari turbin yang sesungguhnya.

Biasanya, turbin bisa bekerja berdasarkan jenis fluida yang beralih. Jenis fluida sangat mempengaruhi cara kerja turbin. Misalkan ada turbin uap yang berputar cepat, sedangkan turbin angin berputar lambat. Manfaat dari turbin di antaranya adalah mengubah daya potensi fluida menjadi daya kinetik sehingga bisa menghasilkan daya elektrik. Tanpa adanya turbin, maka tidak ada produsen pembuat daya elektrik lagi.

3. Generator



Gambar 2.3 Generator

Generator merupakan perangkat mesin yang menghasilkan listrik dari sumber energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin melalui proses induksi elektromagnetik. Saat generator diputar, Pilot Exciter yang memiliki permanent magnet pada rotor (field) coilnya akan membangkitkan tegangan AC. Power ini kemudian akan menjadi sumber power untuk AVR (Automatic Voltage Regulator). Oleh AVR tegangan AC tersebut disearahkan menjadi tegangan DC dan diatur besar arusnya untuk kemudian disalurkan ke AC Exciter field (stator) coil. Arus yang mengalir di field coil membangkitkan AC 3-phase di armature coil AC Exciter. Tegangan AC itu kemudian disearahkan oleh dioda silikon yang terdapat di rangkaian rotating rectifier menjadi tegangan DC. Arus yang dihasilkan oleh rotating rectifier kemudian akan disalurkan ke field coil dari generator.

Efisiensi generator merupakan perbandingan antara daya keluaran atau daya yang dibangkitkan generator dengan daya masukan generator. Daya masukan generator sama dengan gaya yang dihasilkan oleh turbin karena turbin dengan generator dikopel dan bekerja bersama. Untuk menghitung daya yang dihasilkan oleh turbin dapat dihitung dengan dengan perhitungan penurunan entalpi.(Cahyadi, D, 2015)

4. Panel Kontrol Listrik



Gambar 2.4 Panel Kontrol Listrik

Panel kontrol listrik merupakan tempat untuk sebuah rangkaian komponen elektronika yang salah satu fungsinya digunakan sebagai tempat pengendali atau pembagi jaringan listrik pada suatu sistem otomasi di dalam industri. Panel kontrol listrik ini di buat dan di rancang bertujuan untuk mempermudah pengontrolan peralatan listrik pada sistem otomasi industry Panel kontrol listrik suatu hal yang sangat penting sebagai tempat instalasi listrik, peralatan sistem kontrol yang terdapat pada box panel listrik pada sistem otomasi industri adalah MCCB (*Module Case Circuit Breaker*), *inverter*, *contactor*, *indicator lamp*, *cable*.

Inverter merupakan peralatan elektronika yang mempunyai fungsi untuk mengubah arus DC menjadi AC dengan besaran nilai tegangan dan frekuensi yang bisa di ubah-ubah serta *output* inverter bisa membentuk suatu gelombang sinusoidal (*pure sine wave*), serta gelombang sinyal digital (*square wave*). Inverter mempunyai 3 bagian rangkaian utama yang terdiri dari bagian pertama yaitu

rangkaian *converter* yang bisa mengubah tegangan AC menjadi tegangan searah DC dengan menghilangkan *noise* pada *output* tegangan DC ini. Pada bagian kedua merupakan rangkaian inverter yang bisa mengubah tegangan searah (AC) menjadi tegangan bolak-balik (DC) satu fasa dengan bermacam macam bentuk frekuensi yang di hasilkan. Kedua rangkaian ini merupakan rangkaian utama. Pada bagian ketiga merupakan sebuah rangkaian yang berfungsi untuk mengendalikan rangkaian utama. Gabungan keseluruhan rangkaian ini disebut unit inverter

Sistem kontrol sering di terapkan untuk menstabilkan suatu sistem, bisa di terapkan pada sistem pemanas ataupun sistem pendingin. Dalam sistem kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan sistem kontrol *close loop* yang sering di gunakan pada sistem kontrol di dunia industri. Sistem kontrol ini digunakan untuk menghitung *error* sebagai perbedaan antara nilai *set point* dengan nilai yang di ukur. Kontrol PID ini berfungsi untuk meminimalisir kesalahan sekecil mungkin dengan menyesuaikan input pada proses kontrol. Pada kontroller PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan bentuk pengendali kompensator satu fasa dengan cara menghitung nilai dari *set point* atau titik awal sampai tak terhingga.(Rachmawan et al., n.d.)

5. Trafo Daya



Gambar 2.5 Trafo Daya

Transformator daya adalah jenis transformator yang digunakan untuk meningkatkan nilai tegangan listrik dari generator listrik. Penempatannya di gardu induk. Tegangan listrik yang diperbesar nilainya kemudian disalurkan ke saluran transmisi tenaga listrik. Transformator daya mengubah tegangan menengah

menjadi tegangan tinggi. Perubahan tegangannya juga dapat dari tegangan menengah menjadi tegangan ekstra tinggi. Tegangan menengah umumnya dihasilkan oleh generator listrik, sedangkan tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi diterapkan pada saluran transmisi. Transformator daya tersusun dari bagian inti yang berbahan besi. Bagian lainnya berupa kumparan yang terbagi menjadi kumparan primer dan kumparan sekunder. Kumparan primer dihubungkan dengan tegangan listrik dengan arus bolak-balik. Pengaliran arus menghasilkan fluks magnetik. Keberadaan fluks ini menghalangi fluks magnetik di kumparan sekunder. Kondisi ini menimbulkan gaya gerak listrik pada kumparan sekunder.

Transformator merupakan komponen utama dalam penyaluran energi listrik pada sebuah sistem kelistrikan, energi listrik disalurkan ke konsumen melalui sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian sistem yaitu Pembangkitan, Transmisi dan Distribusi. Jarak antara pembangkit listrik dan beban terletak sangat jauh sehingga membutuhkan transformator daya untuk menaikkan dan menurunkan tegangan agar rugi-rugi yang dihasilkan selama proses penyaluran tenaga listrik dapat diminimalisir. Dalam pengoperasian transformator sering terjadi gangguan yang dapat menghambat kinerja dari transformator, sehingga dibutuhkan pengaman dan pengaturan proteksi yang stabil untuk menjaga kelancaran operasional pada suatu sistem.

Transformator daya merupakan suatu alat listrik statis, yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian lain, dengan mengubah tegangan, tanpa mengubah frekuensi. Dalam bentuknya yang paling sederhana transformator terdiri atas kumparan dan satu induktansi mutual. Kumparan primer adalah yang menerima daya, dan kumparan sekunder tersambung pada beban. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi. Landasan fisik transformator adalah induktansi mutual (timbang balik) antara kedua rangkaian yang dibutuhkan oleh suatu fluks magnetik bersama yang melewati suatu jalur dengan reluktansi rendah. Kedua kumparan memiliki induktansi mutual yang tinggi. Jika suatu kumparan disambungkan pada suatu sumber tegangan bolak balik, suatu fluks bolak balik terjadi di dalam inti berlaminasi, yang sebagian besar akan mengait pada kumparan lainnya, dan di dalamnya akan terinduksi suatu gaya gerak listrik (ggl). (Nasution et al., 2019)

2.2.2 Generator

Generator listrik atau pembangkit listrik adalah mesin yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari sumber energi mekanis. Prinsip kerja dari generator listrik adalah induksi elektromagnetik.[1] Berdasarkan jenis arus listriknya, generator dibagi menjadi generator arus searah dan generator arus bolak-balik. Perbedaan keduanya yaitu penggunaan komutator pada generator arus searah dan cincin selip pada generator arus bolak-balik.[2] Proses kerja generator listrik dikenal sebagai pembangkit listrik. Generator listrik memiliki banyak kesamaan dengan motor listrik, tetapi motor listrik adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkuit listrik eksternal, tetapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam lilitan kumparannya. Hal ini bisa dianalogikan dengan sebuah pompa air, yang menciptakan aliran air tetapi tidak menciptakan air di dalamnya. Sumber energi mekanik bisa berupa resiprokat maupun turbin mesin uap, air yang jatuh melalui sebuah turbin maupun kincir air, mesin pembakaran dalam, turbin angin, engkol tangan, energi surya atau matahari, udara yang dimampatkan, atau apa pun sumber energi mekanis yang lalu lalang.

Generator arus bolak-balik terdiri dari suatu kumparan dan lilitan kawat yang diputar di dalam medan magnet. Bagian dalam generator arus bolak-balik disebut sebagai armatur. Isi armatur ialah silinder besi yang digunakan sebagai tempat bagi kumparan kawat untuk dililitkan. Terminal generator memiliki dua cincin putar yang dihubungkan dengan beban listrik melalui bushing yang terbuat dari tembaga lunak. Medan magnet dibentuk oleh magnet permanen atau elektromagnet. Energi untuk memutar armatur dapat berupa tenaga manusia, pembakaran, atau energi potensial air.

Generator listrik dapat menghasilkan gaya yang besar pada frekuensi rendah (50 Hz) sebagai pembuat arus bolak-balik. Prinsip kerja generator arus bolak-balik memanfaatkan medan magnet dengan sifat yang sejenis. Pada kumparan yang dililiti penghantar listrik diletakkan dua kutub magnet permanen dengan luas permukaan kumparan tertentu sehingga membentuk sudut tertentu yang memiliki arah normal terhadap medan magnet. Fluks magnetik dihasilkan melalui kumparan tersebut.

Generator arus bolak-balik memanfaatkan arus induksi yang dibangkitkan dari elektromagnet. Pembangkit osilasi listrik digunakan pada generator dengan daya kecil yang bekerja berdasarkan prinsip hubung-balik. Generator dengan daya listrik yang sangat kecil tidak memerlukan penggerak mekanis. Generator arus bolak-balik digunakan sebagai sumber tegangan listrik tiga-fasa. Rangkaian listrik di dalam generator dihubungkan secara bintang (Y). Model bintang membuat nilai nol atau netral pada percabangan ketiga sumber arus listrik sehingga memiliki keseimbangan arus listrik pada ketiga penghantar listrik yang disalurkan ke beban generator listrik 3-fasa.

Untuk menganalisa Beban Generator maka harus dipastikan tidak ada kesalahan dalam perhitungan dan data yang digunakan, maka dari itu, rumus dasar untuk memastikan data yang diambil benar maka akan di jabarkan seperti berikut ini :

Rumus yang digunakan untuk menganalisa system dari suatu pembangkit yang ada saat terjadi gangguan dapat di hitung menggunakan persamaan, persamaannya adalah :

Keterangan :

S = kVA (*Kilo Volt Ampere*) = kapasitas turbin Generator

P = kW (*Kilo Watt*) = keluaran turbin generator (Daya)

$\cos \varphi$ = (Faktor daya) = Faktor daya turbin generator

V = Voltase = tegangan dalam volt

I = Ampere = Arus

Untuk mengkonversi arus dan daya dapat dilakukan persamaan dengan rumus :

$$P = S \cdot \cos \varphi = (kW) \quad (2.2)$$

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = (kVA) \quad (2.2)$$

Selanjutnya untuk menghitung Amper dari hasil persamaan 2.1 dapat di lakukan dengan rumus :

$$I_{(A)} = \frac{1000 \cdot P_{(kW)}}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 380} = (A) \quad (2.3)$$

Untuk menghitung kapasitas maksimal dari generator ($I_{(Max Gen)}$) dapat di lakukan dengan rumus :

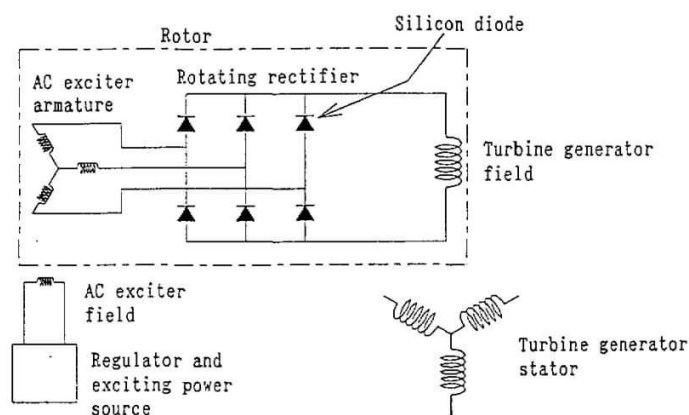
$$I_{(Max Gen)} = \frac{1000 \cdot S_{(kVA)}}{\sqrt{3} \cdot V} \cdot 110\% = (A) \quad (2.4)$$

Untuk menghitung beban Maksimum persamaan yang digunakan adalah :

$$S_{(kVA)} = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot V}{1000} = (kVA) \quad (2.5)$$



Gambar 2.6 Generator – Turbin



Gambar 2.7 Diagram Sistem Eksistansi

Output AC Exciter yang berupa tegangan AC kemudian disearahkan oleh Rotating Rectifier yang kemudian diumpankan ke field coil dari generator.

Konstruksi ini tidak membutuhkan injeksi arus melalui komponen sliding yang menggunakan komutator, carbon-brush dan slip ring.

a. Prinsip Kerja Generator

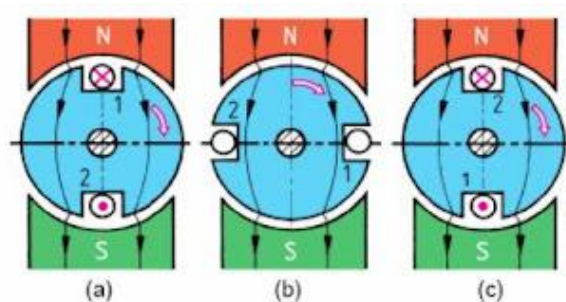
Prinsip dasar generator ialah arus bolak-balik. Prinsip generator juga menggunakan hukum Faraday yang menyatakan bahwa jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar ini akan terbentuk gaya gerak listrik.

Prinsip kerja generator sinkron juga berdasarkan kepada induksi elektromagnetik, setelah rotor diputar oleh penggerak mula (prime mover), maka kutub-kutub pada rotor ini akan berputar secara otomatis. Apabila kumparan kutubnya disuplai oleh tegangan searah, maka pada permukaan kutub akan timbul medan magnet yang berputar.

Pembangkit tegangan induksi dari sebuah generator diperoleh melalui dua cara:

1. Dengan menggunakan cincin-seret, menghasilkan tegangan induksi bolak-balik (AC)
2. Dengan menggunakan komutator, menghasilkan tegangan DC

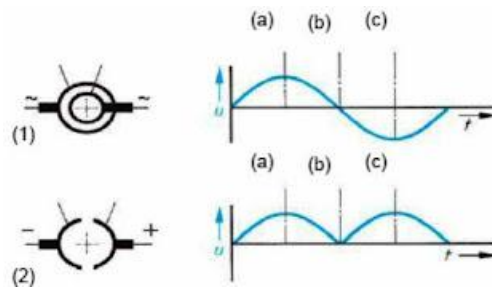
Proses pembangkit tegangan induksi tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini .



Gambar 2.8 Pembangkit Tegangan Induksi

Penjelasannya ialah Jika rotor diputar dalam pengaruh medan magnet, maka akan terjadi perpotongan medan magnet oleh lilitan kawat pada rotor. Hal ini akan menimbulkan tegangan induksi. Tegangan induksi terbesar terjadi saat rotor menempati posisi seperti Gambar 2.6 (a) dan (c). Pada posisi ini terjadi perpotongan medan magnet secara maksimum oleh penghantar. Sedangkan posisi jangkar pada Gambar 2.6 (b), akan menghasilkan tegangan induksi nol.

Hal ini karena tidak adanya perpotongan medan magnet dengan penghantar pada jangkar atau rotor. Daerah medan ini disebut daerah netral.

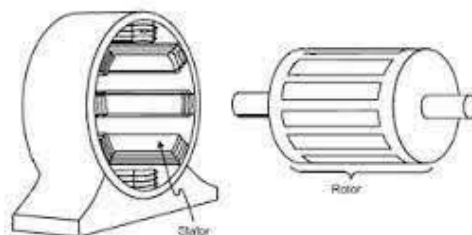


Gambar 2.9 Tegangan Rotor yang dihasilkan melalui cincin seret dan Komutator

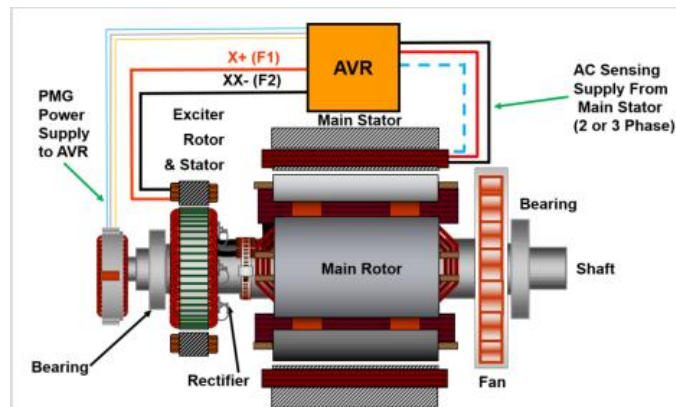
Jika ujung belitan rotor dihubungkan dengan slip-ring berupa dua cincin (disebut juga dengan cincin seret), seperti ditunjukkan Gambar 2.7 (1), maka dihasilkan listrik AC (arus bolak-balik) berbentuk sinusoidal. Bila ujung belitan rotor dihubungkan dengan komutator satu cincin Gambar 2.7 (2) dengan dua belahan, maka dihasilkan listrik DC dengan dua gelombang positif. Rotor dari generator DC akan menghasilkan tegangan induksi bolak-balik. Sebuah komutator berfungsi sebagai penyearah tegangan AC. Besarnya tegangan yang dihasilkan oleh sebuah generator DC, sebanding dengan banyaknya putaran dan besarnya arus eksitasi (arus penguat medan).

b Bagian Generator

Generator memiliki dua bagian utama, yaitu rotor dan stator. Rotor adalah bagian yang berputar dalam generator dan menerima energi mekanik. Rotor dapat berupa magnet permanen atau elektromagnet. Dalam generator listrik, rotor biasanya memiliki bentuk silinder dengan medan magnet pada bagian dalamnya. Generator memiliki dua bagian utama, yaitu rotor dan stator. Rotor adalah bagian yang berputar dalam generator dan menerima energi mekanik. Rotor dapat berupa magnet permanen atau elektromagnet.



Gambar 2.10 Rotor Dan Stator



Gambar 2.11 Sistem Generator PMG

Secara garis besar ada beberapa bagian dari generator meliputi :

1. Rotor Utama

Rotor utama adalah gulungan utama yang terdapat pada bagian rotor (bagian yang bergerak atau berputar) pada generator tersebut. Jika mendapatkan suplai tegangan DC dari exciter rotor. Maka rotor utama akan berfungsi sebagai penghasil medan magnet pada bagian kumparan rotornya.

2. Stator Utama

Stator utama adalah gulungan utama yang terdapat pada bagian stator (bagian yang tidak bergerak atau tidak berputar) pada generator tersebut. Stator utama ini berfungsi sebagai penghantar dalam prinsip ggl, dan akan bertugas untuk menangkap atau memotong medan magnet dari main rotor utama, dan menghasilkan keluaran listrik AC.

3. Exciter Field Stator

Exciter stator berfungsi sebagai penghasil medan magnet jika mendapatkan tegangan dari AVR, maka akan berubah fungsi menjadi medan magnet.

4. Exciter Field Rotor

Exciter rotor berfungsi untuk mengubah medan magnet dari exciter stator menjadi listrik dalam bentuk AC. Jika exciter stator berubah fungsi menjadi medan magnet, maka gulungan exciter rotor akan mengeluarkan tegangan AC.

5. Diode Rotating Rectifier (Diode Penyearah)

Untuk menghasilkan medan magnet yang cukup besar pada rotor utama, dibutuhkan sumber listrik, dan sumber listrik yang baik untuk menghasilkan medan magnet yang stabil dan kuat adalah listrik DC. Oleh karena itu pada generator dilengkapi dengan rotating rectifier yang berfungsi untuk mengubah listrik AC yang di hasilkan oleh exciter rotor menjadi listrik DC. Dengan menggunakan diode-diode penyearah Fungsi dioda pada bagian exciter generator adalah untuk merubah arus AC menjadi arus DC

6. Kabel Rotor Utama

kabel rotor utama berfungsi sebagai penghubung ke rotor utama. Jika exciter rotor mengeluarkan tegangan AC dan di searah kan melalui diode-diode penyearah menjadi tegangan DC, kemudian tegangan DC tersebut melewati 2 (dua) kabel, lalu rotor utama akan menjadi medan magnet.

7. Varistor (Surge Suppressor)

Fungsi dari Surge Suppressor (Varistor) yaitu untuk melindungi diode set dari sentakan/surge yang diakibatkan oleh perubahan arus yang besar pada main stator, seperti: hantaran petir, beban besar yang hilang secara mendadak, gangguan pada saat paralel

8. Komulator

Fungsi dari komulator adalah sebagai saklar pembalik(reversing switch). Ketika ujung akhir jangkar melewati carbon brush , komulator akan mengaturnya dari satu sirkuit ke sirkuit yang lain. Dimana arus listrik akan mengalir kearah sebaliknya

9. Trafo Traformer

Trafo berfungsi sebagai pengubah tegangan , biasanya digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan

10. AVR

AVR (Automatic Voltage Regulator) merupakan peralatan kontrol otomatis yang digunakan untuk menjaga agar tegangan terminal generator selalu

konstan. Jika terjadi perubahan permintaan di sisi beban, maka akan terjadi perubahan pada tegangan terminal di sistem generator.

2.2.3 PROTEKSI

Perlindungan motor listrik harus sederhana dan dapat diandalkan, karena penggunaan perlindungan yang kompleks mahal untuk biaya modal dan tidak dibenarkan. Untuk motor dengan kekuatan 1505 kVA, perlindungan yang lebih kompleks dapat digunakan, karena mesin ini biasanya mahal, atau mereka digunakan di tempat-tempat penting untuk kebutuhan pembangkit listrik dan mekanisme perusahaan industri. (Aceng Daud, 2019)

Rele proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidaknormalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan secara otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu atau bel. Rele proteksi dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga umumnya dipasang pada generator, transformator daya, saluran transmisi, saluran distribusi dan sebagainya supaya dapat dipisahkan sedemikian rupa sehingga sistem lainnya tetap dapat beroperasi secara normal. Rele dapat bekerja apabila mendapatkan sinyal-sinyal input yang melebihi dari setting rele tersebut. Besaran ukur yang dipakai untuk sinyal input yaitu berupa arus, tegangan, impedansi, daya, arah daya, pemanasan, pembentukan gas, frekuensi, gelombang eksplosi dan sebagainya. Rele dikatakan kerja (operasi), apabila kontak-kontak dari rele tersebut bergerak membuka dan menutup dari kondisi awalnya. Apabila rele mendapat satu atau beberapa sinyal input sehingga dicapai suatu harga pick-up tertentu, maka rele kerja dengan menutup kontak-kontaknya. Maka rele akan tertutup sehingga tripping coil akan bekerja untuk memutuskan beban.

Karakteristik proteksi rele arus lebih ada tiga macam yaitu rele arus lebih seketika (*moment-instantaneous*) yaitu jenis rele yang jangka waktu kerja rele dimulai saat mengalami *pick-up* sampai selesai kerja rele yakni sekitar $20 \approx 100$ detik tanpa adanya penundaan waktu. Yang kedua yaitu rele arus lebih waktu tertentu (*definite time*) yaitu jenis rele arus lebih dimana jangka waktu *rele* mulai *pick-up* sampai selesainya kerja *rele* dapat diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang mengerjakannya (tergantung dari besarnya arus *setting*, melebihi arus *setting* maka waktu kerja *rele* ditentukan oleh waktu *settingnya*). Dan yang ketiga yaitu rele arus lebih berbanding terbalik yaitu jenis *rele* arus lebih dimana jangka waktu *rele* mulai *pick-up* sampai selesainya kerja *rele* tergantung dari besarnya arus yang melewati kumparan *rele*-nya, dengan kata lain *rele* tersebut mempunyai sifat terbalik untuk nilai arus dan waktu bekerjanya.

Untuk mengetahui seberapa lama waktu yang di butuhkan untuk mealakukan pemutusan hubungan listrik dikarenakan gangguan yang terjadi, ada beberapa persamaan yang harus di lakukan untuk mengetahui seberapa besar gangguan yang terjadi, persamaannya adalah :

1. Perhitungan Arus Nominal (I_n)

$$I_n = \frac{S_{kVA}}{\sqrt{3} \cdot V} = (A) \quad (2.6)$$

2. Perhitungan Setting Arus (I_{set})

$$I_{Sprimer} = 1,10 \cdot I_N = (A) \quad (2.7)$$

Nilai arus tersebut adalah nilai sisi primer, kemudian nilai yang akan disetelkan pada rele adalah nilai sekundernya sehingga persamaannya adalah :

$$I_{Ssekunder} = I_{Sprimer} \cdot \frac{CT \text{ sekunder}}{CT \text{ Primer}} = (A) \quad (2.8)$$

Setelah arus setting diketahui maka waktu yang dibutuhkan relay untuk membaca gangguan yang terjadi dapat di perhitungkan menggunakan perhitungan waktu sesuai dengan proteksi yang digunakan.

Ada tiga macam jenis proteksi rele arus lebih, yaitu :

1. Rele arus lebih seketika (*moment – instantaneous*)

2. Rele arus lebih waktu tertentu (definite time)
3. Rele arus lebih berbanding terbalik (inverse), dibagi menjadi:
 - a Rele berbanding terbalik biasa
 - b Rele sangat berbanding terbalik
 - c Rele sangat berbanding sekali

Untuk Rele Inverse ada beberapa persamaan yang dapat digunakan, masing masing persamaan dari rele invers berfungsi menentukan waktu yang diperlukan. Rele invers memiliki 4 jenis yang setiap relaynya memiliki perhitungan waktu yang berbeda, seperti Standart Invers, Very Inverse, Extremely Invers dan Long Time Invers, dan persamaannya adalah :

1. Standart Inverse (SI)

$$TMS = \frac{0,14}{\left(\frac{if}{is}\right)^{0,02} - 1} = (S) \quad (2.9)$$

2. Very Inverse (VI)

$$TMS = \frac{13.5}{\left(\frac{if}{is}\right) - 1} = (S) \quad (2.10)$$

3. Extremely (EI)

$$TMS = \frac{80}{\left(\frac{if}{is}\right)^2 - 1} = (S) \quad (2.11)$$

4. Long Time Standart Earth Fault

$$TMS = \frac{120}{\left(\frac{if}{is}\right) - 1} = (S) \quad (2.12)$$

Selanjutnya untuk mengetahui waktu operasi relay (Top) dapat melakukan persamaan :

$$T_{op} = \frac{t \times TMS}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right) - 1} = (S) \quad (2.13)$$

Keterangan :

TMS : Setting waktu untuk rele beroperasi (s)

I_{fault} : gangguan arus yang terjadi (A)

I_{Set} : Setting arus (A)

t : Waktu sebenarnya rele beroperasi (s)

Pada umumnya sumber energi listrik seperti Turbine Generator perlu dilindungi agar penyaluran energi listrik tetap stabil. Turbine Generator adalah sebuah mesin yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik dimana turbine digunakan sebagai penggerak utama generator. Dalam memproteksi peralatan listrik tersebut, sebuah rele harus memiliki syarat antara lain keterandalan, selektivitas, sensitivitas, kecepatan kerja, ekonomis. Rele yang digunakan untuk mengatasi gangguan hubung singkat tersebut diantaranya OCR (*over current relay*) dan GFR (*ground fault relay*). Rele arus lebih adalah sebuah jenis rele proteksi yang bekerja berdasarkan prinsip besarnya arus input yang masuk ke dalam peralatan sensing rele. Apabila besaran arus yang masuk melebihi harga arus yang telah disetting sebagai standarkerja rele tersebut, maka rele arus ini akan bekerja dan memberikan perintah pada CB untuk memutuskan sistem. (Nova & Syahril, 2013)

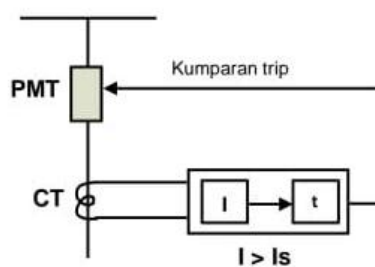
2.2.3.1 Over Current Relay (OCR)

Dalam keadaan normal arus yang mengalir ke transformator tentunya diharapkan tidak melebihi arus nominalnya. Apabila arus yang mengalir melebihi harga nominal akan mengakibatkan transformator terjadi suatu gangguan didalam rangkaian listrik, instalasi harus diamankan dan bagian yang terganggu harus di pisahkan dalam waktu secepatnya, guna mencegah atau memperkecil kerusakan yang dapat diakibatkan oleh gangguan itu.

Relay arus lebih dikenal dengan OCR (*Over Current Relay*) merupakan peralatan yang mensinyalir atau merasakan adanya gangguan arus lebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat maupun beban lebih yang berada dalam wilayah proteksinya. Relay akan beroperasi jika arus yang melewati koil operasi lebih tinggi dari ambang batas. Ambang batas adalah arus yang ditetapkan dimana rele tidak boleh beroperasi di bawah *settingnya* dan di atasnya harus beroperasi. Relai mendeteksi adanya gangguan dalam sistem tenaga listrik dan memberikan informasi secara otomatis kepada pemutus tenaga agar memisahkan secepat mungkin peralatan listrik yang dilindungi dengan gangguan. Sebagai langkah utama dalam mengatasi adanya gangguan, khususnya pada saluran distribusi biasanya dipakai selain relai jarak yaitu relai arus lebih dan relai gangguan tanah. Dalam fungsinya sebagai sistem proteksi, evaluasi kinerja relai arus lebih atau over relay current (OCR)



Gambar 2.12 OCR (Over Current Relay)



Gambar 2.13 Rangkaian Relay Arus Lebih

Secara umum, gangguan pada generator dibagi menjadi dua jenis yaitu gangguan internal dan gangguan eksternal. Gangguan internal adalah gangguan yang berasal dari generator itu sendiri sedangkan gangguan eksternal adalah gangguan yang berasal dari luar generator dan dapat terjadi kapan saja dengan waktu yang tidak dapat ditentukan. Gangguan internal dibagi menjadi dua jenis, yaitu gangguan incipien dan gangguan elektrik. Gangguan incipien yaitu gangguan yang dimulai oleh suatu gangguan kecil dan tidak berarti namun secara lambat akan menimbulkan kerusakan. Gangguan ini akan dideteksi oleh relai pengaman mekanis seperti relai bucholz, relai jansen dan relai sudden pressure. Gangguan elektrik yaitu gangguan elektrik yang dideteksi oleh relai proteksi utama generator

Relai arus lebih merupakan relai yang merespon arus saja. Relai akan beroperasi jika arus yang melewati koil operasi lebih tinggi dari ambang batas. Ambang batas adalah arus yang ditetapkan dimana relai tidak boleh beroperasi di bawah settingnya dan di atasnya harus beroperasi. Prinsip kerja relai ini bekerja terhadap arus lebih, ia akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai settingnya (I_s).

Relai arus lebih merupakan peralatan proteksi yang digunakan pada sistem tenaga listrik. Relai arus lebih merupakan relai proteksi yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi setting dari relai, dimana relai ini digunakan untuk mengamankan peralatan listrik terhadap gangguan hubung singkat antar fasa, hubung singkat fasa ke tanah, dan pengaman beban lebih. Dalam memproteksi sebuah Generator, relai arus lebih digunakan sebagai pengaman cadangan yang dimana akan bekerja ketika pengaman utama mengalami gagal fungsi ketika terjadi gangguan hubung singkat internal. Relai arus lebih pun bekerja ketika terjadi gangguan hubung singkat eksternal

System dari Relay ini bekerja dengan cara Semakin besar arus gangguan yang terjadi maka akan semakin cepat rele bekerja. Tetapi pada saat tertentu yaitu pada saat mencapai waktu yang telah ditentukan maka kerja rele tidak lagi ditentukan oleh arus gangguan tetapi oleh waktu. Keuntungan menggunakan rele jenis ini adalah sebagai pengaman banyak saluran.(Hidayat et al., 2013)

Jenis dari karakteristik rele arus lebih antara lain :

a. Rele Waktu Seketika (*Instantaneous relay*)

Rele akan beroperasi seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya maka rele akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms).

b. Rele arus lebih waktu tertentu (*Definite time relay*)

Rele akan memberikan perintah pada PMT ketika saat terjadinya gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melebihi nilai settingnya (I_s), dan jangka waktu kerja rele mulai pick up sampai kerja rele diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan rel.

c. Rele arus lebih waktu terbalik (*Inverse relay*)

Rele akan beroperasi dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (inverse time), semakin besar arus maka semakin kecil waktu tundanya. Karakteristik waktunya dibedakan dalam tiga kelompok yaitu *standar invers, very inverse, extremely inverse*.

Gangguan yang terjadi pada generator turbine uap yaitu :

Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan suatu hubungan abnormal pada impedansi yang relative rendah terjadi antara dua titik yang mempunyai potensial berbeda. Tegangan rendah yang dihasilkan oleh gangguan berakibat membahayakan pelayanan yang diberikan oleh sistem tenaga listrik. Maka dibutuhkan relay yang berfungsi untuk mengatasi masalah gangguan arus lebih yaitu relay arus lebih (OCR) Untuk memastikan seberapa besar arus lebih saat gangguan terjadi, maka harus di analisa untuk beban yang di pakai dan di bandingkan dengan keluaran generator, Dikarenakan perusahaan bergerak dalam bidang pengolahan kelapa sawit maka tentu saja beban di miliki oleh beberapa terminal , dengan begitu harus di totalkan dengan menambahkan beban dari seluruh terminal dengan cara :

$$a \quad \text{Total Daya listrik} = \text{Beban A} + \text{Beban B} + \text{Beban.. n} \quad (2.14)$$

Dengan dijumlahkan total daya yang di gunakan oleh seluruh terminal maka didapatkan daya total. Untuk menyamakan satuan total daya listrik ke generator (kVA) maka dapat di perhitungkan dengan persamaan :

$$P = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot V}{1000} = (kVA) \quad (2.15)$$

Dengan diketahuinya total daya listrik, maka selanjutnya menganalisa arus nominal pada tegangan sisi primer dan sekunder menggunakan persamaan :

1. Arus nominal pada sisi tegangan primer

$$I_{n1} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_p} = (A) \quad (2.16)$$

2. Arus nominal pada sisi tegangan sekunder

$$I_{n2} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_s} = (A) \quad (2.17)$$

Setelah mendapatkan hasil dari arus nominal tegangan pada sisi primer dan sekunder, selanjutnya dapat di perhitungkan arus rating di sisi primer dan sekunder, persamaannya adalah :

3. Arus Rating pada sisi tegangan primer

$$I_{rat1} = 110\% \cdot I_{n1} = (A) \quad (2.18)$$

4. Arus Rating pada sisi tegangan sekunder

$$I_{rat2} = 110\% \cdot I_{n2} = (A) \quad (2.19)$$

Generator adalah komponen utama yang sangat penting dalam pembangkitan energi listrik. Jika terjadi gangguan pada terminal generator maka akan menyebabkan terganggunya proses penyediaan energi listrik. Gangguan yang dapat menyebabkan kerusakan yang fatal pada peralatan listrik khususnya generator adalah hubung singkat antar fasa, hubung singkat antar lilitan, hubung singkat dengan tanah pada belitan rotor dan hubung singkat antar lilitan pada belitan rotor. Karena sangat pentingnya proteksi generator, maka dibutuhkan pengamanan terhadap arus lebih ini.

Arus hubung singkat adalah arus lebih yang dihasilkan oleh gangguan dengan mengabaikan impedansi antara titik-titik pada potensial yang berbeda dalam kondisi layanan normal. arus hubung singkat merupakan arus lebih yang disebabkan oleh gangguan impedansi yang sangat kecil mendekati nol antara dua penghantar aktif yang dalam kondisi operasi normal berbeda potensialnya (short circuit current). Gangguan hubung singkat yang terjadi pada generator antara lain :

- a. Arus hubung singkat 3 fasa

Terjadinya gangguan ini dikarenakan permasalahan arus lebih pada stator generator. Rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$I_{hs} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_f} \quad (2.20)$$

- b. Arus hubung singkat 2 fasa

Terjadinya gangguan ini dikarenakan dua buah fasa dari sistem tenaga listrik hubung singkat. Rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$I_{hs} = \frac{\sqrt{3} \cdot E_a}{Z_1 + Z_f} \quad (2.21)$$

- c. Arus hubung singkat 2 fasa dengan tanah

Terjadinya gangguan ini dikarenakan dua buah fasa dari sistem tenaga listrik hubung singkat dengan tanah. Rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$I_{hs} = \frac{E_a}{\frac{Z_0 \cdot Z_2}{Z_0 + Z_2} + Z_1} \quad (2.22)$$

- d. Arus hubung singkat 1 fasa dengan tanah

Terjadinya gangguan ini dikarenakan satu buah fasa dari sistem tenaga listrik hubung singkat dengan tanah. Rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$E_a = \frac{V}{\sqrt{3}} = (kV) \quad (2.23)$$

$$I_{hs} = \frac{3 \cdot E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_3} = (A) \quad (2.24)$$

Keterangan :

I_{hs} = Arus hubung singkat (A)

E_a = Tegangan fasa netral sistem 11 kV = 11000 / $\sqrt{3}$ (V)

Z_1 = reaktansi urutan positif (Ohm)

Z_2 = reaktansi urutan negatif (Ohm)

Z_0 = reaktansi urutan nol (Ohm)

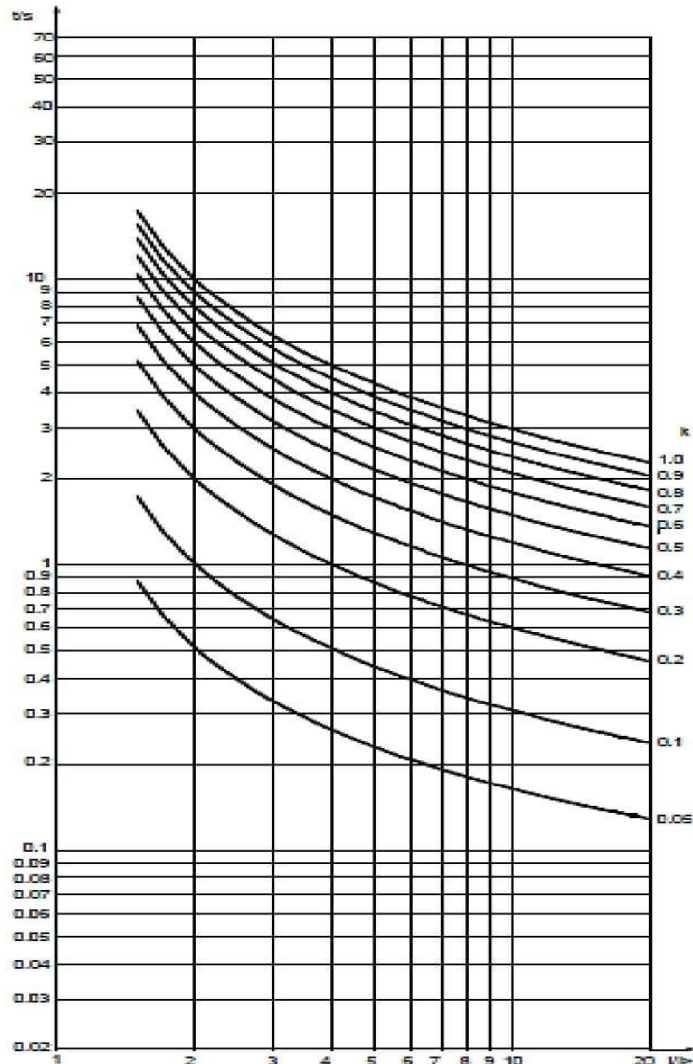
Jika ada gangguan pada terminal generator maka relay ini akan memberikan masukan kepada circuit breaker untuk trip sehingga generator terhindar dari arus lebih yang lebih lama. Untuk dapat menjalankan fungsinya dengan baik, relay arus lebih memiliki setting yang baik. Dengan melakukan analisa dan evaluasi terhadap kinerja OCR berdasarkan setting yang tersedia, akan dapat diketahui kelayakan dari setting OCR tersebut.

Generator merupakan salah satu peralatan yang rawan terhadap gangguan-gangguan yang datang dari dalam atau luar. Salah satu gangguan yang dapat terjadi pada generator adalah gangguan hubung singkat. Oleh sebab itu, pada generator perlu dipasang relay pengaman yang dapat memproteksi generator dari kerusakan ketika terjadi gangguan. Relai adalah peralatan elektrik yang didesain untuk merespon kondisi input sesuai setting atau kondisi yang telah ditentukan.

Relai arus lebih merupakan peralatan proteksi yang digunakan pada sistem tenaga listrik. Relai arus lebih merupakan relai proteksi yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi setting dari relai, dimana relai ini digunakan untuk mengamankan peralatan listrik terhadap gangguan hubung singkat antar fasa, hubung singkat fasa ke tanah, dan pengaman beban lebih.

Dalam memproteksi sebuah transformator tenaga, relai arus lebih digunakan sebagai pengaman cadangan yang dimana akan bekerja ketika pengaman utama mengalami gagal fungsi ketika terjadi gangguan hubung singkat internal. Relai arus lebih pun bekerja ketika terjadi gangguan hubung singkat eksternal. System dari Relay ini bekerja dengan cara Semakin besar arus gangguan yang terjadi maka akan semakin cepat rele bekerja. Tetapi pada saat tertentu yaitu pada saat mencapai waktu yang telah ditentukan maka kerja rele tidak lagi ditentukan oleh arus gangguan tetapi oleh waktu. Keuntungan menggunakan rele jenis ini adalah sebagai pengaman banyak saluran. (Hidayat et al., 2013)

Untuk menentukan berapakah waktu yang di setting, berikut merupakan table grafik OCR untuk membantu kita dalam menentukan seberapa besar waktu yang kita pulih dalam analisa arus beban lebih



Gammmbar 2.14 Grafik IDMT OCR

Relay yang di gunakan dapat menahan aliran arus sebesar 5 A (bagian bawah) dan menentukan TMS(Time Multiple Setting), TMS yang di gunakan dalam analisa adalah 1 (Bagian kanan) dan di bagian kiri adalah perkiraan waktu setting relay setelah kita menganalisa beban dan arus lebih.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat

Dalam penerapan penelitian tugas akhir ini di PT.Bumi Sama Ganda yang berlokasi di Dusun Benih Tamiang, Desa Kebun Rantau, Kecamatan Rantau, Kabupaten Aceh Tamiang, Provinsi Aceh

3.1.2 Waktu

Waktu penerapan tugas akhir ini berlangsung dimulai dari tanggal 6 Februari 2023 sampai 6 Maret 2023

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian

NO	Uraian	Bulan Ke								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Studi Literatur Tinjauan Lapangan Identifikasi masalah									
2	Penulisan Skripsi Bab 1 s/d Bab 3									
3	Seminar Proposal									
4	Pengambilan data Pengolahan Data									
5	Penulisan Bab 4 s/d Bab 5									
5	Analisis Data									
6	Seminar Hasil									
7	Perbaikan									
8	Sidang									

3.2 Data

Adapun Data penelitian yang digunakan oleh penulis di dalam penelitian adalah:

3.2.1 Data Generator

Tabel 3.2 Spesifikasi Generator

Spesifikasi Teknik	Keterangan
Serial Number	X13H343708
Base Rating KVA	2020.0
Base Rating KW	1616.0
Frekuensi	50 Hertz
Rpm	1500
Voltage	380
Phase	3
PF	0.80

3.2.2 Data Panel

Tabel 3.3 Data Panel

Spesifikasi Teknik	Keterangan
MCB	3200
HZ	50
VOLT	380
KW(max)	2000
$\text{Cos}\phi$	0,8

3.2.3 Data OCR

Tabel 3.4 Data OCR

Spesifikasi Teknik	Keterangan
CT	450 / 3
Arus Setting (Iset)	0,72
TMS	1 s
Kurva	Standart Inverse (0,14)

3.2.4 Spesifikasi Trafo

Tabel 3.5 Spesifikasi Trafo

Spesifikasi Teknik	Keterangan
Model	S11-1500kVA-11 / 0,4kV
Standar	IEC60076
Nilai Daya	2 MVA
Frekuensi	50 HZ
Phase	3
Tegangan Primer	11 Kv
Tegangan Sekunder	0,4 kV
Impedansi	6.5%
Bahan Berliku	Tembaga

3.2.5 Data Daya Listrik Terpakai

Tabel 3.6 Data Daya Listrik Terpakai

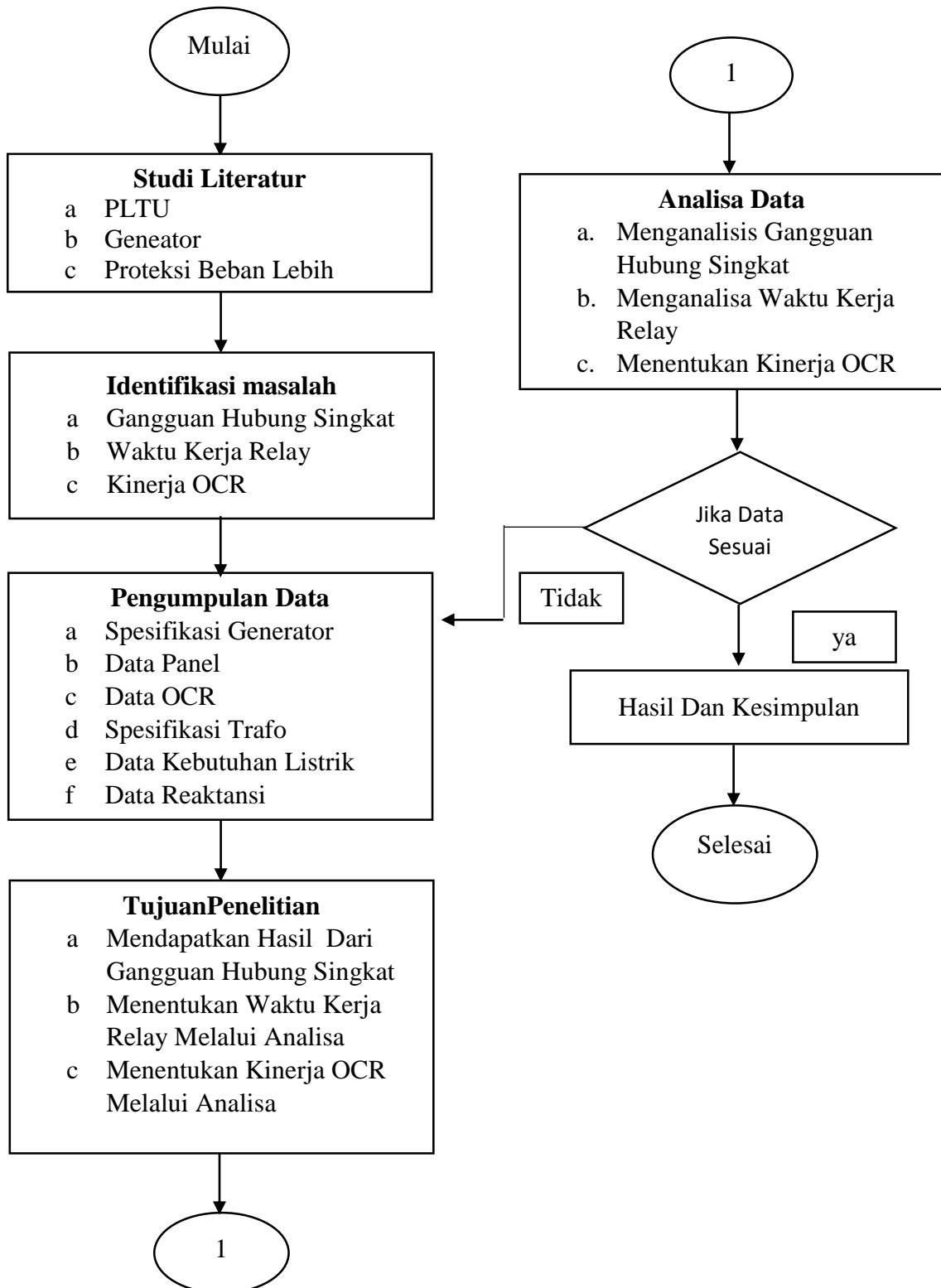
No.	Stasiun	Daya Terpakai (kW)	Arus Terpakai (A)
1	Fruit Bunch Reception Station	53,9	102,4
2	Sterilizer Station	34,22	65
3	Threshing Station	118,4	225
4	Pressing Station	186,8	354,9
5	Klarifikasi Station	65,5	142,4
6	Kernel Station	281,4	534,5
7	Water Treatment Plant	62,44	118,6
8	Boiler Station	233,9	444,4
9.	Maintenance	31,1	59,1
10	Kolam Limbah	26,7	50,8
11	Kantor, Lab Dan Timbangan	31,5	59,5

3.2.6 Data Reaktansi

Tabel 3.7 Reaktansi yang terjadi pada Generator

Item	MVA Rating	X1	X2	X0
G1	2	0,015	0,015	0,05
G2	2	0,015	0,015	0,05
T1	2	0,03	0,03	0,03
T2	2	0,03	0,03	0,03
L12	2	0,012	0,012	0,06
L13	2	0,015	0,15	0,035
L23	2	0,025	0,025	0,2125

3.3 Flow Chart Penelitian



3.4 Metode Studi Literatur

Metode studi literatur dalam penelitian ini diawali dari pengumpulan data yang di kupulkan dari perusahaan yang diizinkan untuk mengambil data, setiap data yang diambil berkaitan dengan apa yang akan di analisa dan data tersebut di olah dalam penelitian ini seperti data dari spesifikasi generator dan trafo, data dari panel yang berisi inti dari control kelistrikan termasuk OCR , data yang di ambil mencakup permasalahan yang di terjadi yaitu gangguan hubung singkat yang terjadi pada generator. Dari permasalahan tersebut akan di analisa dan mendapatkan hasil seperti seberapa besar gangguan yang terjadi dan berapa lama waktu yang di butuhkan relay arus lebih untuk membaca dan mengirimkan sinyanya ke pemutus hubungan listrik. Serta membandingkan kinerja OCR dalam perhitungan dan

BAB 4

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Menganalisis Gangguan Hubung Singkat

Untuk menganalisa gangguan hubung singkat, diperlukan analisa yang diawali dengan perhitungan mendasar agar memberikan petunjuk dan memberikan pembuktian bahwa memang terjadi gangguan beban lebih dan menyebabkan proteksi beban lebih aktif, pembangkit listrik tenaga uap yang di gunakan memiliki kapasitas 2000 kVA, trafo daya yang di gunakan berkapasitas 2 mVA, dikarenakan daya pembangkit melewati kabel dalam (Watt) maka daya generator akan di konversi menjadi satuan yang setara, dengan begitu menganalisa daya dapat di lakukan.

Untuk mengubah satuan kVA menjadi kW atau kW menjadi kVA dapat persamaan 2.1 dan 2.2, sebagai contoh data yang akan di gunakan sebagai bahan analisa adalah data spesifikasi generator pada Tabel. 3.2.

Keterangan :

P = Kapasitas Generator (kVA)

S = Daya Generator (kW)

$\text{Cos}\varphi$ = Faktor daya (0,8)

Dari persamaan 2.1 dilakukan perhitungan untuk mengubah kVA menjadi kW.

$$P = S \cdot \text{Cos}\varphi$$

$$P = 2000 \cdot 0,80$$

$$P = 1600 \text{ kW}$$

Dari persamaan 2.2 dilakukan perhitungan untuk mengubah kW menjadi kVA.

$$S = \frac{p}{\text{Cos}\varphi}$$

$$S = \frac{1600}{0,8}$$

$$S = 2000 \text{ kVA}$$

Hasil dari perhitungan dari persamaan 2.1 dan 2.2 menunjukkan bahwa rumus perhitungan tersebut sesuai dengan spesifikasi generator.

Selanjutnya untuk mengubah satuan kW menjadi A dapat dihitung menggunakan persamaan 2.3 dengan rumus :

$$I_{(A)} = \frac{1000 \cdot P_{(kW)}}{\sqrt{3} \cdot \text{Cos}\varphi \cdot V(v)}$$

$$I_{(A)} = \frac{1000 \cdot 1600_{kW}}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 380}$$

$$I_{(A)} = \frac{16 \cdot 10^5}{526,54}$$

$$I = 3038,68 \text{ A}$$

Pada dasarnya generator hanya bekerja pada 80% - 90% dari total spesifikasinya, akan tetapi bukan berarti generator tidak bisa bekerja lebih dari itu, dalam pembangkit listrik tenaga uap ini selalu memiliki batasan *emergency* sebesar 10% lebih besar dari spesifikasi, memang tidak disarankan untuk memaksakan kinerja generator sampai total 110%, akan tetapi hal ini memang sudah diperhitungkan untuk menjaga generator tetap stabil. Berikut perhitungan kapasitas maksimal generator menggunakan persamaan 2.4 :

$$I_{\max(\text{gen})} = \frac{P \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380} \cdot 110\%$$

$$I_{\max(\text{gen})} = \frac{2000_{(kVA)} \cdot 10^3}{(\sqrt{3} \cdot 380)} \cdot 110\%$$

$$I_{\max(\text{gen})} = \frac{2 \cdot 10^6_{(A)}}{658,17} \cdot 110\%$$

$$I_{\max(\text{gen})} = 3342,55 \text{ A}$$

Dengan hasil perhitungan kapasitas generator dalam satuan Ampere dapat diketahui bahwa generator dapat menahan beban sebesar 3038 A dan beban maksimal sebesar 3342 A.

a. Perhitungan Beban Maksimum

Untuk menentukan seberapa besar trafo yang digunakan, maka perlu diperhitungkan beban maksimum yang dibutuhkan oleh perusahaan sebesar

2157A, dengan didapatkannya hasil beban maksimum yang di butuhkan perusahaan maka baru bisa menentukan seberapa besar trafo yang di gunakan, dengan adanya Tabel 3.6, data untuk perhitungan beban maksimum dapat dilakukan menggunakan persamaan 2.5 sehingga perhitungannya adalah :

Dik : $I = 2157 \text{ A}$ (Arus yang di butuhkan perusahaan)

$$P = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot V}{1000}$$

$$P = \frac{\sqrt{3} \cdot 2157_A \cdot 380}{10^3}$$

$$P = \frac{141,9692,765}{10^3}$$

$$= 1.419,69 \text{ kVA}$$

Dengan hasil perhitungan beban maksimal tersebut didapatkan hasil sebesar 1.419,69 kVA. Untuk menentukan trafo yang di gunakan maka beban maksimum di jumlahkan dengan 80% sebagai efisiensi daripada trafo, penjumlahan dapat di lakukan dengan perhitungan :

Dik : 80% daripada efisiensi trafo $2 \text{ mVA} = 100 : 80$ daripada perhitungan beban

$$\frac{100}{80} \cdot P$$

$$\frac{100}{80} \cdot 1319,69 = 1648,75 \text{ kVA}$$

Dengan didapatkan hasil sebesar 1648,75 kVA, maka trafo yang dipakai sesuai di pasaran, maka trafo yang dipilih sebesar 2000 kVA.

Untuk spesifikasi trafo yang di pakai terlampir pada table 3.5, untuk mengetahui gangguan hubung singkat yang terjadi, maka harus diketahui bagian primer dan sekunder pada trafo daya, untuk itu dilakukan perhitungan dengan menggunakan perhitungan arus nominal dan arus rating.

b. Perhitungan Arus pada sisi Primer dan Sekunder

Untuk mengetahui arus pada sisi primer dan sekunder harus diketahui dulu bahwa I_n atau arus nominal merupakan arus yang mengalir paada masing masing jaringan, dengan begitu perhitungannya adalah :

Dik : $S = 2 \text{ mVA}$ (Kapasitas Generator)

$$I_{pri} = 11 \text{ kV}$$

$$I_{sek} = 0,4 \text{ kV}$$

- 1) Arus nominal pada sisi tegangan primer 11kV menggunakan persamaan 2.16 :

$$I_{N1} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_p}$$

$$I_{N1} = \frac{2 \cdot 10^6 \text{ mVA}}{\sqrt{3} \cdot 11000}$$

$$I_{N1} = \frac{2 \cdot 10^6 \text{ mVA}}{19052,5}$$

$$I_{N1} = 104,97 \text{ A}$$

- 2) Arus nominal pada sisi tegangan sekunder 0,4 kV menggunakan persamaan 2.17 :

$$I_{N2} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_s}$$

$$I_{N1} = \frac{2 \cdot 10^6 \text{ mVA}}{\sqrt{3} \cdot 400}$$

$$I_{N1} = \frac{2 \cdot 10^6 \text{ mVA}}{692,8}$$

$$I_{N1} = 2886,8 \text{ A}$$

- 3) Arus Rating di sisi tegangan primer 11 kV menggunakan persamaan 2.18:

$$I_{rat} = 110\% \cdot I_{n2}$$

$$I_{rat} = 110\% \cdot 104,97 \text{ A}$$

$$I_{rat} = 115,46 \text{ A}$$

4) Arus Rating di sisi tegangan primer 0,4 Kv menggunakan persamaan 2.19:

$$I_{rat} = 110\% \cdot I_{n2}$$

$$I_{rat} = 110\% \cdot 2884,8 A$$

$$I_{rat} = 3175,4 A$$

Hasil dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa arus nominal yang menuju ke trafo daya di sisi tegangan primer 11kV adalah 104,97 A sedangkan di sisi tegangan sekunder 0,4 kV adalah 2886,8 A.

Selanjutnya menentukan luas penampang kabel yang di gunakan pada trafo 2000 kVA, untuk menentukan luas penampang kabel, kapasitas trafo tersebut harus di konversi menjadi Ampere.

Diketahui :

Trafo Daya : 2000 kVA

Factor daya : 0,8

$$P = S \cdot \text{Cos}\varphi$$

$$P = 2000 \cdot 0,80$$

$$P = 1600 \text{ Kw}$$

Hasil dari konversi kVA ke Kw adalah 1600 kW dikarenakan tujuan konversi sampai watt maka :

$$P = 1600 \cdot 1000$$

$$P = 1600 \cdot 10^3 \text{ Watt}$$

Setelah mendapatkan hasil daya 1.600.000 W makadapat dilanjut untuk mengkonversi ke Amper dengan perhitungan :

$$I = \frac{P_{Watt}}{380 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{3}}$$

$$I = \frac{1.600.000}{526.54}$$

$$I = 3038.68 A$$

Dengan hasil tersebut kabel yang di gunakan sebagai penampang dapat di tentukan, KHA yang di butuhkan adalah = 125% X 3038,54 = 3798.38 A, Dengan

hasil perhitungan dari luas penampang kabel adalah 3798 A, dengan begitu ACB yang tersedia : 4000 A

Denan ACB yang tersedia sbesar 4000 A, maka kabel yang digunakan adalah :

kabel *Singel Core* (di udara) = NYY 3(8 X 1c x 185mm²) + 1(8 X 1c x 185mm²)

atau :

kabel *Multi Core* (di udara) = NYY 3(8 X 1c x 300mm²) + 1(8 X 1c x 300mm²)

c. Hubung Singkat Fasa ke Tanah

Sebelum menghitung gangguan yang terjadi atau hubung singkat, ada beberapa yang harus diketahui terlebih dahulu, yaitu mengetahui reaktansi urutan positif (Z_1), urutan negative (Z_2) dan urutan nol (Z_0)

Untuk mencari Z_1 dapat melakukan perhitungan :

Z_1 :

$$L_1 = \frac{XL_{12} \cdot XL_{13}}{XL_{12} + XL_{13} + XL_{23}} = \frac{0,012 \cdot 0,015}{0,012 + 0,015 + 0,025} = J0,0034$$

$$L_2 = \frac{XL_{12} \cdot XL_{23}}{XL_{12} + XL_{13} + XL_{23}} = \frac{0,012 \cdot 0,025}{0,012 + 0,015 + 0,025} = J0,00576$$

$$L_3 = \frac{XL_{12} \cdot XL_{23}}{XL_{12} + XL_{13} + XL_{23}} = \frac{0,012 \cdot 0,025}{0,012 + 0,015 + 0,025} = J0,00576$$

$$ZS_1 = XG_1 + XT_1 + XL_1$$

$$= 0,015 + 0,03 + 0,0034$$

$$= J0,048$$

$$ZS_2 = XG_2 + XT_2 + XL_2$$

$$= 0,015 + 0,03 + 0,00576$$

$$= J0,050$$

$$Z_1 = XL_3 + \left(\frac{ZS_1 \cdot ZS_2}{ZS_1 + ZS_2} \right) = 0,00576 + \left(\frac{0,048 \cdot 0,050}{0,048 + 0,050} \right) = J0,031$$

Hasil dari Z_1 sama dengan hasil Z_2

$$Z_1 = Z_2 = j0,031$$

$$Z_2 = j0,031$$

Untuk mencari Z_0 atau urutan 0 dapat dilakukan dengan perhitungan :

Z_0 :

$$X_0L_1 = \frac{X_0L_{12} \cdot X_0L_{13}}{X_0L_{12} + X_0L_{13} + X_0L_{23}} = \frac{0,06 \cdot 0,0325}{0,06 + 0,035 + 0,0325} = j0,005$$

$$X_0L_2 = \frac{X_0L_{12} \cdot X_0L_{23}}{X_0L_{12} + X_0L_{13} + X_0L_{23}} = \frac{0,06 \cdot 0,0325}{0,06 + 0,035 + 0,0325} = j0,0046$$

$$X_0L_3 = \frac{X_0L_{13} \cdot X_0L_{23}}{X_0L_{12} + X_0L_{13} + X_0L_{23}} = \frac{0,035 \cdot 0,0325}{0,06 + 0,035 + 0,0325} = j0,0027$$

$$\begin{aligned} Z_0S_1 &= XNG_1 + X_0G_1 + X_0T_1 + X_0L_1 \\ &= 0,025 + 0,05 + 0,03 + 0,005 = j0,11 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_0S_2 &= X_0T_2 + X_0L_2 \\ &= 0,03 + 0,0046 = j0,034 \end{aligned}$$

$$Z_0 = X_0L_3 + \left(\frac{Z_0S_1 \cdot Z_0S_2}{Z_0S_1 + Z_0S_2} \right) = 0,0027 + \left(\frac{0,11 \cdot 0,034}{0,11 + 0,034} \right) = j0,028$$

Mencari atau menentukan besarnya arus hubung singkat terhadap suatu system, maka yang diperlukan adalah data data dari generator beserta impedansi (tahanan) dan reaktansinya. Perhitungan yang akan dilakukan adalah perhitungan gangguan arus hubung singkat 1 fasa dengan tanah pada generator PLTU PT. BSG.

Seperti yang diketahui $Z_1 = Z_2 = 0.031$, $Z_0 = 0,028$, $V = 11$ kV dan perhitungan menggunakan persamaan 2.23 untuk $E_a = \text{tegangan fasa netral}$ dan 2.24 untuk $I_{hs} = \text{Arus Hubung Singkat}$

Mencari tegangan fasa netral :

$$E_a = \frac{V}{\sqrt{3}} = (kV)$$

$$E_a = \frac{11kV}{\sqrt{3}} = 6,35 kV$$

Mencari Arus Hubung Singkat :

$$I_{hs} = \frac{3 \cdot E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_{hs} = \frac{3 \cdot 6,35}{0,031 + 0,031 + 0,028}$$

$$I_{hs} = \frac{19,5}{0,09} = 216,7 A$$

4.2 Analisis Setting waktu

Untuk mengetahui berapa lama relay bekerja untuk memberikan sinyal ke PMT agar mengtripkan hubungan listrik, maka diperlukan beberapa perhitungan untuk menentukan setting relay bekerja

a. Perhitungan Arus Nominal (I_n)

Hasil dari perhitungan arus nominal akan digunakan untuk perhitungan setting arus (I_{set}) menggunakan persamaan 2.6 :

$$I_N = \frac{S(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V}$$

$$I_N = \frac{2000 kVA}{\sqrt{3} \cdot 11 kV}$$

$$I_N = 104,97 A$$

b. Perhitungan Setting Arus (I_{set})

Hasil Perhitungan setting arus akan digunakan untuk perhitungan waktu operasi rele (Top). Untuk perhitungan sisi primer menggunakan persamaan 2.7 :

$$I_S \text{ Primer} = 1,10 \cdot I_n$$

$$I_S \text{ Primer} = 1,10 \cdot 104,97 A$$

$$I_s \text{ Primer} = 115,46 \text{ A}$$

Nilai arus tersebut adalah nilai setelan sisi primer, kemudian nilai yang akan disetelkan pada rele merupakan nilai sekundernya. Sehingga dihitung menggunakan nilai pada rasio CT arus yang terpasang, untuk mencari besarnya arus pada sisi sekunder dapat menggunakan persamaan 2.8 sebagai berikut :

$$I_s \text{ Sekunder} = I_s \text{ Primer} \cdot \frac{CT \text{ sekunder}}{CT \text{ primer}}$$

$$I_s \text{ Sekunder} = 115,46 \cdot \frac{3}{450}$$

$$I_s \text{ Sekunder} = 0,76 \text{ A}$$

Untuk arus *setting* pada sisi primer adalah 115,46 Ampere, tetapi nilai yang akan diaturkan pada rele adalah sisi sekundernya yaitu 0,76 A.

c. Perhitungan TMS (Time Multiple Setting) menggunakan persamaan 2.9 :

$$TMS = \frac{\beta}{\left(\frac{If}{Is}\right)^{0,02} - 1}$$

$$TMS = \frac{0,14}{\left(\frac{216,7}{0,76}\right)^{0,02} - 1}$$

$$TMS = 1,16 \text{ s}$$

Jadi perhitungan TMS mendapatkan hasil sebesar 1,16 s

d. Perhitungan waktu operasi relay (Top) menggunakan persamaan 2.13 :

$$Top = \frac{0,14 \cdot 1,2}{\left(\frac{216,7}{0,76}\right) - 1}$$

$$Top = \frac{0,168}{343}$$

$$Top = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

Dengan beban hubung singkat yang terjadi pada generator sebesar 216,7 A, maka relay proteksi OCR bekerja dalam waktu 0,00048 detik untuk memerintahkan PMT agar melepas hubungan listrik.

4.3 Kinerja OCR terhadap gangguan hubung singkat

Hasil dari beban yang terjadi karena hubung singkat dan waktu yang didapat dari perhitungan beban hubung singkat, maka dapat di susun dan di perhitungkan kembali menggunakan ($N \times I_f$) dengan cara ini, beban yang lebih besar dan waktu yang di setting mendapatkan selisih, dari cara ini memberi tahu kalau system dari standart invers yang di gunakan bekerja saat beban semakin besar maka waktu yang dibutuhkan relay untuk membaca semakin cepat .

Tabel 4.1 Kinerja OCR terhadap gangguan hubung singkat

Imax (A)	Iset (A)	Beban (%)	Ifault (A)	N x If (A)	t OCR (s)
3342,55	0,76	100	216,7	216,7	$4,8 \times 10^{-4}$
3342,55	0,76	200	216,7	433,4	$2,47 \times 10^{-4}$
3342,55	0,76	300	216,7	650,1	$1,57 \times 10^{-4}$
3342,55	0,76	400	216,7	866,8	$1,13 \times 10^{-4}$
3342,55	0,76	500	216,7	1083,5	$8,74 \times 10^{-5}$
3342,55	0,76	600	216,7	1300,2	$6,71 \times 10^{-5}$

Dari table 4.1 dapat diketahui bahwa Ifault yang membebankan OCR sebesar 216,7 dengan Iset 0.76 A, OCR dapat bekerja dalam waktu $4,8 \times 10^{-4}$ detik. Sedangkan table pada kolom selanjutnya dengan Imax dan Iset yang sama tetapi pembebanan 2 generator, dengan kelipatan 2 x If yang sama didapatkan hasil 433,4 A dan OCR bekerja selama $2,47 \times 10^{-4}$ detik dan dilanjutkan seterusnya dengan perhitungan yang sama, dari table 4.1 juga dapat di pahami bahwa semakin besar arus yang mengalir pada relay OCR maka semakin cepat pula relay membaca dan mengirim sinyal untuk mengtripkan hubungan arus tersebut.

a. Analisis Setting Relay

Berdasarkan data setting eksisting dan data setting hasil perhitungan, maka dibuat sebuah table perbandingan sebagai berikut:

Tabel 4.2 Perbandingan hasil perhitungan dengan data eksisting

Uraian	Hasil Perhitungan	Eksisting
In (Arus Nominal)	104,97 A	100 A
Is (Arus Setting)	0,76 A	0.72 A
TMS	1,16 s	1 s
Top	$4,8 \times 10^{-4}$ s	$4,5 \times 10^{-4}$ s

Untuk hasil presentase selisih perbandingan dapat dihitung sebagai berikut :

a Persentase Arus Nominal

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Hasil perhitungan} - \text{eksisting}}{\text{eksisting}} \cdot 100\% \\
 &= \frac{104,97 - 100}{100} \cdot 100\% \\
 &= 4,97 \%
 \end{aligned}$$

Jadi selisih persentase arus nominal hasil perhitungan dan data eksisting nya adalah 4,97 % dengan kesimpulan hasil perhitungan lebih besar daripada eksisting

b Persentase Arus Setting

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,76 - 0,72}{0,72} \cdot 100\% \\
 &= 5,5 \%
 \end{aligned}$$

Jadi selisih persentase arus setting dari perhitungan dengan data eksistingnya adalah 5,5 %. Dengan kesimpulan hasil perhitungan lebih besar daripada eksisting

c Persentase TMS

$$= \frac{1,16 - 1}{1} \cdot 100\%$$

$$= 16 \%$$

Jadi selisih persentnase TMS dari perhitungan dengan data eksistingnya adalah 16%. Dengan kesimpulan hasil perhitungan lebih besar daripada eksisting

d Persentase Top

$$= \frac{4,8 \times 10^{-4} - 4,5 \times 10^{-4}}{4,5 \times 10^{-4}} \cdot 100\%$$

$$= 6,6 \%$$

Jadi selisih persentase Top dari perhitungan dengan data eksistingnya adalah 6,6%. Dengan kesimpulan hasil perhitungan lebih besar daripada eksisting

4.4 Analisa Uraian Hasil Penelitian

Dari Analisa yang dilakukan dalam pembahasan, Arus nominal (I_n) nilai eksistingnya adalah 100 A sedangkan nilai hasil perhitungan *setting*nya yaitu 104,97 A dengan persentase selisihnya sebesar 4,97 % dapat disimpulkan bahwa nilai perhitungan lebih besar dari pada nilai eksisting. Dan Arus setting (I_s) nilai eksistingnya yaitu 0,72 A dan hasil nilai perhitungan yaitu 0,76 A dengan presentase 5,5%. Hal ini menyatakan bahwa hasil perhitungan lebih besar dari nilai *setting*nya, sehingga bisa dikatakan arus maksimum yang bisa mengoperasikan rele arus lebih tersebut juga menjadi lebih besar yang tadinya 0,72 A menjadi 0,76 A. Hal ini bisa disebabkan oleh arus yang masuk pada sisi primernya lebih kecil sehingga dapat mengubah rasionya. Seperti yang diketahui bahwa sisi primer merupakan faktor pengali rumus untuk arus *setting*nya (I_s), jadi semakin kecilnya arus yang masuk di sisi primer akan semakin besar pula hasil perhitungan dari arus *setting*nya. Waktu *time multiplier setting* (TMS) nilai *setting* eksistingnya yaitu 1 s sedangkan hasil nilai perhitungan *setting*nya yaitu 1.16 s. Hal ini berarti menyatakan bahwa waktu TMS hasil perhitungan lebih besar dari nilai eksistingnya, sehingga dapat dikatakan hasil perhitungan lebih lambat untuk memproteksi komponen dari gangguan. Untuk waktu operasi rele (top) nilai *setting*

eksistingnya yaitu $4,5 \times 10^{-4}$ s sedangkan hasil nilai perhitungan *settingnya* yaitu $4,8 \times 10^{-4}$ s. Dapat dikatakan untuk *time operation* (top) perhitungan lebih besar dengan selisih 6,6%.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan untuk penelitian tugas akhir ini yaitu sebagai berikut :

1. Hasil dari analisa gangguan hubung singkat yang di peroleh dalam pembahasan menggunakan persamaan 2.23 mendapatkan hasil gangguan sebesar 216.7 A. Untuk mengetahui dari hasil gangguan hubung singkat, harus mengetahui reaktansi urutan positif , reaktansi urutan negative, reaktansi urutan nol, dengan diketahuinya reaktansi tersebut maka gangguan hubung singkat yang terjadi pada generator dapat di ketahui dalam perhitungan dalam pembahasan.
2. Waktu yang dibutuhkan relay untuk memutuskan hubungan kelistrikan saat terjadi hubung singkat adalah $4,8 \times 10^{-4}$ detik. Waktu yang di dapat dari perhitungan tersebut cukup singkat, dapat diketahuI gangguan hubung singkat yang terjadi sebesar 216,7 A. Untuk mendapatkan hasil dari waktu kerja relay, ada perhitungan untuk mengetahui seberapa besar TMS yang di tentukan melalui perhitungan, dari perhitungan mendapatkanhasil TMS sebesar 1.16 detik. Dengan TMS = 1,16 detik tersebut dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.9, persamaan tersebut untuk mencari hasil waktu yang di butukan relay arus lebih untuk mengirimkan sinyal ke pemutus hubung listrik.
3. Kinerja OCR dapat diketahui dengan mendapatkan hasil gangguan hubung singkat dan waktu yang di butuhkan dalam mengatasi gangguan tersebut, dalam table 4.1 dapat diketahui bahwa ($I_f = 216.7$ A), di kolom pertama merupakan gangguan yang terjadi pada generator dan waktu yang dibutuhkan untuk memutus tegangan ($t_{ocr} = 4,8 \times 10^{-4}$ s). begitu pula dengan di kolom selanjutnya dengan gangguan berkelipatan pada generator ($N \times I_f$), seperti yang di ketahui, OCR menggunakan system Invers yang dimana semakin besar gangguan yang terjadi , maka semakin singkat waktu yang di butuhkan untuk memutus hubung arus.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian tugas akhir ini yaitu sebagai berikut :

1. Penelitian diharapkan dapat focus pada pengembangan algoritma atau perangkat yang lebih efisien untuk pengaman arus lebih pada generator, sehingga evaluasi dan perbandingan berbagai metode pengaman arus lebih dalam menghadapi berbagai jenis gangguan arus lebih
2. Menggunakan data historis dan data analistik statistic untuk mengembangkan model prediksi yang dapat membantu untuk mencegah terjadinya gangguan hubung singkat pada generator.

DAFTAR PUSTAKA

1. Aceng Daud. (2019). Rancang bangun modul proteksi arus beban lebih dan hubung singkat. *Jurnal Teknik Energi*, 9(1), 37–44. <https://doi.org/10.35313/energi.v9i1.1643>
2. Amin, N. (2012). SISTEM PROTEKSI GENERATOR TURBIN UAP (Studi Kasus : Pabrik Gula Camming). *Majalah Ilmiah Mektek*, 1, 1–27. <https://media.neliti.com/media/publications/153160-ID-sistem-proteksi-generator-turbin-uap-stu.pdf>
3. Andriansah, A. K., & Haryudo, S. I. (2020). Sistem Pengaturan Beban Generator Satu Fasa Secara Otomatis Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknik Elektro*, 09(02), 339–346.
4. Asy'ari, H., Jatmiko, & Ardiyatmoko, A. (2012). Desain Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin atau Bayu (PLTB). *Teknik Elektro*, 12(01), 59–67.
5. Binoto, M., & Sriwinarno, P. (2019). *Kemampuan Kerja Relai Arus Lebih Terhadap*. 110–116.
6. Cahyadi, D, . Hermawan. (2015). *Analisa Perhitungan Efisiensi turbine Generator QFSN-300-2-20B Unit 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU Rembang*. June, 5–8.
7. Eratama, M. S. (2022). *ANALISA EFISIENSI TURBIN UAP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP KAPASITAS 7,5 MW*. 4, 110–115.
8. Fahreza, M., Hamdani, & Tharo, Z. (2019). *Pemodelan dan Pengendalian Frekuensi sistem tenaga listrik pada Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Uap*. 233–236.
9. Fitriyani, M. O., Facta, M., & Juningtyastuti. (2015). Evaluasi Setting Relay Proteksi Generator Dan Trafo Generator Di Pltgu Tambak Lorok Blok 1. *Transient*, Aryanto, T. (2013) 'Frekuensi Gangguan Terhadap Ki.
10. Harsono, H. D., Berahim, H., & Hani, S. (2014). Studi Pengaruh Beban Lebih Terhadap Kinerja Relay Arus Lebih Pada Transformator Daya Di Gardu Induk Pedan Menggunakan Etap. *Jurnal Elekrika*, 1(2), 44–59.
11. Hidayat, A. W., Gusmedi, H., Hakim, L., & Despa, D. (2013). Analisa Setting Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah pada Penyulang Topan Gardu Induk

- Teluk Betung. *Electrician*, 7(3), 1–8.
12. Marpaung, P. R. H., Eteruddin, H., & Setiawan, D. (2021). Studi Perubahan Beban Terhadap Kinerja AVR pada Generator Sinkron Unit 2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Ubjom Tenayan Raya. *Seminar Nasional Karya Ilmiah Multidisiplin*, 1(1), 96–109.
 13. Nasution, E. S., Pasaribu, F. I., & Arfianda, M. (2019). Rele Diferensial Sebagai Proteksi pada Transformator Daya pada Gardu Induk. *Ready Start*, 02(1), 179–186.
 14. Noer, M. (2017). Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Generator Di Pltg Borang Dengan Menggunakan Software Matlab. *Jurnal Ampere*, 2(2), 103. <https://doi.org/10.31851/ampere.v2i2.1774>
 15. Nova, T., & Syahrial. (2013). Perhitungan Setting Rele OCR dan GFR pada Sistem Interkoneksi Diesel Generator di Perusahaan “ X “. *Jurnal Reka Elkomika*, 1(1), 76–85.
 16. Oloni Togu Simanjuntak, Ir. Syamsul Amien, M. (2016). Studi Keandalan (Reliability) Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Labuhan Angin Sibolga. *Singuda ENSIKOM*, 10(26), 1–6.
 17. Pravitasaria, Y., Malino, M. B., & Maraa, M. N. (2017). Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung. *Prisma Fisika*, 5(1), 9–12. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jpfu/article/view/18086>
 18. Rachmawan, A., Muharom, S., Elektro, J. T., Teknik, F., & Informasi, T. (n.d.). *Implementasi Metode Pid Pada Pendingin Ruang Panel Inverter Berbasis Arduino*. 385–392.
 19. Rahim, A., Gunadin, I. C., & ... (2023). Studi Koordinasi Relai Arus Lebih Pada Sistem Proteksi Generator dan Transformator PLTA Bakaru. *Jurnal Eksitasi ...*, 2(1), 12–18. <http://journal.unhas.ac.id/index.php/eksitasi/article/view/27112%0Ahttps://journal.unhas.ac.id/index.php/eksitasi/article/download/27112/9879>
 20. Rimbawati, Harahap, P., & Putra, K. (2019). Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator. *Jurnal Teknik Elektro*, 2(1), 37–44.
 21. Verta Asi, M., Bonar, S., & Purwoharjono. (2018). ANALISIS SISTEM PEMBUMIAN NETRAL GENERATOR PADA PEMBANGKIT. *Jurnal*

Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, 1(1).

22. Wahyudi, B. (2019). Analisis Efisiensi Turbin Uap terhadap Kapasitas Listrik Pembangkit. *Jurnal Teknik Elektro*, 2–9(2), 33–36.
23. Wulandari, P. F., Lutfiananda, D., & Sumada, K. (2023). Unjuk Kerja Dan Efisiensi Turbin Uap Dan Generator (Tg-65) Pada Pembangkit Listrik Unit Sistem Utilitas Departemen Produksi Iiia Pt Petrokimia Gresik. *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(1), 67–74.
<https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v4i1.1036>
24. Yunitasari, A. V., Yunitasari, A. V., & Pramono, S. (2021). Sistem Proteksi Over Current Relay Motor Forced Draft Fan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap. *Jurnal Teknologi*, 13(1), 55–62.
<https://jurnal.umj.ac.id/index.php/jurtek/article/view/600>

Lampiran I Rincian Kebutuhan Daya Setiap Terminal

No	Peralatan	Unit Mesin	Daya (kW)	Stand By Mesin	Daya Terpasang		Daya Beroperasi	
					kW	A	kW	A
8	Collecting Pump	2	2,2	1	4,4	8,3	2,2	4,1
9	Reclaimed Pump	1	1,76		1,76	3,3	1,76	3,3
10	Sludge Pit Pump	2	5	1	10	19,1	5	9,5
11	Vacuum Pump	2	5	1	10	19,1	5	9,8
12	Hot Water Pump no 1	1	1,76		1,76	3,3	1,76	3,3
13	Hot Water Pump no 2	1	6		6	11,4		
VI	Kernel Recovery Station L.1 dan L.2							
1	Cake Breaker Conveyor L.1 / no.1	1	7,5		7,5	14,2	7,5	14,2
2	Cake Breaker Conveyor L.1 / no.2	1	11,5		11,5	21,8	11,5	21,8
3	Cake Breaker Conveyor L.2 / no.1	1	7,5		7,5	14,2		
4	Cake Breaker Conveyor L.2 / no.2	1	11,5		11,5	14,2		
5	Air Lock Fiber Cyclone L.1	1	6		6	11,4	6	11,4
6	Air Lock Fiber Cyclone L.2	1	6		6			
7	Fiber Cyclone Fan L.1	1	34,2		34,2	65,1	34,2	65,1
8	Fiber Cyclone Fan L.2	1	31,5		31,5	59,8		
9	Nut Polishing Drum L.1	1	5,2		5,2	9,8	5,2	9,8
10	Nut Polishing Drum L.2	1	5,2		5,2	9,8		
11	Nut Auger Conveyor L.1	1	1,76		1,76	3,3	1,76	3,3
12	Nut Auger Conveyor L.2	1	3,2		3,2	6,1		
13	Air Lock Nut Cyclone L.1	1	1,76		1,76	3,3	1,76	3,3
14	Air Lock Nut Cyclone L.2	1	1,76		1,76	3,3		
15	Nut Cyclone Fan (Destoner) L.1	1	45		45	85,5	45	85,5
16	Nut Cyclone Fan (Destoner) L.2	1	45		45	85,5		
17	Nut Grading Drum	1	7,8		7,8	14,8	7,8	14,8
18	Ripple Mill	5	11,5	3	57,5	109,3	23	43,7
19	Cracked Mixture Conveyor L.1	1	1,76		1,76	3,3	1,76	3,3
20	Cracked Mixture Conveyor L.2	1	3,2		3,2	6,1		
21	Cracked Mixture Elevator	1	3,2		3,2	6,1	3,2	6,1
22	LTDS 1 Line 1 Fan	1	15,7		15,7	29,8	15,7	29,8
23	LTDS 1 Line 1 Air Lock Column	1	1,76		1,76	3,3	1,76	3,3
24	LTDS 1 Line 1 Air Lock Cyclone	1	1,76		1,76	3,3	1,76	3,3
25	Vibrating Nut	1	1,76		1,76	3,3	1,76	3,3
26	LTDS 2 Line 1 Fan	1	15,7		15,7	29,8	15,7	29,8
27	LTDS 2 Line 1 Air Lock Column	1	1,76		1,76	3,3	1,76	3,3
28	LTDS 2 Line 1 Air Lock Cyclone	1	1,76		1,76	3,3	1,76	3,3
29	Claybath Agitator L.1	1	1,76		1,76	3,3	1,76	3,3
30	Claybath Agitator L.2	1	1,76		1,76	3,3		
31	Claybath Pompa L.1	1	3,2		3,2	6,1	3,2	6,1
32	Claybath Pompa L.2	1	3,2		3,2	6,1		
33	Tangki Pengaduk Lumpur Agitator	1	1,76		1,76	3,3	1,76	3,3
34	Wet Shell Transport Fan Ducting L.1	1	15,2		15,2	28,9	15,2	28,9
35	Wet Shell Transport Fan Ducting L.2	1	15,2		15,2	28,9		

No	Peralatan	Unit Mesin	Daya (kW)	Stand By Mesin	Daya Terpasang		Daya Beroperasi	
					kW	A	kW	A
36	Wet Kernel Conveyor L.1	1	2,2		2,2	4,1	2,2	4,1
37	Wet Kernel Conveyor L.2	1	2,2		2,2	4,1		
38	Wet Kernel Elevator L.1	1	2,2		2,2	4,1	2,2	4,1
39	Wet Kernel Elevator L.2	1	2,2		2,2	4,1		
40	Kernel Top Distribution Conveyor	1	2,2		2,2	4,1	2,2	4,1
41	Kernel Dryer Fan	3	11,5	1	34,5	65,5	23	43,7
42	Dried Kernel Conveyor	1	3,2		3,2	6,1	3,2	6,1
43	Dry Kernel Transport Fan Ducting	2	17,6	1	35,2	66,9	17,6	33,4
44	Shell Elevator	1	2,2		2,2	4,1	2,2	4,1
VII	Water Treatment Plant							
1	Submersible Pump	3	4	1	12	22,8	8	15,2
2	Raw Water Intake Pump	2	12	1	24	45,6	12	22,8
3	Pomp Waduk	1	12		12	22,8	12	22,8
4	Chemical Pump	2	0,2	1	0,5	0,9	0,2	0,3
5	Clarifier Water Pump	2	6,5	1	13	24,7	6,5	12,1
6	Softener Pump	1	6		6	11,4	6	11,4
VIII	Boiler Station							
1	Fuel Scrapper Conveyor	2	6,5		13	24,7	6,5	12,1
2	Fuel Distribution Screw Conveyor	1	6,5		6,5	12,1	6,5	12,1
3	Dosing Tank Agitator	1	0,37		0,37	0,7	0,37	0,7
4	Dosing Pump / Chemical Pump	1	0,37		0,37	0,7	0,37	0,7
5	Dearator Pump	2	6	1	12	22,8	6	11,4
6	Rotary Feeder (Pendulum) Boiler 1	1	1,2		1,2	2,2	1,2	2,2
7	Induced Draught Fan Boiler no.1	1	100		100	190	100	190
8	Force Draf Fan Boiler no.1	1	11,5		11,5	21,8	11,5	21,8
9	Fuel Feeder Fan Boiler no.1	1	15,7		15,7	29,8	15,7	29,8
10	Secondary Air Fan Boiler no.1	1	14,7		14,7	27,9	14,7	27,9
11	Dust Collector Air Lock Boiler 1	3	0,75	1	2,25	4,2	1,5	2,8
12	Feed Water Pump Electrical	1	49,4		49,4	93,9	49,4	93,9
13	Rotary Feeder (Pendulum) Boiler 2	1	1,5		1,5	2,8		
14	Induced Draught Fan Boiler no.2	1	100		100	190		
15	Force Draf Fan Boiler no.2	1	11,5		11,5	21,8		
16	Fuel Feeder Fan Boiler no.2	1	11,7		11,7	22,2		
17	Secondary Air Fan Boiler no.2	1	14,7		14,7	27,9		
18	Modulating Dumper	1	0,06		0,06	0,11	0,06	0,11
19	Air Compressor	2	2,2	1	4,4	8,2	2,2	4,1
IX	Maintenance							
1	Mesin Bubut	1	7		7	13,3	7	13,3
2	Mesin Scrap	1	2,2		2,2	4,1		
3	Travo Las	4	6,4	3	25,6	48,6	6,4	12,1
4	Mesin Bending Plat	1	7,7		7,7	14,6		
5	Gergaji Mesin	1	0,75		0,75	1,4		
X	Kolam Limbah							

No	Peralatan	Unit Mesin	Daya (kW)	Stand By Mesin	Daya Terpasang		Daya Beroperasi	
					kW	A	kW	A
1	Instalasi Listrik & Penerangan	1	1,5		1,5	2,8	1,5	2,8
2	Pompa Celup	4	3,75	2	15	28,5	7,5	7,1
XI	Office (Kantor)							
1	Kantor, Lab dan Timbangan	1	13,6		13,6	25,8	13,6	25,8
Total			1075,4		1593,3	3005,8	1241	2157

Lampiran II Ruas Penampang Kabel

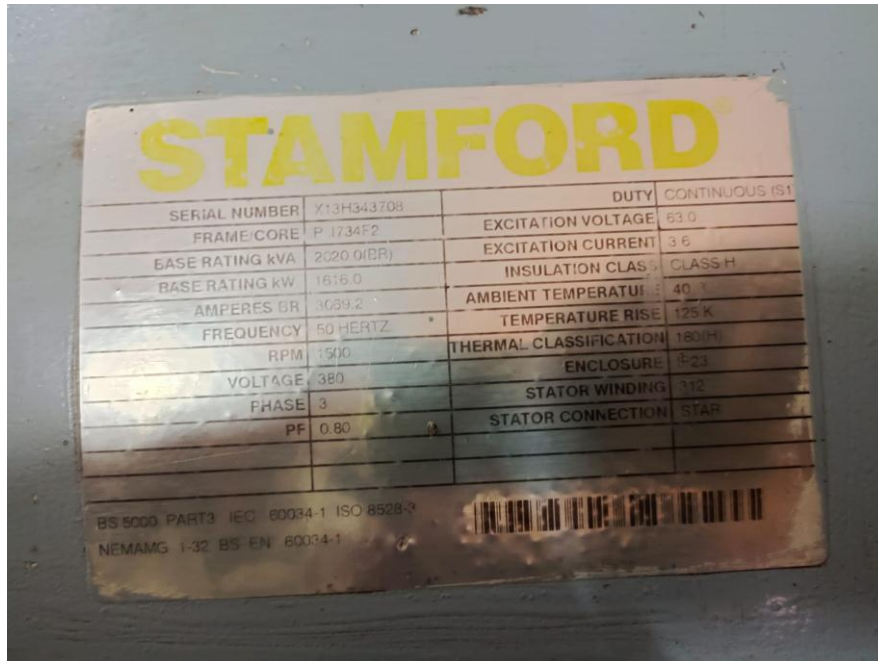
LUAS PENAMPANG NOMINAL	KEMAMPUAN HANTAR ARUS KABEL					
	BERURAT TUNGGAL		BERURAT DUA		BERURAT 3 DAN 4	
	DI TANAH	DI UDARA	DI TANAH	DI UDARA	DI TANAH	DI UDARA
mm ²	A	A	A	A	A	A
1.5	33	26	27	21	24	18
2.5	45	35	36	29	32	25
4	58	46	47	38	41	34
6	74	58	59	48	52	44
10	98	80	78	66	69	60
16	129	105	102	90	89	80
25	169	140	134	120	116	105
35	209	175	160	150	138	130
50	249	215	187	180	165	160
95	374	335	280	275	245	245
95	374	335	280	275	245	245
120	427	390	320	320	280	285
150	481	445	356	375	316	325
185	552	510	409	430	356	370
240	641	620	472	510	414	435
300	730	710	525	590	463	500
400	854	850	605	710	534	600
500	988	1000				

Lampiran III Eksiting OCR

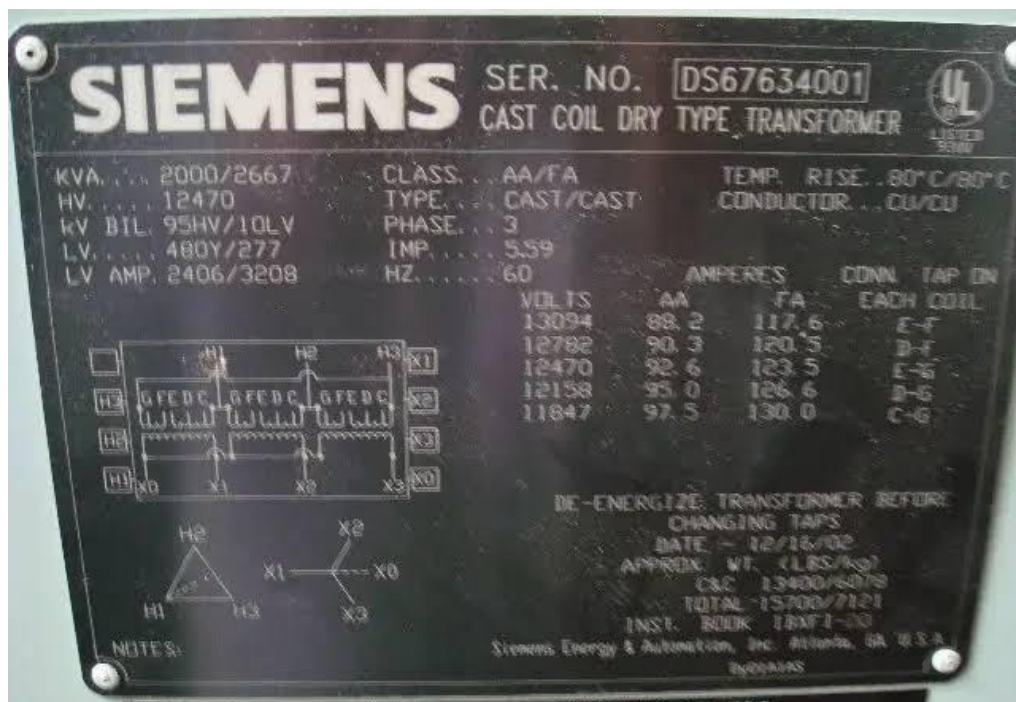
Turbine No : No.1					
			Model : STAMFORD : 1600 kW		
Relay Details :					
Make	: Crompton	Input Amp : 1 / 5 A			
Model	:	V in : 240 AC			
		CT Ratio : 450 / 3			
Relay Setting :				Inject Current	
Type Of Protection		Setting Symbol	Setting	%Load	(A)
O/C Low Set for 100%		I >	0,003	100%	0.6
Curve : Normal lverse		t> [TMS]	1	120%	0.72
O/C High Set		I>	0,0045	150%	0,9
		t>>OpTime	1		
E/F Low Set		I>	0.00045	15%	0,09
		to> Op Time	1		
E/F High Set		I>	0.00045	15%	0.09
		to>OpTime	2		

Lampiran IV Namplate Generator & Transformator

Generator



Transformer





UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menyebarkan surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 89/SK/BAN-PT/Akred/PT/III/2019
 Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
<https://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [fumsu](#) [umsu](#) [umsu](#) [umsu](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
 . DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 69/11.3AU/UMSU-07/F/2023

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Elektro pada Tanggal 16 Januari 2023 dengan ini Menetapkan :

Nama : ARIEF RAMADHAN
 Npm : 1907220059
 Program Studi : TEKNIK ELEKTRO
 Semester : 7 (TUJUH)
 Judul Tugas Akhir : SIMULASI DAN ANALISIS PROTEKSI TERHADAP GANGGUAN
 .TURBIN UAP SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR PABRIK SAWIT
 DI PT BUMI SAMA GANDA

Pembimbing : Ir. ABDUL AZIS HUTASUHUT MM.

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Elektro
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal,
 Medan, 24 Jumadil Akhir 1444 H
 17 Januari 2023 M

Dekan



Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT
 NIDN: 0101017202





PT. BUMI SAMA GANDA

Kantor Pusat : Jln. T. Umar No. 137, Dusun Seulawah, Gampong Seutui, Kec. Baiturrahman
Kota Banda Aceh – Prov. Aceh, Email: bumisamaganda@gmail.com
Kantor Cabang : Jln. Rantau, Dusun Benih Tamiang, Kampung Kebun Rantau, Kec. Rantau
Kab. Aceh Tamiang – Prov. Aceh, Email: bsgatam@gmail.com

Kebun Rantau, 06 Februari 2023

No. : 02/PRS/BSG-ATAM/2023
Lamp. : -
Hal : **Penerimaan Mahasiswa**

Kepada Yth,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

di –
Tempat

Dengan hormat

Sesuai dengan surat No : 29/II.3.AU/UMSU-07/B/2023, tanggal 11 Januari 2023, perihal : *Pengambilan Data*. Dengan ini kami beritahukan bahwa kami menyetujui mahasiswa/i Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Fakultas Teknik untuk melakukan Pengambilan Data untuk penulisan tugas akhir . Adapun data mahasiswa/i yang kami terima yaitu :

No	Nama	NIM	Program Studi
1	Arief Ramadhan	1907220059	Teknik Elektro

Untuk APD (Alat Pelindung Diri), akomodasi, asuransi, perumahan serta fasilitas lainnya perusahaan tidak menyediakan.

Demikian kami sampaikan, atas kerja samanya diucapkan terima kasih.

Hormat kami,

Mukhtar
Mill Manager

Tembusan:
1. File



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Arief Ramadhan
 NPM : 1907220059
 Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro
 Judul Tugas Akhir : " SIMULASI DAN ANALISIS PROTEKSI
 TERHADAP GANGGUAN GENERATOR PADA
 PABRIK KELAPA SAWIT DI
 PT.BUMI SAMA GANDA "

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	18/1-23	Konsultasi judul & pembatasan awal	
2	31/1-23	Bimb. Bab I & II	
3	20/2-23	Bab II & III, penyempurnaan awal pt. Bab III	
4	29/2-23	Evaluasi Bab I s.d Bab III dapat mengi lanti Sempu	

Mengetahui,
 Pembimbing I

Ir. Abdul Azis Hutasuhut, M.M.



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Arief Ramadhan
 NPM : 197220059
 Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
 Judul Tugas Akhir : "Analisis Proteksi Beban Lebih Menggunakan OCR Yang Terjadi Pada Generator Turbine Uap Di Pabrik Kelapa Sawit PT. BUMI SAMA GANDA"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
	15/4-'23	Ass. level evaluasi Sempu	
	26/6-'23	Ass. Bab IV	
	28/6-'23	Ass. Bab IV & penyempurnaan	
	20/7-'23	Penyempurnaan Bab IV	
	01/8-'23	Ass. Bab I & Bab IV	
	12/8-'23	Evaluasi alih bab I & IV Ass mengikuti Surkes	

Mengetahui,
Pembimbing I

Ir. Abdul Azis Hutasuht, M.M.,






UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

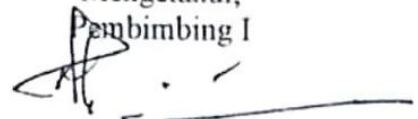
FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Arief Ramadhan
NPM : 197220059
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : "Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Generator Turbine Uap Menggunakan Relay Arus Lebih Di Pabrik Kelapa Sawit PT. BUMI SAMA GANDA"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
	20/8-'23	Ass. Lembar Ev. sechluss	
	10/9-'23	Ass. Bab I Ed. Bab V	
	18/9-'23	Ass./Evaluasi 22 Ace Sidang	

Mengetahui,
Pembimbing I



Ir. Abdul Azis Hutasuhut, M M.,