

TUGAS AKHIR

ANALISIS SISTEM INTERKONEKSI DAN DROP
TEGANGAN PLTBG PASIR MANDOGGE
KE JARINGAN DISTRIBUSI
20KV PT. PLN

*Diajukan untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjan Teknik Elektro Pada
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

AKMAL KUSNAIDI

2007220080



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2024

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini di ajukan oleh :

Nama : Akmal Kusnaldi

NPM : 2007220080

Program Studi : Teknik Elektro

Jadul Skripsi : **Analisis Sistem Interkoneksi Dan Drop Tegangan
PLTBg Pasir Mandoge Ke Jaringan Distribusi 20KV
PT.PLN.**

Bidang Ilmu : Sistem Kontrol

Telah berhasil mempertahankan di hadapan Tim Penguji dan dan di terima sebagai salah satu syarat yang di perlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program studi Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.

Medan, 11 November 2024

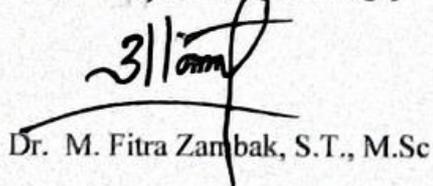
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I/ Penguji



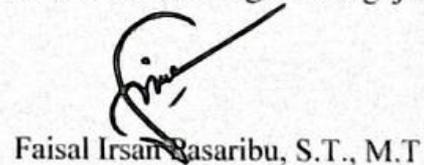
Rimbawati, S.T., M.T

Dosen Pembanding I / Penguji



Dr. M. Fitra Zambak, S.T., M.Sc

Dosen Pembanding II / Penguji



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanggung jawab di bawah ini:

Nama : Akmal Kusnaidi
Tempat /Tanggal Lahir : Tanjungbalai / 22 Juni 2002
NPM : 2007220080
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan bahwa dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir yang berjudul:

“Analisis Sistem Interkoneksi Dan Drop Tegangan PLTBg Pasir Mandoge Ke Jaringan Distribusi 20KV PT.PLN.”

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

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim fakultas yang yang di bentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi yang 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 Sumatra Utara.

Medan 11 November 2024

Saya yang menyatakan



Akmal Kusnaidi

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis sistem interkoneksi PLTBg Pasir Mandoge dengan jaringan distribusi 20 kV PT. PLN, dengan fokus pada analisis aliran daya menggunakan software ETAP 19.0.1. Alat dan bahan yang digunakan meliputi laptop, software ETAP 19.0.1, data peralatan sistem interkoneksi, dan diagram single line jaringan distribusi Pasir Mandoge. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi spesifikasi peralatan listrik yang mendukung sistem interkoneksi dan data hasil energi dari generator di PLTBg Pasir Mandoge. Proses penelitian meliputi simulasi aliran daya untuk memodelkan jaringan distribusi, pengambilan data, analisis tegangan, serta evaluasi drop tegangan yang terjadi. Hasil simulasi menunjukkan adanya penurunan tegangan yang signifikan di beberapa titik jaringan, dengan drop tegangan mencapai 1 kV di bus 83. Untuk memperbaiki kondisi ini, dilakukan penambahan kapasitor bank sebesar 1,6 Mvar, yang berhasil meningkatkan tegangan hingga kisaran 20,11-20,3 kV. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa sinkronisasi sistem interkoneksi memerlukan tegangan minimal 17,8-18 kV dan frekuensi 50 Hz dengan sudut fasa yang sama. Penambahan kapasitor bank dapat meningkatkan tegangan secara signifikan, sehingga mengurangi risiko drop tegangan pada jaringan distribusi. Saran diberikan untuk penelitian selanjutnya agar memperhatikan aspek perawatan dan pengembangan teknologi untuk memperbaiki efisiensi dan kestabilan jaringan distribusi.

Kata kunci : Sistem interkoneksi, jaringan distribusi, Etap 19.1, load flow, drop tegangan, kapasitor bank.

ABSTRACT

This research was conducted to analyze the interconnection system of the Pasir Mandoge PLTBg with PT's 20 kV distribution network. PLN, with a focus on power flow analysis using ETAP 19.0.1 software. The tools and materials used include a laptop, ETAP 19.0.1 software, interconnection system equipment data, and a single line diagram of the Pasir Mandoge distribution network. The data collection technique was carried out through observing the specifications of electrical equipment that supports the interconnection system and energy yield data from generators at the Pasir Mandoge PLTBg. The research process included power flow simulations to model the distribution network, data collection, voltage analysis, and evaluation of the voltage drops that occurred. The simulation results show a significant voltage drop at several network points, with a voltage drop reaching 1 kV on bus 83. To improve this condition, a capacitor bank of 1.6 Mvar was added, which succeeded in increasing the voltage to the range of 20.11-20.3 kV. The conclusion of this research shows that synchronization of the interconnection system requires a minimum voltage of 17.8-18 kV and a frequency of 50 Hz with the same phase angle. The addition of a capacitor bank can increase the voltage significantly, thereby reducing the risk of voltage drops in the distribution network. Suggestions are given for further research to pay attention to aspects of maintenance and technological development to improve the efficiency and stability of the distribution network.

Keywords: *Interconnection system, distribution network, Stage 19.1, load flow, voltage drop, capacitor bank.*

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah 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 SISTEM INTERKONEKSI JARINGAN DISTRIBUSI 20KV PADA PEMBANGKIT PLTBG PASIR MANDOGÉ” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU). Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Orang tua saya yang telah mendukung saya dalam keadaan apapun untuk menuliskan studi tugas akhir ini.
2. Ibunda Rimbawati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregarr, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T., M, T. selaku ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik elektroan kepada penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Teman-teman Seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2020
8. Teman-teman Asisten Laboratorium Rangkaian Listrik Dasar Periode 2022-2023

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran

berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga Proposal Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-elektro.

Medan, 26 Juli 2023

Akmal Kusnaldi

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYTAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	iviii
DAFTAR GAMBAR	ivx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematis Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2 Landasan Teori	11
2.3 Sistem interkoneksi	12
2.3.1 Memiliki tegangan yang sama (Vac)	16
2.3.2 Memiliki frekuensi yang sama.....	16
2.3.3 Memiliki sudut phasa yang sama	16
2.3.4 Memiliki urutan phasa yang sama, (R.S.T).....	17
2.4 HMI System	18
2.5 Kubikel 20KV	20
2.6 SEPAM.....	27
2.7 CB (<i>Circuit Breake</i>)	29
2.7.1 MCCB (Molded Case Circuit Breaker).....	30
2.7.2 ACB (Air Circuit Breaker).....	31
2.8 TRASFORMATOR (TRAF0).....	31

2.8.1 Trafo Power (Power Transformer).....	32
2.8.2 Trafo Distribusi (Distribution Transformer)	33

2.9 Fuse Distribusi	35
2.10 Kapasitor Bank	37
2.11 Kabel.....	39
2.12 Genset Gas Engine.....	42
2.13 Drop Voltage.....	45
2.14 ETAP	46
2.14.1 Hal Yang Perlu Diperhatikan Dalam Menggunakan ETAP	48
2.14.2 Toolbar Untuk Analisa Sistem Tenaga Listrik	51
2.14.3 Rangkaian Percobaan	54
BAB III METODE PENELITIAN	57
3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian	57
3.1.1 Tempat	57
3.1.2 Waktu	57
3.2 Alat Dan Bahan	57
3.3 Teknik Pengumpulan data.....	57
3.3.1 Spesifikasi Genset PLTBg Pasir Mandoge	57
3.3.2 Data Beban Daerah Pasir Mandoge	59
3.4 Analisis menggunakan ETAP	61
3.5 Prosedure Penelitian.....	62
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	65
4.1 Hasil Simulasi Aliran Daya Menggunakan <i>Software</i> Etap 2019	65
4.2 Besar Tegangan Di Jaringan Distribusi 20 KV	68
4.3 Besar Drop Tegangan Yang Terjadi Di Jaringan Distribusi	70
4.4 Besar Tegangan Jaringan Distribusi Setelah Perbaikan	72
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	70
5.1 KESIMPULAN	70
5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	57
Tabel 3. 2 Kapasitas Genset	58
Tabel 3. 3 Data Beban Daerah Mandoge.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar2. 1 <i>Synchroscope</i>	17
Gambar2. 2 Urutan fasa.....	17
Gambar2. 3 Rotation Phase.....	18
Gambar2. 4 Layar HMI.....	20
Gambar2. 5 Kubikel Incoming.....	23
Gambar2. 6 Kubikel Outgoing.....	25
Gambar2. 7 Kubikel Sekring Lebur.....	25
Gambar2. 8 MCCB (Molded Case Circuit Breaker).....	30
Gambar2. 9 ACB (Air Circuit Breaker).....	31
Gambar2. 10 Trafo Power (Power Transformer).....	33
Gambar2. 11 Trafo Distribusi (Distribution Transformer).....	34
Gambar2. 12 FOC Drop.....	35
Gambar2. 13 Kapasitor Bank.....	37
Gambar2. 14 Kabel ACSR.....	40
Gambar2. 15 Kabel AAC.....	40
Gambar2. 16 Kabel XLPE.....	41
Gambar2. 17 Gas Engine Dresser-Rand Guascor.....	42
Gambar2. 18 Tampilan worksheet software ETAP 19.0.....	46
Gambar2. 19 Elemen AC dalam ETAP.....	49
Gambar2. 20 Gambar Rangkaian sederhana.....	54
Gambar2. 21 Hasil Runing Percobaan Sederhana.....	55
Gambar 3. 1 Nameplat Gas Engine.....	57
Gambar 3. 2 Name Plat Generator.....	58
Gambar 3. 3 Output Generator 1.....	58
Gambar 3. 4 Output Generator 2.....	59
Gambar 4. 1 Blok diagram pltbg pasir mandoge.....	65
Gambar 4. 2 Elektrical system PLTBG.....	66
Gambar 4. 3 Sbelum Running Pada ETAP.....	64
Gambar 4. 4 Titik Terendah Drop Tegangan.....	68
Gambar 4. 5 titik tegangan tertinggi sebelum perbaikan.....	69
Gambar 4. 6 Setelah Runing Sebelum Perbaikan Voltage.....	71
Gambar 4. 7 Spesifikasi Kapasitor Bank.....	72
Gambar 4. 8 Titik Tertinggi Setelah Perbaikan Tegangan.....	73
Gambar 4. 9 Titik Terendah Setelah Perbaikan Tegangan.....	73
Gambar 4. 10 Running Setelah Perbaikan Voltge.....	75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. PLN (Persero) sebagai perusahaan listrik nomor satu nasional ikut serta dalam upaya mendukung kebijakan pemerintah. Salah satunya adalah PLN diwajibkan membeli energi listrik berbasis EBT dari pihak ketiga. Hal ini dapat dilaksanakan apabila penyedia energi listrik tersebut telah memenuhi syarat penyambungan EBT ke sistem distribusi 20 KV milik PLN sebelum melakukan Perjanjian Jual Beli Listrik (PJBL). Persyaratan-persyaratan penyambungan EBT ke sistem distribusi 20 KV telah diatur dalam Surat Keputusan Direksi No. 0357.K/DIR/2014.

Beberapa tahun terakhir, perkembangan pembangkit listrik tenaga energi baru terbarukan (EBT) mengalami peningkatan pesat di seluruh negara di Dunia. Berdasarkan data *International Energy Agency* (IEA), pada tahun 2000, hanya 18,7% EBT yang digunakan sebagai sumber energi listrik Dunia. Pada 2018, persentasenya meningkat menjadi 25,6%. Pada 2024 diperkirakan EBT akan mencapai 30%. Pemerintah Indonesia memiliki kebijakan untuk mempromosikan pengembangan EBT untuk diversifikasi sumber energi primer pembangkit listrik dan penurunan emisi gas rumah kaca. Tertuang pada Rencana Umum Energi Nasional (RUEN).

PLTBg Pasir Mandoge memanfaatkan limbah cair (POME) dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PTPN IV. PLN membeli listrik dari PT Karya Mandoge Energi dengan harga Rp 1.018 per kilowatthour (kWh). Dibangun dengan investasi Rp 42 miliar, pembangkit berkapasitas 2×1 megawatt (MW) ini diperkirakan dapat memproduksi listrik 15 GWh per tahun.

Direktur PT Karya Mas Energi, Yudhistira Wiryawan menyebutkan, PLTBg Pasir Mandoge telah masuk dalam sistem kelistrikan melalui jaringan distribusi 20 KV yang dioperasikan oleh PLN Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Pematang Siantar sejak akhir bulan lalu. “PLTBg Pasir Mandoge telah memperkuat sistem kelistrikan Sumatra Utara sejak 27 Juli 2021

Dalam perkembangan sistem interkoneksi PLTBg Pasir Mandoge mengalami gangguan pada sistem, dimana selalu terjadi drop tegangan pada jaringan 20 KV Pasir Mandoge apabila terjadi trouble pada PLTMH Silau. Hal ini menyebabkan terganggunya pelayanan beban pada trafo Tanah Jawa yang menerima supply dari GI Pematang Siantar.

Penelitian tentang system interkoneksi PLTBg kabupten Sanggau menunjukkan drop tegangan terbesar kondisi eksisting saat WBP sebesar 20,03%, setelah penyambungan drop tegangan terbesar saat WBP sebesar 7,57% terjadi pada penyulang Kuala Buayan[1].

Penelitian berikutnya mengetahui kinerja sistem tenaga listrik, yaitu terjadinya interkoneksi dan drop tegangan. Simulasi aliran daya dilakukan menggunakan perangkat lunak Electrical Transient Analyser Program (ETAP) versi 12.6. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aliran daya aktif dan daya reaktif terbesar mengalir di bus 157 sebesar 26.083 MW dan 19.280 MVar. Total aliran daya aktif dan reaktif dalam sistem sebesar 1110.3 kW dan 2042.7 KVar, untuk profil tegangan bus, penurunan tegangan terbesar bus 20 KV terjadi pada bus 61 dan bus 62 sebesar 4.65% (0.93 KV) dan penurunan tegangan terbesar bus 150 KV terjadi pada bus 60 sebesar 2.6% (3.9 KV).[2]

Selanjutnya yaitu dengan melakukan rancangan Single Line Diagram melalui software ETAP 12.6.0. Teknik analisis data dilakukan dengan membandingkan tegangan jatuh dari hasil ETAP 12.6.0 dengan standar rugi tegangan sesuai SPLN No.72 1987. Boiler yaitu Boiler Compressor 1 nilainya mencapai 0,52% (terbesar nilai jatuh tegangannya) dan Pompa InTake Water 0,01% (terkecil nilai jatuh tegangannya). Nilai tegangan jatuh terbesar memenuhi standart maksimum yang ditentukan oleh SPLN No.72 1987 dengan nilai toleransi maksimum 5%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh yang terjadi sudah memenuhi dengan standarisasi dari PLN (SPLN No.72 1987) yaitu dengan besaran 0,01% hingga 0,52%.[3]

Berdasarkan penelitian ini akan membahas tentang Sistem Interkoneksi Jaringan Distribusi dan drop tegangan yang terjadi pada jaringan distribusi 20 KV PLTBg Pasir Mandoge ke PLN.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang di ambil pada analisis ini adalah :

1. Bagaimana sistem interkoneksi jaringan distribusi 20 KV pada PLTBG Pasir Mandoge ke PLN ?
2. Seberapa besar nilai drop tegangan yang terjadi pada jaringan distribusi PLN Pasir Mandoge?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari analisis ini yaitu :

1. Untuk mengetahui bagaimana sistem interkoneksi jaringan distribusi dari PLTBG Mandoge ke jaringan PLN
2. Untuk mengetahui seberapa besar nilai drop tegangan yang terjadi pada jaringan distribusi PLN Pasir Mandoge

1.4 Ruang Lingkup

Pada penelitian ini ,adapun ruang lingkup yang di hadapi adalah :

1. Penelitian ini akan berfokus pada pengaruh system interkoneksi jaringan listrik distribusi pada drop tegangan yang ada di daerah Pasir Mandoge
2. Penelitian ini menggunakan metode simulasi komputer untuk mengevaluasi dan memahami bagaimana tersalurkan nya energy listrik dari pembangkit sampai ke konsumen

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini dapat membantu kita melihat status operasi system yang meliputi keadaan tegangan, hubungan singkat normal dan kritis baik sebelum maupun sesudah penyambunga.
2. Mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang sitem interkoneksi jaringan listrik,dan dapat mengetahui langkah-langkah terjadinya sitem interkoneksi dari pembangkit sampai ke konsumen

3. Hasil penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang pengaruh besarnya terhadap daerah yang terjadi drop tegangan di jaringan listrik PLN.

1.6. Sistematis Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang pendahuluan, latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan didalam masalah pembuatan tugas akhir ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teoridan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang letak lokasi penelitian, fungsi-fungsi dari alatdan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dari langkah-langkah pengujian.

BAB IV ANALISIS DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis hasil dari penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat didalam penelitian ini.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran-saran positif untuk pengembangan peneliti.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Penelitian tentang “Studi interkoneksi Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa 1X 9,9 MW di Deli Serdang” yang dilakukan oleh Adri Senen dan Titik Ratnasari. Hasil dari penelitian ini menentukan lokasi titik sambung paling layak di antara beberapa opsi untuk PLTBM dengan Gardu Induk terdekat. Studi yang dilakukan meliputi aliran daya, jatuh tegangan, rugi-rugi saluran dan hubung singkat. Dengan dilakukannya studi tersebut dapat dilihat status operasi sistem yang meliputi keadaan tegangan dan hubung singkat normal, marginal, dan kritis baik sebelum maupun setelah penyambungan.[1]

Pemerintah Indonesia memiliki kebijakan untuk mempromosikan pengembangan PLT EBT untuk diversifikasi sumber energi primer pembangkit listrik dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Permen No. 4/ESDM/2012 tentang “Harga Pembelian Tenaga Listrik oleh PT PLN (Persero) dari Pembangkit Listrik yang Menggunakan Energi Terbarukan Skala Kecil dan Menengah atau Kelebihan Tenaga Listrik”, Permen No.17/ESDM/2013 tentang “Pembelian Tenaga Listrik oleh PT PLN (Persero) dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik”, Permen No.19/ESDM/2013 tentang “Pembelian Tenaga Listrik oleh PT PLN (Persero) dari Pembangkit Listrik Berbasis Sampah Kota”, dan Permen No. 12/ESDM/2014 tentang “Pembelian Tenaga Listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (hingga 10 MW) oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)”, menetapkan bahwa PLN harus membeli listrik dari PLT EBT yang berkualitas, guna memperkuat sistem penyediaan tenaga listrik setempat. Persyaratan ini juga berlaku untuk pemakai PLT EBT yang memiliki kelebihan tenaga listrik dan berkeinginan menjual kelebihan tenaga listrik tersebut ke PLN. Peraturan ini juga menjadi pedoman PLN untuk menandatangani Perjanjian Pembelian Tenaga Listrik (PJBL) dengan perusahaan pemilik PLT EBT dan menghubungkan PLT EBT ke Sistem Distribusi PLN. Tarif feed-in tenaga listrik dari PLT EBT yang akan dibeli PLN, ditetapkan oleh Menteri ESDM.[4]

Besarnya daya yang mengalir tergantung pada besarnya beban yang terpasang pada bus. Faktor yang mempengaruhi Aliran Daya adalah Luas Penampang dari Saluran Transmisi dan Impedansi dari Komponen masing masing. Bus Bus yang terhubung dengan Jaluran Transmisi percabangan akan mengalami load sementara terhadap adanya pembagian tegangan pada masing masing jalur.[5]

Aliran beban sistem interkoneksi PLTMH didapat tegangan terbesar pada bus 26 sebesar 400 Volt sebagai swing bus dan tegangan terkecil pada bus 40 (beban) sebesar 67,42% atau 268,68 Volt. Aliran beban terbesar pada saluran 16 (bus26-bus30) sebesar 65.63 kW dan 42.12 KVAR dan beban terkecil mengalir pada saluran 20 (bus33-bus34) sebesar 0,215 kW dan 0,132 KVAR. Total yang dibangkitkan oleh 6 unit PLTMH sebesar 122.3 kW dan 77.7 KVAR. Daya yang disalurkan ke beban sebesar 96.3 kW dan 59.7 KVAR dan total rugi-rugi saluran sebesar 26.0 kW dan 18.1 KVAR. Power Faktor di bus pembangkit dan beban diatas 84% Lagging, artinya beban bersifat induktif[6]

PT. Karya Mas Energi (PT. KME) merupakan perusahaan pengembang proyek biogas/biomasa di Indonesia dengan memanfaatkan limbah cair atau limbah padat dari industri agro seperti kelapa sawit, tepung tapioca, peternakan dan lain sebagainya. PT. KME bertujuan untuk menawarkan solusi pengelolaan limbah yang terpadu, ekonomis, inovatif dan ramah lingkungan untuk solusi energi. Namun, adanya pandemi covid-19 mempengaruhi sistem dan manajemen kerja perusahaan.[7]

Sistem distribusi adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkitan hingga sampai ke konsumen Kualitas energi listrik yang diterima oleh konsumen sangat dipengaruhi dari keandalan sistem pendistribusiannya. Keandalan sistem tenaga listrik menggambarkan suatu ukuran tingkat ketersediaan tenaga listrik dari sistem konsumen. Keandalan sistem distribusi tenaga listrik sangat dipengaruhi oleh konfigurasi sistem, alat pengaman yang dipasang, dan sistem proteksinya. [8]

PT Austindo Aufwind New Energy memiliki 2 generator pembangkit listrik di wilayah Kecamatan Dendang, dengan kapasitas seluruhnya sebesar 1,8 Mega Watt (MW). Generator pertama memiliki kapasitas sebesar 1,2 Mega Watt

(MW) dan dapat mengaliri listrik kepada kurang lebih 2500 rumah tangga. Sedang generator kedua memiliki kapasitas 600 Kilowatt atau 0,8 Mega Watt (MW) dan baru mulai berjalan pada Januari 2016 ini. Dengan kapasitas tersebut, generator kedua ini dapat membantu mengaliri listrik kepada 1200 rumah tangga.[9]

Energi/Ketenagalistrikan merupakan elemen penting dalam pembangunan sosial dan ekonomi. Tanpa ketersediaan energi dengan harga yang wajar, prospek pengembangan energi tersebut kecil perekonomian negara dan kondisi kehidupan masyarakat. Seperempat penduduk Pakistan mengalaminya tidak ada akses listrik, dan saat ini kekurangan pasokan listrik sebesar 5,0e7,0 GW menyebabkan beban masalah penumpahan/pemadaman listrik. Di Pakistan, sebagian besar listrik dihasilkan dari sumber tak terbarukan seperti gas alam dll. Pakistan menerima hampir 15.525 1014 kW/jam energi matahari per tahun dan durasi sinar matahari biasanya 8,0e10,0 jam per hari.[10]

Pembangkit biogas dapat mendukung transformasi menuju berbasis energi terbarukan dan terintegrasi sistem energi dengan menyediakan pembangkitan bersama yang dapat dilakukan serta peluang untuk peningkatan biogas atau konversi listrik menjadi X. Dalam tulisan ini, model simulasi yang berisi dinamika utama proses internal instalasi biogas dikembangkan. Berdasarkan kinetika orde pertama dari proses pencernaan anaerobic, produksi biogas dari jadwal pemberian masukan bahan baku dapat diperkirakan.[11]

Jumlah pabrik kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2014 tercatat lebih dari 600 pabrik yang tersebar di berbagai wilayah. PKS Sei Pagar merupakan salah satu PKS di bawah kendali PTPN V Pekanbaru. Perkebunan Sei Pagar berlokasi di tiga desa, yaitu: Desa Hang Tuah, Desa Pantai Raja, dan Desa Parit Baru, Kecamatan Perhentian Raja, Kabupaten Kampar dengan luas areal konsensi 2947,2 Ha. Kapasitas terpasang PKS sebesar 30 ton tandan buah segar (TBS) per jam dengan potensi pengolahan kelapa sawit mencapai 225.000 ton TBS per tahun.[12]

Drop tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Besarnya drop tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan

perusahaan kelistrikan. PT PLN (Persero) mengatur standar drop tegangan dalam SPLN No.72 Tahun 1987 yaitu Turun tegangan yang diperbolehkan pada JTM adalah 2 % dari tegangan kerja untuk sistem Spindle/gugus dan 5 % dari tegangan kerja untuk sistem Radial diatas tanah dan sistem Simpul tergantung kepadatan beban. Perhitungan drop tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti. Apabila perbedaan nilai tegangan tersebut melebihi standar yang ditentukan, maka mutu penyaluran tersebut rendah. [13]

Sistem distribusi sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik ke beban, maka sistem distribusi yang baik dan efisien sangat diperlukan. Faktor yang bisa menyebabkan kurang baiknya sistem distribusi tenaga listrik adalah besarnya nilai drop tegangan dalam sistem distribusi yang telah ada. Dalam distribusi tenaga listrik digunakan jaringan tegangan menengah 20 KV dan tegangan rendah 380 /220 V. Sistem distribusi di Gardu Induk Angke Penyulang Gandum menggunakan jaringan tegangan menengah dengan saluran kabel bawah tanah (Underground Cable). Hal ini digunakan karena banyaknya bangunan yang menjulang tinggi serta padatnya penduduk pada daerah tersebut. Dan diketahui bahwa semakin panjang saluran serta arus beban yang digunakan maka akan semakin besar nilai Drop tegangan. Dari hasil perhitungan Drop tegangan pada Penyulang Gandum di Gardu Induk Angke menggunakan perhitungan manual dan perhitungan dengan simulasi program ETAP 12.6.0 menunjukkan perbedaan hasil yang sedikit. Hasil Drop tegangan yang di dapat dari perhitungan manual paling besar dengan nilai prosentase tegangan 1,94%, sedangkan untuk hasil yang di dapat menggunakan program ETAP 12.6.0 paling besar dengan nilai prosentase tegangan 2,01%. Ini masih dalam standar PLN karena belum melebihi standar yang ditentukan yaitu sebesar -10% dari tegangan nominalnya.[14]

Ketidakeimbangan beban pada suatu sistem jaringan distribusi tenaga listrik selalu terjadi, dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada pengaturan bebanbeban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncul arus pada netral trafo. Arus

yang mengalir pada netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo penyaluran energi listrik pada sistem distribusi dimana susut tegangan akan mempengaruhi penyaluran energi listrik kepada konsumen dimana jika terjadi susut tegangan pada sistem distribusi maka energi listrik yang akan disalurkan kepada konsumen akan menjadi tidak standar lagi sesuai dengan SPLN no. 72 tahun 1987, dimana jatuh tegangan yang diperbolehkan dalam penyaluran distribusi hanya boleh sebesar 5% untuk jaringan udara SKTM sebesar 2%, maka itu perlu adanya perhitungan dan penelitian untuk permasalahan jatuh tegangan dalam bentuk persen (%), sehingga dalam penyampaian aliran listrik terhadap konsumen menjadi terpenuhi sesuai dengan standart yang telah ditetapkan.(Di & Pln, 2019)

Perkembangan kota Tahuna sebagai pusat pengembangan wilayah Kabupaten Kepulauan Sangihe Provinsi Sulawesi kini setiap tahun semakin meningkat seiring dengan meningkatnya gaya hidup masyarakat dan maraknya pusat pembangunan dan pusat kegiatan publik di kota Tahuna sampai saat ini sehingga mengakibatkan meningkatnya kebutuhan masyarakat akan energi listrik. sehingga beban listrik meningkat dan mengakibatkan jatuh tegangan yang melebihi batas yaitu 10%, namun jatuh tegangan dapat diperbaiki dengan banyak cara salah satunya dengan penambahan kapasitor daya pada penyulang. Perhitungan jatuh tegangan sebelum dipasang kapasitor daya untuk penyulang Kota diperoleh hasil sebesar 13,15% dan untuk penyulang Tona sebesar 15,37% sedangkan perhitungan jatuh tegangan untuk penyulang Kolongan 30,77%. Setelah pemasangan kapasitor daya pada penyulang Kota maka diperoleh jatuh tegangan sebesar 6,94%, dan untuk penyulang Tona 8,76%, sedangkan pada penyulang Kolongan sebesar 10% dengan demikian jatuh tegangan untuk penyulang Kota, Tona, dan Kolongan sudah memenuhi standar yang ditentukan oleh PLN yaitu jatuh tegangan tidak boleh lebih dari 10%.

Konsumsi energi listrik didominasi oleh penggunaan motor listrik pada industri, transportasi, fasilitas publik dan juga pada rumah tangga. Motor listrik seperti motor induksi satu fasa dengan jenis motor kapasitor permanen atau disebut juga dengan motor kapasitor running banyak digunakan untuk keperluan rumah tangga sebagai penggerak pada pompa air, kipas angin dan sebagainya.

Motor induksi kapasitor permanen mempunyai kumparan bantu yang dihubungkan secara seri dengan sebuah kapasitor. Kapasitor ini selalu berada dalam rangkaian motor, baik pada waktu start maupun jalan. Apabila kapasitor yang digunakan, besaran kapasitornya tidak sesuai maka akan mengakibatkan arus tinggi sehingga akan berpengaruh terhadap penggunaan energi listrik. Dari hasil penelitian ini diperoleh saat motor induksi satu fasa jenis kapasitor permanen dengan tegangan input 220 Volt, menggunakan kapasitor sebesar 8 μF atau kondisi eksisting diperoleh arus 1,60 Amper, daya aktif 0,22 kW dan bila menggunakan kapasitor 60 μF diperoleh arus 4,17 Amper, daya aktif 0,90 kW, selanjutnya penggunaan energi listrik dari motor induksi satu fasa jenis kapasitor permanen selama satu jam, kondisi eksisting 0,22 kWh dengan biaya Rp. 297,44 dan saat menggunakan kapasitor 60 μF diperoleh energi listrik 0,90 kWh dengan biaya Rp. 1.216,8.[16]

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. Hal ini berbanding lurus antara tegangan keluaran generator dengan arus eksitasi yang diberikan. Semakin besar tegangan yang dihasilkan akibat dari pengaruh pengaturan arus eksitasi maka daya reaktif yang dihasilkan juga akan besar dikarenakan daya reaktif berbanding lurus dengan tegangan yang dihasilkan. 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. [17]h

Teknologi di Indonesia berkembang sangat cepat, meningkatkan kebutuhan akan energi listrik yang kini menjadi kebutuhan utama dalam kehidupan sehari-hari. Peningkatan kebutuhan listrik konsumen harus diimbangi dengan penambahan sumber daya listrik oleh produsen melalui peningkatan kapasitas pembangkit atau pembangunan pembangkit baru. Sistem energi listrik di Timor saat ini memiliki cadangan daya 17.040 kW dengan beban puncak mencapai 90.250 kW. Dengan dibangunnya PLTU Timor 1 di Kupang Barat, Nusa

Tenggara Timur, diharapkan kebutuhan energi listrik dapat terpenuhi dan investasi di Nusa Tenggara Timur meningkat.[18]

Analisis aliran daya untuk kecukupan catu daya saat ini yang dilakukan dengan ETAP 19.0.1 menunjukkan bahwa jalur distribusi tegangan menengah di terminal internasional Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai memiliki kualitas yang baik dan sudah memenuhi persyaratan. Klasifikasinya adalah sebagai berikut: beban unit transformator yang disuplai oleh PLN masih baik untuk beban saat ini, berkisar antara 1,2% hingga 66,3% dari kapasitas setiap transformator, dengan rata-rata beban kurang dari 40%. Penurunan tegangan yang terjadi sebesar 2,2% dan rugi daya transformator sebesar 1,1%, masih di bawah standar yang diatur oleh SPLN No.50 tahun 1997 dan SPLN No.1 tahun 1995.[19]

2.2 Landasan Teori

Limbah kelapa sawit merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang signifikan di Indonesia, terutama karena industri kelapa sawit yang merupakan salah satu sektor ekonomi utama di Indonesia. Salah satu produk unggulan dari kelapa sawit yaitu minyak kelapa sawit. Industri kelapa sawit menyumbang signifikan pada PDB dan lapangan kerja di negara ini. Namun, proses produksi kelapa sawit menghasilkan berbagai jenis limbah yang dapat menyebabkan dampak lingkungan negatif. Limbah kelapa sawit dapat dibagi menjadi beberapa jenis, termasuk cangkang, tandan kosong, tandan buah segar, limbah cair pabrik (POME), abu, dan lain-lain. Setiap jenis limbah memiliki karakteristik dan dampak lingkungan yang berbeda. Limbah kelapa sawit dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan seperti pencemaran tanah dan air, hilangnya keanekaragaman hayati, serta emisi gas rumah kaca. Limbah cair pabrik (POME) yang dibiarkan tanpa pengolahan yang tepat dapat mencemari sungai dan sumber air lainnya. Pentingnya pengelolaan limbah kelapa sawit yang efisien dan berkelanjutan. Dalam beberapa tahun terakhir, upaya telah dilakukan untuk meningkatkan penggunaan teknologi ramah lingkungan dan pengolahan limbah guna mengurangi dampak negatifnya. Riset terus dilakukan untuk mengembangkan teknologi dan metode pengolahan limbah kelapa sawit yang lebih efektif dan ramah lingkungan. Inovasi-inovasi ini diharapkan dapat

membantu mengurangi dampak negatif limbah kelapa sawit. Dalam proses pendistribusian energi listrik ke pelanggan dimana aliran listrik di hantarkan melalui proses pendistribusian tenaga listrik melalui tahapan mulai dari pembangkit, transmisi, gardu Induk hingga ke pemakaian pelanggan. Dalam pendistribusian tenaga listrik akan mengalami drop tegangan apabila jarak dari pengirim tegangan hingga ke penerima sangat jauh. Sesuai dengan standart tegangan pelayanan PLN dimana harus disisi pengirim 5 % dan sisi penerima tegangan jatuhnya sebesar 10 % sesuai dengan SPLN 59 Tahun 1985.

2.3 Sistem interkoneksi

Sistem interkoneksi tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa pusat pembangkit listrik dan beberapa gardu induk (GI) yang terhubung satu sama lain melalui saluran transmisi, melayani semua beban yang terhubung ke sistem distribusi GI tersebut. Di Propinsi Maluku, pulau-pulau belum terhubung dalam sistem kelistrikan secara interkoneksi. Untuk meningkatkan efisiensi sistem kelistrikan, diperlukan analisis perencanaan interkoneksinya, yang akan berdampak pada stabilitas sistem daya, termasuk stabilitas tegangan, frekuensi, dan sudut rotor. Oleh karena itu, penelitian ini fokus pada analisis stabilitas sistem daya dalam konteks interkoneksi jaringan listrik bawah laut di Pulau Ambon, Haruku, dan Saparua. Pemilihan sistem kabel bawah laut menjadi penting karena kurangnya jembatan antarpulau dan potensi gangguan pada lalu lintas perairan jika menggunakan pelampung sebagai alternatif penghubung.

Sistem interkoneksi jaringan listrik merupakan komponen penting dalam sistem kelistrikan modern. Sistem ini memiliki banyak manfaat, seperti meningkatkan keandalan, efisiensi, fleksibilitas, dan memperluas jangkauan layanan.

Analisis aliran daya bertujuan untuk mengestimasi nilai tegangan, arus, daya, dan faktor daya pada titik-titik berbeda dalam suatu jaringan listrik dalam kondisi operasional normal. Dari analisis ini, kita dapat menentukan magnitudo dan sudut fasa tegangan pada setiap node, serta daya aktif dan reaktif yang mengalir melalui setiap saluran, diekspresikan dalam parameter P , Q , V , dan δ . Dalam analisis aliran daya, node-node dibagi menjadi tiga jenis: node referensi

(slack bus), node generator, dan node beban. Hubungan antara arus dan tegangan pada node ditentukan oleh admitansi, seperti yang dijelaskan dalam persamaan (1):

$$I_{bus} = Y_{bus} \cdot V_{bus}$$

di mana:

I_{bus} = arus yang diinjeksikan pada node (A)

Y_{bus} = matriks admitansi pada node (Ω)

V_{bus} = tegangan pada node (V)

Sistem interkoneksi telah menggantikan sistem kelistrikan dengan generator listrik tunggal di kota-kota besar atau sistem kelistrikan terisolasi dalam skala regional dan nasional. Keberadaan sistem interkoneksi membuat hubungan kelistrikan antarkota besar menjadi hal yang umum.

Manfaat sistem interkoneksi:

- **Meningkatkan keandalan pasokan listrik:** Dengan adanya sistem interkoneksi, jika terjadi gangguan pada salah satu pembangkit listrik, beban listrik masih dapat dilayani dari pembangkit listrik lain yang terhubung dalam sistem. Hal ini dapat meningkatkan keandalan pasokan listrik kepada konsumen.
- **Meningkatkan efisiensi ekonomi:** Dengan adanya sistem interkoneksi, pembangkit listrik dapat beroperasi pada tingkat yang optimal. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi ekonomi dari sistem kelistrikan.
- **Mempermudah pemanfaatan energi terbarukan:** Sistem interkoneksi dapat mempermudah pemanfaatan energi terbarukan, seperti energi angin dan energi matahari. Hal ini karena energi terbarukan yang bersifat intermiten dapat diimbangi dengan energi dari pembangkit listrik lain dalam sistem.

Komponen utama sistem interkoneksi:

- **Pembangkit listrik:** Pembangkit listrik adalah sumber energi listrik dalam sistem interkoneksi. Pembangkit listrik dapat berupa pembangkit listrik konvensional, seperti pembangkit listrik batubara, pembangkit listrik gas, dan pembangkit listrik tenaga air, atau pembangkit listrik terbarukan, seperti pembangkit listrik angin dan pembangkit listrik matahari.

- **Gardu listrik:** Gardu listrik adalah tempat di mana tegangan listrik dinaikkan atau diturunkan. Gardu listrik juga berfungsi sebagai tempat untuk menghubungkan pembangkit listrik, saluran transmisi, dan jaringan distribusi.
- **Saluran transmisi:** Saluran transmisi adalah saluran yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit listrik ke gardu listrik atau dari gardu listrik ke jaringan distribusi. Saluran transmisi dapat berupa saluran udara atau saluran bawah tanah.
- **Jaringan distribusi:** Jaringan distribusi adalah jaringan yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari gardu listrik ke konsumen. Jaringan distribusi dapat berupa jaringan tegangan tinggi, jaringan tegangan menengah, atau jaringan tegangan rendah.

Contoh sistem interkoneksi di Indonesia:

- **Sistem Kelistrikan Jawa-Madura-Bali (JMB):** Sistem JMB adalah sistem interkoneksi terbesar di Indonesia. Sistem ini menghubungkan seluruh pulau Jawa, Madura, dan Bali dengan total kapasitas terpasang sebesar 33.000 MW.
- **Sistem Kelistrikan Sumatera:** Sistem Kelistrikan Sumatera adalah sistem interkoneksi yang menghubungkan seluruh pulau Sumatera dengan total kapasitas terpasang sebesar 10.000 MW.
- **Sistem Kelistrikan Kalimantan:** Sistem Kelistrikan Kalimantan adalah sistem interkoneksi yang menghubungkan seluruh pulau Kalimantan dengan total kapasitas terpasang sebesar 5.000 MW.

Sinkronisasi generator adalah menghubungkan dua atau lebih generator secara bersama-sama. Syarat-Syarat synchronization ada beberapa yang harus di perhatikan yaitu :

1. Memiliki Tegangan yang sama (V_{ac})
2. Memiliki frekuensi yang sama (f)
3. Memiliki sudut fasa yang sama
4. urutan fasa yang sama, (R.S.T)

Sistem sinkronisasi jaringan listrik adalah kunci dalam menjaga stabilitas dan keandalan pasokan listrik. Ini melibatkan koordinasi antara generator listrik yang terhubung dalam jaringan untuk memastikan bahwa mereka beroperasi secara sinkron, yaitu berputar pada frekuensi yang sama dan dalam fase yang

sesuai. Berikut adalah komponen utama dari sistem sinkronisasi jaringan listrik yang lengkap:

- a) **Generator:** Ini adalah perangkat utama yang menghasilkan listrik. Generator dapat berupa turbin angin, generator tenaga air, generator diesel, atau jenis lainnya.
- b) **Pengendali Generator:** Ini adalah unit yang mengontrol operasi generator. Ini memantau dan mengatur kecepatan putaran generator serta menjaga agar generator beroperasi dalam batas-batas frekuensi yang ditentukan.
- c) **Pengontrol Sinkronisasi:** Unit ini memastikan bahwa generator yang baru dihidupkan atau disinkronkan dengan jaringan listrik utama (grid) berputar pada frekuensi yang sama dan dalam fase yang tepat sebelum dihubungkan ke jaringan.
- d) **Pengendali Tegangan:** Unit ini memonitor dan mengatur tegangan keluaran generator untuk memastikan bahwa tegangan tetap stabil dan sesuai dengan standar yang ditetapkan.
- e) **Peralatan Pengukuran:** Termasuk pengukur frekuensi, alat ukur fasa, dan alat pengukur tegangan untuk memonitor kinerja generator dan jaringan.
- f) **Sistem Proteksi:** Ini meliputi perangkat perlindungan yang akan menghentikan operasi generator jika terjadi kondisi yang berbahaya, seperti lonjakan tegangan atau arus yang berlebihan.
- g) **Komunikasi Jaringan:** Sistem sinkronisasi juga memerlukan komunikasi yang efektif antara semua unit terkait untuk mentransfer data pengukuran, perintah kontrol, dan informasi keamanan.
- h) **Pengendali Beban:** Unit ini mengatur beban yang terhubung ke generator untuk menjaga keseimbangan antara produksi dan konsumsi listrik dalam jaringan.
- i) **Penyimpan Energi:** Dalam beberapa kasus, sistem sinkronisasi mungkin melibatkan penyimpanan energi seperti baterai untuk membantu mengimbangi fluktuasi dalam pasokan listrik.
- j) **Pemantauan dan Pengendalian Jarak Jauh:** Untuk sistem yang lebih kompleks, pengendalian dan pemantauan jarak jauh melalui sistem SCADA

(Supervisory Control and Data Acquisition) dapat digunakan untuk mengelola operasi generator dan jaringan dari pusat kontrol terpusat.

Integrasi yang efektif dari semua komponen ini memastikan bahwa sistem sinkronisasi jaringan listrik berfungsi dengan baik, mengoptimalkan efisiensi operasional dan keandalan pasokan listrik.

2.3.1 Memiliki tegangan yang sama (Vac)

Syarat Sinkron pertama ini adalah tegangan harus sama dengan GRID, tegangan yang dimaksud adalah tegangan dari generator, tegangan pada generator ini di atur oleh yang namanya AVR (Automatic Voltage Regulator). Kemudian Besarnya nilai tegangan dari GRID akan disesuaikan terlebih dahulu melalui sebuah trafo STEP UP sehingga antara tegangan generator dan GRID bisa sebanding.

2.3.2 Memiliki frekuensi yang sama

Syarat Sinkron kedua adalah frekuensi harus sama dengan sistem GRID, Frekuensi yang dimaksud adalah frekuensi dari gelombang sinusoidal yang dihasilkan oleh generator maupun GRID. Besarnya nilai frekuensi di Indonesia adalah 50 Hz. Nilai frekuensi ini adalah representasi dari besarnya nilai putaran generator.

$$N = 120.f / P$$

$$N = \text{Putaran (Rpm)}$$

$$F = \text{frekuensi}$$

$$P = \text{jumlah kutub generator}$$

2.3.3 Memiliki sudut phasa yang sama

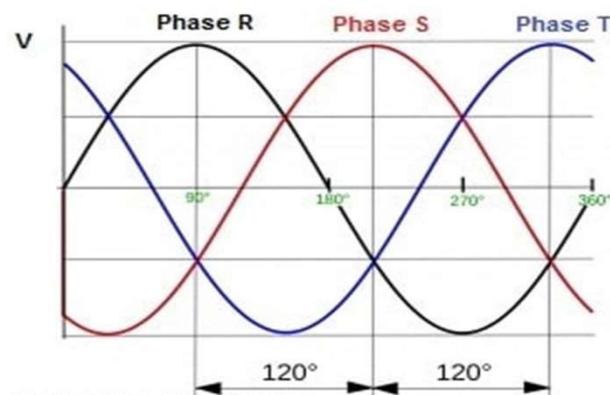
Syarat Sinkron ketiga adalah sudut phasa harus sama dengan GRID, sebenarnya sudut phasa ini tidak bisa di lihat dengan mata biasa harus memakai oscilloscope, tetapi pada alat sinkron atau lebih dikenal dengan synchronoscope yang dilengkapi dengan display gelombang output dari generator atau GRID bisa kita lihat.

Pada Synchronoscope versi Analog biasanya dilengkapi alat seperti jarum jam yang bisa berputar dengan putaran seraha ataupun berlawanan arah jarum jam, pada sudut phase yang sama atau tidak terjadi perbedaan sudut maka alat tersebut tidak berputar / diam.



Gambar2. 1 Synchronoscope

2.3.4 Memiliki urutan phase yang sama, (R.S.T)



Gambar2. 2 Urutan phase

Seperti yang kita ketahui pada generator pembangkit listrik AC 3 phase urutan penamaan phase yang standar yaitu R-S-T dimana antara phase tersebut memiliki perbedaan sudut tegangan sebesar 120 derajat. Pengaturan urutan phase ini harus di tentukan saat perencanaan dan commissioning pertama kali dengan referensi sistem GRID.



Gambar2. 3 Rotation Phase

2.4 HMI System

Control engine dilengkapi dengan HMI touch screen yang bertujuan untuk Start STOP engine dan juga operator bisa melihat genset beroperasi kemudian mengatur pilihan2 operasi serta menaikkan nilai2 parameter. HMI ini di komunikasikan dengan PLC

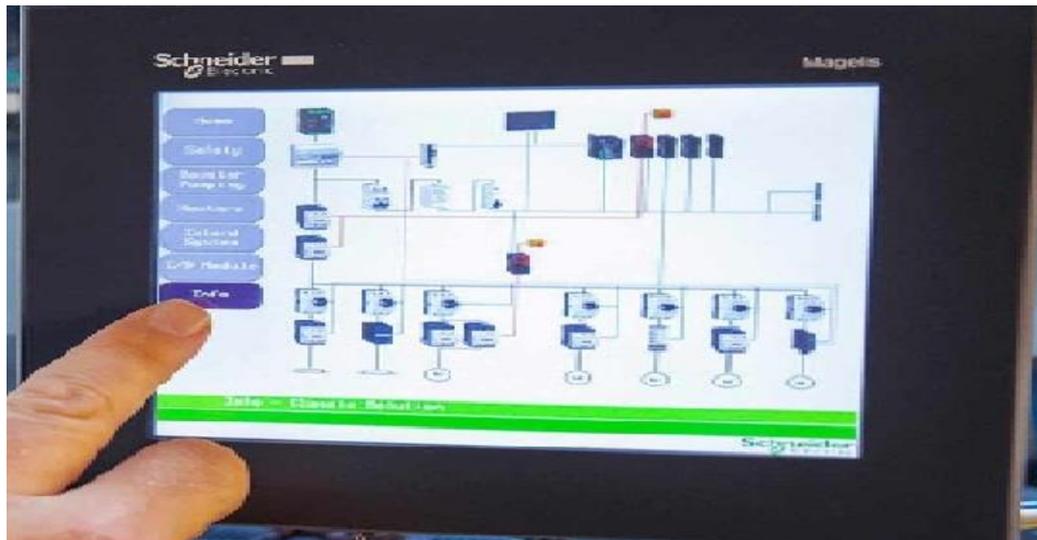
Sistem HMI (Human-Machine Interface) adalah antarmuka yang memungkinkan interaksi antara manusia dengan mesin atau sistem otomatis. Tujuan utamanya adalah untuk menyederhanakan dan mempermudah komunikasi antara pengguna manusia dan sistem teknologi yang kompleks.

Beberapa komponen utama dalam HMI system meliputi:

1. Layar Visual, adalah antarmuka grafis yang ditampilkan pada layar, yang memungkinkan pengguna melihat informasi dan menyampaikan perintah dengan menggunakan elemen-elemen visual seperti tombol, ikon, grafik, dan teks.
2. Input Devices, HMI system biasanya dilengkapi dengan berbagai perangkat masukan seperti keyboard, mouse, layar sentuh, joystick, dan bahkan teknologi pengenalan suara. Ini memungkinkan pengguna untuk berinteraksi dengan sistem dengan mudah dan efisien.

3. Tampilan Informasi HMI system dapat menampilkan berbagai informasi, seperti data sensor, status sistem, laporan kesalahan, dan notifikasi. Hal ini memungkinkan pengguna untuk memahami keadaan sistem dan mengambil tindakan yang sesuai.
4. Kontrol HMI system juga memungkinkan pengguna untuk mengontrol sistem atau mesin dengan memberikan perintah melalui antarmuka. Misalnya, di industri manufaktur, operator dapat menggunakan HMI system untuk mengatur parameter produksi, menghidupkan atau mematikan mesin, atau melakukan penyesuaian tertentu.
5. Alarm dan Peringatan HMI system sering dilengkapi dengan sistem alarm dan peringatan untuk memberi tahu pengguna tentang situasi yang memerlukan perhatian lebih, seperti kesalahan kritis, kondisi berbahaya, atau batasan tertentu yang terlampaui.
6. Interaksi Multimedia Beberapa HMI system juga mendukung elemen multimedia, seperti video atau animasi, yang membantu pengguna memahami situasi atau instruksi dengan lebih baik.
7. User Experience (UX) Design Penting untuk merancang antarmuka yang intuitif dan mudah digunakan agar pengguna dapat dengan cepat beradaptasi dan efektif dalam berinteraksi dengan sistem.

HMI system telah digunakan di berbagai industri dan aplikasi, termasuk kendaraan otomotif, pabrik otomatis, rumah pintar, sistem kontrol industri, peralatan medis, dan banyak lagi. Dengan HMI system yang baik, kompleksitas teknologi modern dapat diakses dan dikendalikan oleh pengguna manusia secara lebih efisien dan efektif.



Gambar2. 4 Layar HMI

2.5 Kubikel 20KV

Kubikel 20 KV adalah bagian dari peralatan listrik yang digunakan untuk distribusi dan pengendalian listrik pada tegangan 20 kilovolt (KV). Kubikel ini adalah salah satu komponen penting dalam sistem distribusi tenaga listrik untuk memastikan pengiriman listrik yang aman dan handal.

Beberapa poin penting tentang kubikel 20 KV adalah sebagai berikut:

1. Tegangan

Kubikel ini dirancang untuk mengelola tegangan listrik pada 20 KV, yang termasuk dalam kategori tegangan menengah. Tegangan ini lebih tinggi dibandingkan dengan kubikel yang digunakan untuk tegangan rendah seperti 380 V hingga 1000 V.

2. Fungsi

Kubikel 20 KV bertujuan untuk mendistribusikan dan mengendalikan aliran listrik dari gardu induk ke beban akhir. Dalam kubikel ini, dilakukan pemutusan, penyambungan, dan pengamanan sirkuit listrik.

3. Komponen

Kubikel 20 KV biasanya terdiri dari beberapa perangkat dan komponen penting, seperti pemutus sirkuit (circuit breaker), pemisah tanah (disconnector), pengukur (metering), perlindungan (protection relays), serta perangkat kontrol dan indikator lainnya.

4. Jenis Kubikel

Ada beberapa jenis kubikel 20 KV yang digunakan berdasarkan fungsinya, seperti:

- Kubikel GIS (Gas Insulated Switchgear)

Menggunakan gas isolasi seperti SF₆ untuk mengurangi ukuran fisik dan meningkatkan keandalan isolasi.

- Kubikel AIS (Air Insulated Switchgear)

Menggunakan udara sebagai medium isolasi, biasanya digunakan di area yang memungkinkan pemasangan dalam kondisi terbuka.

- Kubikel hibrida

Kombinasi dari kubikel GIS dan AIS, menggabungkan keuntungan keduanya.

5. Keamanan

Kubikel 20 KV dirancang dengan standar keamanan yang tinggi untuk melindungi operator dan perangkat dari potensi bahaya yang terkait dengan arus listrik pada tegangan tinggi.

6. Aplikasi

Kubikel 20 KV banyak digunakan dalam industri, komersial, dan perumahan untuk distribusi listrik, pusat tenaga, gardu listrik, dan infrastruktur kelistrikan lainnya.

Penting untuk merancang, menginstal, dan memelihara kubikel 20 KV dengan baik agar sistem distribusi listrik berfungsi dengan efisien, handal, dan aman. Penggunaan kubikel yang tepat dapat membantu meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi risiko gangguan listrik yang berdampak pada pengguna dan peralatan.

sistem kontrol kubikel MV 20KV dapat dilakukan dengan mengoperasikan Circuit Breaker (Open atau Close) secara remote menggunakan software ClearSCADA. Indikator keberhasilan pengoperasian Circuit Breaker bergantung pada RTU (Saitel DR HU_A). Keberhasilan pengujian sistem kontrol adalah RTU dapat menerima perintah dari software ClearSCADA kemudian mengaktifkan auxiliary relay untuk bekerja sehingga lampu indikator Circuit Breaker menyala.[20]

Komponen Kubikel:

- a) **Rangka:** Rangka kubikel terbuat dari bahan logam, seperti baja atau aluminium.
- b) **Panel:** Panel kubikel terbuat dari bahan isolasi, seperti resin epoksi atau fiberglass.
- c) **Peralatan listrik:** Peralatan listrik yang terdapat dalam kubikel tergantung pada fungsinya.
- d) **Sistem kontrol:** Sistem kontrol kubikel dapat berupa sistem manual, semi-otomatis, atau otomatis.
- e) **Sistem pengaman:** Sistem pengaman kubikel dapat berupa interlock mekanis, interlock elektrik, atau sistem pengaman lainnya.

Rumus yang berkaitan dengan kubikel:

- a. **Rumus arus:** $I = P / V$ di mana: $I =$ arus (A) $P =$ daya (W) $V =$ tegangan (V)
- b. **Rumus tegangan:** $V = I R$ di mana: $V =$ tegangan (V) $I =$ arus (A) $R =$ resistansi (Ω)

Rumus daya: $P = V I$

di mana:

$$P = \text{daya (W)}$$

$$V = \text{tegangan (V)}$$

$$I = \text{arus (A)}$$

Contoh penerapan rumus:

- **Menghitung arus yang mengalir pada sebuah kubikel:** Misalkan sebuah kubikel memiliki daya 1000 W dan tegangan 220 V. Hitunglah arus yang mengalir pada kubikel tersebut. $I = 1000 \text{ W} / 220 \text{ V} = 4.55 \text{ A}$
- **Menghitung tegangan pada sebuah kubikel:** Misalkan sebuah kubikel memiliki arus 5 A dan resistansi 10 Ω . Hitunglah tegangan pada kubikel tersebut. $V = 5 \text{ A} * 10 \Omega = 50 \text{ V}$
- **Menghitung daya yang dihasilkan oleh sebuah kubikel:** Misalkan sebuah kubikel memiliki tegangan 200 V dan arus 10 A. Hitunglah daya yang dihasilkan oleh kubikel tersebut. $P = 200 \text{ V} * 10 \text{ A} = 2000 \text{ W}$



Gambar2. 5 Kubiikel Incoming

Kubikel incoming 20KV adalah sebuah enklosur logam yang berisi peralatan listrik yang digunakan dalam sistem distribusi tegangan menengah. Fungsinya adalah untuk menerima suplai 20KV dari sumber dan mendistribusikannya ke peralatan lain dalam sistem.

Kubikel incoming 20KV umumnya terdiri dari beberapa komponen utama, antara lain:

- **Sakelar pemutus isolasi (isolator):** Digunakan untuk mengisolasi bagian tertentu dari sirkuit saat melakukan pemeliharaan atau perbaikan.
- **Pemutus sirkuit (circuit breaker):** Berfungsi untuk memutuskan arus listrik secara otomatis saat terjadi gangguan atau kelebihan beban.
- **Transformator arus (current transformer):** Mengubah arus listrik bertegangan tinggi menjadi arus yang lebih kecil untuk pengukuran.
- **Transformator tegangan (voltage transformer):** Mengubah tegangan listrik bertegangan tinggi menjadi tegangan yang lebih kecil untuk pengukuran.
- **Relai pengaman (protective relay):** Mendeteksi kondisi abnormal dalam sistem seperti korsleting, kelebihan beban, atau gangguan tanah dan secara otomatis memutuskan sirkuit untuk mencegah kerusakan.
- **Busbar:** Menghubungkan berbagai komponen dalam kubikel dan mendistribusikan arus listrik.

- **Sistem kontrol dan indikasi:** Memungkinkan operator untuk memantau dan mengontrol operasi kubikel, serta menampilkan informasi seperti tegangan, arus, dan status sakelar.

Alur suplai listrik dalam kubikel incoming 20KV umumnya sebagai berikut:

1. Suplai 20KV dari sumber memasuki kubikel melalui kabel incoming.
2. Arus listrik diukur oleh transformator arus.
3. Tegangan listrik diukur oleh transformator tegangan.
4. Informasi pengukuran tegangan dan arus dikirim ke sistem kontrol dan indikasi.
5. Arus listrik mengalir melalui busbar ke komponen downstream, seperti trafo daya atau kubikel outgoing.
6. Relai pengaman terus memantau sistem untuk kondisi abnormal dan siap untuk memutuskan sirkuit jika diperlukan.

Kubikel incoming 20KV memiliki beberapa fungsi penting dalam sistem distribusi tegangan menengah, antara lain:

- **Menerima suplai 20KV dari sumber:** Kubikel incoming bertindak sebagai titik masuk utama bagi suplai listrik ke dalam sistem.
- **Mendistribusikan suplai 20KV ke peralatan lain:** Kubikel incoming mendistribusikan suplai 20KV ke trafo daya, kubikel outgoing, dan peralatan lain dalam sistem.
- **Melindungi sistem dari gangguan:** Relai pengaman dalam kubikel incoming mendeteksi kondisi abnormal dan secara otomatis memutuskan sirkuit untuk mencegah kerusakan pada peralatan dan memastikan keselamatan personel.
- **Memonitor dan mengontrol operasi:** Sistem kontrol dan indikasi memungkinkan operator untuk memantau dan mengontrol operasi kubikel, serta menampilkan informasi penting tentang sistem.



Gambar2. 6 Kubikel Outgoing

Kubikel outgoing 20KV adalah sebuah enklosur logam yang berisi peralatan listrik yang digunakan dalam sistem distribusi tegangan menengah. Fungsinya adalah untuk mengarahkan tegangan menengah yang telah diproses melalui trafo dan pengukuran ke feeder atau jaringan distribusi.

Kubikel outgoing 20KV umumnya terdiri dari beberapa komponen utama, antara lain:

- **Sakelar pemutus isolasi (isolator):** Digunakan untuk mengisolasi bagian tertentu dari sirkuit saat melakukan pemeliharaan atau perbaikan.
- **Pemutus sirkuit (circuit breaker):** Berfungsi untuk memutuskan arus listrik secara otomatis saat terjadi gangguan atau kelebihan beban.
- **Sekering lebur (fuse):** Memberikan perlindungan tambahan terhadap sirkuit dari arus berlebih.



Gambar2. 7 Kubikel Sekring Lebur

- **Pemisah tanah (*grounding disconnecter*):** Digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan sirkuit ke tanah.
- **Busbar:** Menghubungkan berbagai komponen dalam kubikel dan mendistribusikan arus listrik.
- **Sistem kontrol dan indikasi:** Memungkinkan operator untuk memantau dan mengontrol operasi kubikel, serta menampilkan informasi seperti tegangan, arus, dan status sakelar.

Alur suplai listrik dalam kubikel outgoing 20KV umumnya sebagai berikut:

1. Tegangan menengah dari trafo daya atau kubikel incoming memasuki kubikel outgoing melalui busbar.
2. Arus listrik diukur oleh transformator arus (opsional).
3. Tegangan listrik diukur oleh transformator tegangan (opsional).
4. Informasi pengukuran tegangan dan arus dikirim ke sistem kontrol dan indikasi (opsional).
5. Arus listrik mengalir melalui busbar ke sakelar pemutus isolasi.
6. Sakelar pemutus isolasi ditutup untuk menghubungkan sirkuit ke feeder atau jaringan distribusi.
7. Pemutus sirkuit dan sekering lebur memberikan perlindungan terhadap gangguan dan kelebihan beban.
8. Pemisah tanah digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan sirkuit ke tanah saat diperlukan.

Kubikel outgoing 20KV memiliki beberapa fungsi penting dalam sistem distribusi tegangan menengah, antara lain:

- **Mengalirkan tegangan menengah ke feeder atau jaringan distribusi:** Kubikel outgoing mengarahkan tegangan menengah yang telah diproses ke feeder atau jaringan distribusi untuk memasok daya ke beban.
- **Melindungi sistem dari gangguan:** Pemutus sirkuit, sekering lebur, dan pemisah tanah dalam kubikel outgoing memberikan perlindungan terhadap gangguan, kelebihan beban, dan kesalahan tanah.

- **Memonitor dan mengontrol operasi:** Sistem kontrol dan indikasi memungkinkan operator untuk memantau dan mengontrol operasi kubikel, serta menampilkan informasi penting tentang sistem.

Berikut adalah beberapa perbedaan utama antara kubikel incoming dan outgoing 20KV:

Fitur	Kubikel Incoming	Kubikel Outgoing
Fungsi	Menerima suplai 20KV dari sumber dan mendistribusikannya ke peralatan lain.	Mengarahkan tegangan menengah yang telah diproses ke feeder atau jaringan distribusi.
Komponen	Isolator, circuit breaker, transformator arus, transformator tegangan, relay pengaman, busbar, sistem kontrol dan indikasi.	Isolator, circuit breaker, fuse, grounding disconnector, busbar, sistem kontrol dan indikasi.
Alur suplai	Suplai 20KV masuk, diukur, didistribusikan.	Tegangan menengah masuk, dihubungkan ke feeder/jaringan.
Fungsi penting	Menerima, mendistribusikan, melindungi, dan memantau suplai 20KV.	Mengalirkan, melindungi, dan memantau tegangan menengah yang didistribusikan.

2.6 SEPAM

SEPAM merupakan singkatan dari "Système Electrique de Protection, d'Automatisme et de Mesure," yang dalam bahasa Inggris berarti "Electrical

Protection, Automation, and Measurement System." SEPAM adalah merek dagang dari perangkat perlindungan listrik yang dikembangkan oleh perusahaan Schneider Electric.

Jaringan distribusi listrik modern (smart-grid) yang terintegrasi dengan teknologi Orang-orang cerdas tidak melakukan tujuan yang diatur pada suhu produksi listrik juga jika itu terjadi distribusi untuk mengoptimalkan perilaku sistem global (kepuasan atas permintaan *versus minimalisasi des pertes*). Fungsi kontrol ini terus menerus Penelitian ini diwujudkan melalui otomatisasi penelitian distribusi yang menerapkan fungsi-fungsinya *classiques d'acquisition de données, supervisi et commande* (Kontrol Pengawasan dan Data Akuisisi – SCADA).

Perangkat SEPAM dirancang untuk digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk berbagai tujuan, termasuk perlindungan, pengukuran, dan otomatisasi. Berikut beberapa fitur dan fungsi umum dari perangkat SEPAM:

1. Perlindungan Listrik: SEPAM adalah sistem perlindungan yang digunakan untuk mendeteksi gangguan dalam sistem tenaga listrik, seperti arus lebih, tegangan lebih, gangguan arus hubung singkat, atau kondisi operasi yang tidak normal. Perangkat ini akan merespon dengan cepat untuk mengisolasi gangguan dan mencegah kerusakan lebih lanjut pada peralatan dan jaringan listrik.
2. Pengukuran: SEPAM memiliki kemampuan untuk melakukan pengukuran parameter listrik seperti arus, tegangan, daya, faktor daya, frekuensi, dan lain-lain. Informasi ini penting untuk pemantauan dan analisis kinerja sistem tenaga listrik.
3. Otomatisasi: SEPAM dapat diatur untuk melakukan fungsi otomatisasi berdasarkan kondisi yang terdeteksi atau sinyal masukan eksternal. Hal ini memungkinkan sistem tenaga listrik beroperasi secara lebih efisien dan memberikan respons cepat terhadap peristiwa tertentu.
4. Komunikasi: Perangkat SEPAM biasanya dilengkapi dengan antarmuka komunikasi yang memungkinkan integrasi dengan sistem SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) atau sistem pemantauan jarak jauh lainnya. Ini memungkinkan pengawasan dan pengendalian dari lokasi yang terpusat.

5. Analisis Gangguan: SEPAM dapat merekam data gangguan dan kejadian listrik yang terjadi di sistem. Informasi ini dapat dianalisis untuk memahami penyebab gangguan dan meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan.

SEPAM umumnya digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk industri, infrastruktur, distribusi listrik, dan tenaga listrik. Perangkat SEPAM yang tepat dipilih berdasarkan karakteristik sistem tenaga listrik yang akan dijaga dan diatur.

Automatisasi:

- Otomatisasi Pengendalian: Mengatur operasi peralatan secara otomatis sesuai dengan kondisi jaringan listrik dan permintaan beban.
- Otomatisasi Penyulang (*Feeder Automation*): Memungkinkan operasi otomatis pada tingkat penyulang, seperti pemutusan dan penyambungan otomatis.
- Otomatisasi Jaringan (*Network Automation*): Memfasilitasi koordinasi operasi antar-peralatan dalam jaringan listrik untuk mengoptimalkan efisiensi dan keandalan.

Pengukuran:

- Pengukuran Tegangan dan Arus: Memantau tegangan dan arus pada berbagai titik dalam jaringan listrik untuk tujuan pengendalian dan pemantauan.
- Pengukuran Daya Aktif dan Reaktif: Mengukur daya aktif dan reaktif yang digunakan atau dihasilkan dalam jaringan.
- Pengukuran Faktor Daya: Memantau faktor daya sebagai indikator efisiensi penggunaan energi dalam jaringan.

Dengan integrasi fungsi-fungsi ini, SEPAM memungkinkan untuk mendeteksi, menanggapi, dan mengelola berbagai kondisi operasional dalam jaringan listrik secara efektif, sehingga meningkatkan keandalan, efisiensi, dan keselamatan sistem tenaga listrik.

2.7 CB (*Circuit Breaker*)

Circuit Breaker (CB) atau pemutus sirkuit adalah perangkat elektromekanis yang digunakan untuk memutus atau membuka sirkuit listrik secara otomatis ketika terjadi gangguan atau kelebihan arus dalam sistem listrik. Fungsi utama CB adalah melindungi peralatan listrik dan jaringan dari kerusakan akibat arus

berlebihan atau hubung singkat. Setelah terjadi pemutusan sirkuit, CB dapat dengan mudah di-reset atau ditutup kembali untuk menghidupkan kembali aliran listrik.

Komponen Utama *Circuit Breaker*:

1. **Kontak:** Bagian yang menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik.
2. **Mekanisme Pemadam:** Memicu pembukaan kontak secara mekanis saat terjadi gangguan.
3. **Sistem Pemicu:** Menginisiasi mekanisme pemadam berdasarkan prinsip elektromagnetik, termal, atau elektronik.
4. **Ruang Pemadam:** Melindungi kontak dari percikan api saat terjadi pemutusan arus.
5. **Casing:** Melindungi komponen internal CB dari lingkungan luar.

2.7.1 MCCB (Molded Case Circuit Breaker)

MCCB (Molded Case Circuit Breaker) merujuk pada kemampuan pemutusan arus listrik maksimum dari suatu perangkat MCCB. Kapasitas ini menentukan seberapa besar arus listrik yang dapat diputus oleh MCCB tanpa menyebabkan kerusakan pada perangkat dan sistem listrik.

Kapasitas MCCB biasanya dinyatakan dalam satuan ampere (A) atau kiloampere (kA). Beberapa MCCB dapat memiliki kapasitas pemutusan yang rendah, misalnya 10 kA, sedangkan yang lain dapat memiliki kapasitas yang lebih tinggi, seperti 50 kA atau bahkan lebih.



Gambar2. 8 MCCB (Molded Case Circuit Breaker)

2.7.2 ACB (Air Circuit Breaker)

ACB (Air Circuit Breaker) atau Circuit Breaker Udara adalah jenis circuit breaker yang menggunakan udara sebagai medium untuk memutuskan arus listrik. ACB umumnya digunakan pada tegangan rendah hingga menengah dan dirancang untuk melindungi peralatan listrik dan sistem dari gangguan dan kondisi tidak normal lainnya.



Gambar2. 9 ACB (Air Circuit Breaker)

Kapasitas tegangan ACB tergantung pada aplikasi dan spesifikasi produsen, namun umumnya ACB digunakan pada tegangan rendah hingga menengah. Kapasitas tegangan ACB biasanya berkisar dari 400 V hingga 15 KV. Beberapa ACB mungkin memiliki kapasitas tegangan lebih tinggi, tergantung pada kebutuhan sistem listrik.

2.8 TRANSFORMATOR (TRAF0)

Trafo, atau transformator, adalah alat yang digunakan untuk mengubah tegangan dan arus bolak-balik (AC). Trafo bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, di mana perubahan fluks magnetik pada inti besi akan menginduksikan tegangan pada kumparan yang melilitinya.

Trafo memiliki dua kumparan utama, yaitu:

- **Kumparan primer:** Kumparan yang dihubungkan dengan sumber tegangan AC.
- **Kumparan sekunder:** Kumparan yang menghasilkan tegangan AC yang diinginkan.

Jumlah lilitan pada kumparan primer dan sekunder menentukan besarnya tegangan yang dihasilkan. Semakin banyak lilitan pada kumparan sekunder,

semakin tinggi tegangan yang dihasilkan. Sebaliknya, semakin sedikit lilitan pada kumparan sekunder, semakin rendah tegangan yang dihasilkan.

Berikut adalah beberapa rumus dasar trafo:

Perbandingan tegangan:

$$V_p/V_s = N_p/N_s$$

di mana:

- V_p = Tegangan primer
- V_s = Tegangan sekunder
- N_p = Jumlah lilitan primer
- N_s = Jumlah lilitan sekunder

Perbandingan arus:

$$I_p/I_s = N_s/N_p$$

di mana:

- I_p = Arus primer
- I_s = Arus sekunder

Efisiensi trafo:

$$\eta = (V_s * I_s) / (V_p * I_p) * 100\%$$

di mana:

- η = Efisiensi trafo (%)

Transformator (trafo) adalah perangkat listrik yang digunakan untuk mentransformasikan tegangan dan arus listrik dari satu level ke level tegangan dan arus yang lain. Ada dua jenis trafo utama yang umum digunakan dalam sistem tenaga listrik:

2.8.1 Trafo Power (Power Transformer)

- Trafo power biasanya digunakan di gardu induk (substation) dan stasiun pembangkit listrik untuk mentransformasikan tegangan tinggi dari pembangkit listrik ke tegangan menengah atau rendah yang dapat didistribusikan ke konsumen.

- Fungsi utamanya adalah untuk mengubah tegangan dari level tinggi menjadi level yang lebih rendah sehingga dapat disalurkan melalui jaringan distribusi listrik yang luas tanpa terlalu banyak kerugian daya.
- Trafo power memiliki peran penting dalam mengatur dan mendistribusikan energi listrik dalam skala besar, dan mereka dapat memiliki daya yang sangat tinggi, misalnya, dalam puluhan hingga ratusan MVA (MegaVolt-Ampere).



Gambar2. 10 Trafo Power (Power Transformer)

2.8.2 Trafo Distribusi (Distribution Transformer)

- Trafo distribusi digunakan dalam jaringan distribusi listrik di dekat area pemukiman, industri, dan komersial untuk menurunkan tegangan dari level menengah ke tegangan rendah yang sesuai untuk digunakan oleh konsumen.
- Trafo distribusi memiliki kapasitas yang lebih kecil daripada trafo power, biasanya dalam kisaran beberapa KVA (KiloVolt-Ampere) hingga beberapa MVA.
- Fungsi utama trafo distribusi adalah untuk menyediakan daya listrik yang tepat dan stabil untuk keperluan lokal seperti rumah, toko, pabrik, dan fasilitas lainnya.



Gambar2. 11 Trafo Distribusi (Distribution Transformer)

Perbedaan antara trafo on-load tap changer (OLTC) dan off-load tap changer (OLTC) terletak pada waktu dan kondisi saat perubahan tapping (penyelarasan lilitan) dilakukan pada trafo untuk mengatur tegangan keluaran. Tapping pada trafo digunakan untuk mengatur tegangan output agar sesuai dengan persyaratan jaringan distribusi listrik atau kebutuhan beban.

1. On-Load Tap Changer (OLTC):

- OLTC adalah tipe tap changer yang memungkinkan perubahan tapping pada trafo saat trafo sedang beroperasi atau dalam kondisi beban. Artinya, perubahan tapping dilakukan tanpa memutuskan aliran daya listrik dari trafo.
- OLTC biasanya dilengkapi dengan perangkat mekanis yang dapat menggeser titik tapping secara otomatis atau semi-otomatis. Hal ini memungkinkan trafo untuk mengatasi fluktuasi tegangan beban dengan cepat dan terus beroperasi dengan kinerja yang stabil.
- Penggunaan OLTC biasanya ditemukan pada trafo dengan kapasitas yang lebih besar, seperti trafo gardu induk dan pembangkit listrik.

2. Off-Load Tap Changer (OLTC):

- OLTC adalah tipe tap changer yang memerlukan trafo untuk dimatikan atau diputus dari sirkuit sebelum dilakukan perubahan tapping. Artinya, perubahan tapping dilakukan saat trafo tidak beroperasi dan dalam kondisi beban nol.

- OLTC membutuhkan sedikit lebih banyak waktu untuk mengatur tegangan output karena perlu memutuskan aliran daya listrik dari trafo terlebih dahulu sebelum tapping dapat diubah.
- Penggunaan OLTC biasanya ditemukan pada trafo dengan kapasitas yang lebih kecil, seperti trafo distribusi yang terpasang di dekat area permukiman atau komers.

2.9 Fuse Distribusi

Fuse jaringan distribusi, atau yang sering disingkat FCO, adalah alat pengaman yang digunakan untuk melindungi jaringan listrik dari kerusakan akibat arus lebih yang berlebihan. FCO bekerja dengan cara memutus aliran listrik ketika arus yang mengalir melebihi batas yang telah ditentukan. Hal ini membantu mencegah kerusakan pada kabel, transformator, dan peralatan listrik lainnya.

Jenis-jenis Fuse Jaringan Distribusi

Ada dua jenis utama FCO:

FCO Ekspulsi:

Jenis ini memiliki tabung fiberglass yang diisi dengan elemen lebur yang terbuat dari logam. Ketika arus lebih terjadi, elemen lebur akan meleleh dan memutus aliran listrik. Tabung fiberglass akan pecah dan mengeluarkan asap, sehingga mudah terlihat bahwa FCO telah bekerja.

FCO Drop Out:

Jenis ini memiliki elemen lebur yang mirip dengan FCO ekspulsi, tetapi elemen lebur tersebut tidak terbungkus dalam tabung fiberglass. Ketika arus lebih terjadi, elemen lebur akan meleleh dan jatuh ke bawah, memutus aliran listrik.



Gambar2. 12 FOC Drop

Fuse Cut Out (FCO):

FCO 20 KV dengan rating arus 200 A. FCO ini memiliki tabung fiberglass yang berwarna putih dan kontak yang berwarna kuning. FCO ini juga memiliki indikator yang menunjukkan apakah fuse sudah putus atau belum.

Bagian-bagian Fuse Jaringan Distribusi

FCO terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu:

- **Elemen lebur:** Bagian ini terbuat dari logam dan akan meleleh ketika arus lebih terjadi.
- **Tabung fiberglass:** Bagian ini hanya terdapat pada FCO ekspulsi dan berfungsi untuk menahan elemen lebur dan mengeluarkan asap ketika FCO bekerja.
- **Kontak:** Bagian ini menghubungkan FCO ke kabel listrik.
- **Penjepit:** Bagian ini digunakan untuk memasang FCO ke tiang listrik atau struktur lainnya.

Cara Kerja Fuse Jaringan Distribusi

FCO bekerja dengan cara yang sederhana. Ketika arus yang mengalir melalui FCO melebihi batas yang telah ditentukan, elemen lebur akan meleleh dan memutus aliran listrik. Hal ini membantu mencegah kerusakan pada kabel, transformator, dan peralatan listrik lainnya.

Pemilihan Fuse Jaringan Distribusi

Pemilihan FCO yang tepat sangat penting untuk memastikan perlindungan yang optimal bagi jaringan listrik. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan FCO antara lain:

- **Arus nominal:** Arus nominal adalah arus maksimum yang dapat mengalir melalui FCO tanpa menyebabkan elemen lebur meleleh.
- **Tegangan kerja:** Tegangan kerja adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh FCO.
- **Kecepatan lebur:** Kecepatan lebur adalah waktu yang dibutuhkan oleh elemen lebur untuk meleleh ketika arus lebih terjadi.
- **Jenis FCO:** Jenis FCO yang dipilih tergantung pada kebutuhan dan preferensi pengguna.

2.10 Kapasitor Bank

Kapasitor bank adalah perangkat listrik yang terdiri dari beberapa kapasitor yang dihubungkan secara paralel atau seri. Fungsinya utama adalah untuk memperbaiki faktor daya (power factor) dalam sistem listrik AC. Faktor daya yang rendah dapat menyebabkan kerugian energi dan penurunan tegangan. Dengan menambahkan kapasitor bank, faktor daya dapat ditingkatkan, sehingga efisiensi sistem listrik juga meningkat.



Gambar2. 13 Kapasitor Bank

Bagaimana Cara Kerja Kapasitor Bank

Beban induktif seperti motor listrik dan transformator menyebabkan arus listrik tertinggal dari tegangan. Kondisi ini disebut dengan faktor daya lagging. Kapasitor bank, yang bersifat kapasitif, menghasilkan arus yang mendahului tegangan. Ketika kapasitor bank dihubungkan paralel dengan beban induktif, arus kapasitif akan menetralkan sebagian arus induktif, sehingga memperbaiki faktor daya.

Fungsi Kapasitor Bank dalam Jaringan Distribusi:

1. **Meningkatkan Faktor Daya:** Dengan memperbaiki faktor daya, kerugian energi akibat arus reaktif dapat dikurangi.

2. **Menstabilkan Tegangan:** Kapasitor bank dapat membantu menstabilkan tegangan pada titik beban, terutama pada beban induktif yang besar.
3. **Mengurangi Rugi-rugi Daya:** Dengan mengurangi arus reaktif, rugi-rugi daya pada jaringan distribusi juga berkurang.
4. **Meningkatkan Kapasitas Jaringan:** Dengan memperbaiki faktor daya, kapasitas jaringan distribusi dapat ditingkatkan tanpa perlu menambah kapasitas peralatan.

Jenis-jenis Kapasitor Bank:

- **Kapasitor Bank Berbahan Minyak:** Jenis kapasitor yang paling umum digunakan, memiliki kapasitas besar dan umur pakai yang panjang.
- **Kapasitor Bank Kering:** Kapasitor ini tidak menggunakan minyak sebagai isolasi, sehingga lebih aman dan ramah lingkungan.
- **Kapasitor Bank Vakum:** Kapasitor dengan vakum sebagai isolasi, memiliki karakteristik yang sangat baik seperti umur pakai yang sangat panjang dan efisiensi tinggi.

Aplikasi Kapasitor Bank:

- **Industri:** Pabrik-pabrik yang memiliki banyak beban induktif seperti motor listrik.
- **Gedung-gedung tinggi:** Untuk memperbaiki faktor daya pada sistem pencahayaan dan peralatan listrik lainnya.
- **Sistem distribusi listrik:** Untuk meningkatkan efisiensi dan kapasitas jaringan distribusi.

Faktor yang Perlu Diperhatikan dalam Pemilihan Kapasitor Bank:

- **Kapasitas:** Kapasitas kapasitor bank harus sesuai dengan beban induktif yang ada.
- **Tegangan:** Tegangan kerja kapasitor bank harus sesuai dengan tegangan sistem.
- **Frekuensi:** Frekuensi kerja kapasitor bank harus sesuai dengan frekuensi sistem.
- **Suhu lingkungan:** Kapasitor bank harus dapat beroperasi pada suhu lingkungan yang bervariasi.

Kapasitor bank merupakan komponen penting dalam sistem distribusi listrik. Dengan fungsinya yang mampu memperbaiki faktor daya, menstabilkan tegangan, dan mengurangi rugi-rugi daya, kapasitor bank berkontribusi pada peningkatan efisiensi dan kualitas daya listrik.

2.11 Kabel

Kabel distribusi adalah penghantar listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk atau gardu distribusi ke konsumen akhir, baik itu rumah tangga, industri, maupun komersial. Kabel ini merupakan komponen vital dalam sistem distribusi listrik, karena berperan dalam memastikan pasokan listrik yang aman dan andal.

Fungsi Utama Kabel Distribusi

- **Menghantarkan Energi Listrik:** Fungsi utama kabel distribusi adalah untuk menyalurkan energi listrik dari sumber ke beban.
- **Membentuk Jaringan Distribusi:** Kabel-kabel distribusi saling terhubung membentuk jaringan yang kompleks, menjangkau seluruh wilayah layanan.
- **Menghubungkan Pelanggan:** Setiap pelanggan listrik terhubung ke jaringan distribusi melalui kabel distribusi.

Jenis-jenis Kabel Distribusi

Secara umum, kabel distribusi dapat dikategorikan berdasarkan material penghantar dan isolasinya:

- **Berdasarkan Material Penghantar:**
 - **Aluminium Conductor Steel Reinforced (ACSR):** Kabel ini terdiri dari inti baja yang dilapisi aluminium. ACSR memiliki kekuatan mekanik yang tinggi dan sering digunakan untuk saluran udara tegangan menengah.



Gambar2. 14 Kabel ACSR

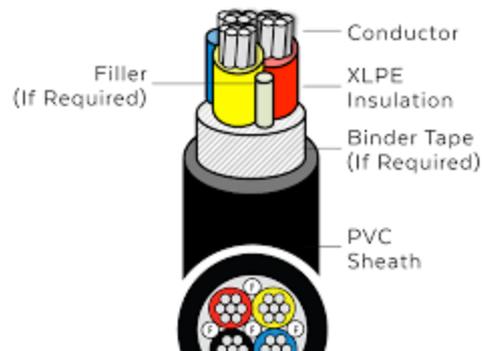
- **All Aluminium Conductor (AAC):** Kabel ini seluruhnya terbuat dari aluminium. AAC lebih ringan dari ACSR, tetapi kekuatan mekaniknya lebih rendah.



Gambar2. 15 Kabel AAC

Copper Conductor: Kabel tembaga memiliki konduktivitas yang sangat baik, tetapi harganya lebih mahal dibandingkan aluminium.

- **Berdasarkan Material Isolasi:**
 - **Kabel XLPE:** Kabel dengan isolasi Cross-Linked Polyethylene (XLPE) memiliki ketahanan suhu yang tinggi dan tahan terhadap kelembaban.



Gambar2. 16 Kabel XLPE

- **Kabel PVC:** Kabel dengan isolasi Polyvinyl Chloride (PVC) lebih ekonomis, tetapi ketahanannya terhadap suhu tinggi dan kelembaban lebih rendah dibandingkan XLPE.

Konstruksi Kabel Distribusi

Secara umum, konstruksi kabel distribusi terdiri dari:

- **Penghantar:** Bagian yang menghantarkan arus listrik (aluminium atau tembaga).
- **Isolasi:** Lapisan yang memisahkan penghantar dengan penghantar lain atau dengan pelindung.
- **Pelindung:** Lapisan luar yang melindungi kabel dari kerusakan mekanis dan lingkungan.
- **Selubung luar:** Lapisan terluar yang melindungi kabel dari pengaruh lingkungan.

Pertimbangan dalam Pemilihan Kabel Distribusi

- **Tegangan:** Tegangan sistem distribusi akan menentukan jenis kabel yang digunakan.
- **Arus:** Besarnya arus yang akan dihantarkan akan menentukan ukuran penampang kabel.
- **Panjang jalur:** Panjang jalur distribusi akan mempengaruhi penurunan tegangan.
- **Lingkungan:** Kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan jenis tanah akan mempengaruhi pemilihan jenis isolasi.

Instalasi Kabel Distribusi

Instalasi kabel distribusi harus dilakukan oleh tenaga ahli yang kompeten dan sesuai dengan standar yang berlaku. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam instalasi kabel distribusi adalah:

- **Perencanaan rute:** Rute kabel harus direncanakan dengan baik untuk menghindari gangguan terhadap lingkungan dan masyarakat.
- **Pengamanan:** Kabel harus dipasang dengan aman untuk mencegah kerusakan dan bahaya kebakaran.
- **Pembumi:** Kabel harus dibumikan dengan baik untuk melindungi dari gangguan tegangan lebih.

Pemeliharaan Kabel Distribusi

Pemeliharaan kabel distribusi secara berkala sangat penting untuk menjaga keandalan sistem distribusi. Kegiatan pemeliharaan meliputi:

- **Inspeksi visual:** Memeriksa kondisi fisik kabel secara berkala.
- **Pengukuran resistansi isolasi:** Mengukur nilai resistansi isolasi untuk mengetahui kondisi isolasi kabel.
- **Pengukuran kontinuitas:** Memastikan tidak ada putus pada penghantar.

2.12 Genset Gas Engine



Gambar2. 17 Gas Engine Dresser-Rand Guascor

Siemens Engine Dresser-Rand adalah bagian dari Siemens Energy yang mengkhususkan diri pada solusi dan layanan untuk industri minyak dan gas, serta

sektor energi lainnya. Berikut ini adalah penjelasan rinci tentang Siemens Engine Dresser-Rand:

Sejarah Singkat

Dresser-Rand: Sebelum diakuisisi oleh Siemens, Dresser-Rand merupakan perusahaan terkemuka yang menyediakan peralatan dan layanan untuk kompresi, pembangkitan daya, dan pengolahan energi. Dresser-Rand didirikan pada tahun 1987 melalui penggabungan Dresser Industries dan Divisi Produk Turbo Ingersoll Rand.

Akuisisi oleh Siemens: Pada tahun 2014, Siemens mengakuisisi Dresser-Rand untuk memperkuat posisinya di sektor energi, terutama dalam industri minyak dan gas.

Produk dan Layanan

Siemens Engine Dresser-Rand menyediakan berbagai produk dan layanan yang meliputi:

1. Turbomachinery

Kompresor : Termasuk kompresor sentrifugal, sekrup, dan aksial yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri.

Turbin : Turbin gas dan uap yang digunakan untuk pembangkitan listrik dan penggerak mekanis dalam industri.

2. Pembangkit Daya dan Sistem Distribusi

Generator: Generator listrik untuk pembangkitan tenaga dan keperluan industri.

Sistem Distribusi: Solusi untuk distribusi energi yang efisien dan andal.

3. Sistem Pengolahan Gas dan Minyak

Pengolahan Gas: Teknologi untuk pemrosesan gas alam, termasuk pemisahan, kompresi, dan pengolahan gas.

Sistem Peningkatan Minyak: Peralatan untuk ekstraksi dan peningkatan produksi minyak.

4. Servis dan Dukungan Teknis

Pemeliharaan dan Perbaikan: Layanan pemeliharaan rutin dan perbaikan untuk memastikan operasi peralatan yang optimal.

Upgrade dan Retrofit: Modernisasi peralatan lama dengan teknologi terbaru untuk meningkatkan efisiensi dan performa.

Monitoring dan Diagnostik: Sistem untuk memantau kondisi operasional dan mendiagnosis peralatan secara real-time.

Inovasi dan Teknologi

Digitalisasi dan Industri 4.0: Siemens menggunakan teknologi digital dan analitik data untuk meningkatkan efisiensi operasional, pemeliharaan prediktif, dan pengambilan keputusan berbasis data.

Energi Terbarukan: Mengembangkan solusi yang mendukung transisi ke sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan, termasuk integrasi dengan energi terbarukan seperti angin dan matahari.

Pasar dan Aplikasi

Produk dan layanan Siemens Engine Dresser-Rand digunakan di berbagai industri, termasuk:

Minyak dan Gas: Dari eksplorasi hingga pemrosesan dan pengangkutan.

Petrokimia: Untuk produksi bahan kimia dan plastik.

Pembangkit Listrik: Termasuk pembangkit listrik berbasis fosil dan terbarukan.

Industri Proses: Seperti pabrik pengolahan makanan, farmasi, dan pabrik pengolahan air.

Keunggulan Kompetitif

Pengalaman dan Keahlian: Gabungan pengalaman dari Dresser-Rand dan Siemens dalam teknologi energi.

Portofolio Lengkap: Penyediaan solusi end-to-end dari desain hingga pemeliharaan.

Teknologi Terdepan: Penggunaan teknologi canggih untuk efisiensi energi dan operasional.

Jaringan Global: Jaringan global yang luas memungkinkan layanan dan dukungan teknis di seluruh dunia.

Dengan menggabungkan kekuatan dari dua perusahaan besar, Siemens Engine Dresser-Rand mampu menawarkan solusi inovatif dan efisien untuk memenuhi kebutuhan energi global yang terus berkembang

2.13 Drop Voltage

Drop voltage, yang dalam bahasa Indonesia sering diterjemahkan sebagai "tegangan turun" atau "tegangan jatuh", mengacu pada penurunan tegangan listrik dari sumber menuju beban. Fenomena ini terjadi karena adanya hambatan pada penghantar (kabel) yang menyebabkan sebagian energi listrik terbuang dalam bentuk panas. Akibatnya, tegangan yang sampai pada beban menjadi lebih rendah dari tegangan sumber.

Penyebab Drop Voltage

- **Hambatan pada penghantar:** Semakin panjang dan kecil penampang penghantar, semakin besar hambatannya.
- **Beban yang terlalu besar:** Beban yang melebihi kapasitas jaringan akan menyebabkan penurunan tegangan yang signifikan.
- **Sambungan yang buruk:** Sambungan penghantar yang tidak baik akan meningkatkan hambatan dan menyebabkan penurunan tegangan.
- **Kualitas sumber tegangan yang buruk:** Fluktuasi tegangan pada sumber juga dapat menyebabkan drop voltage.

Dampak Drop Voltage

- **Performa peralatan listrik menurun:** Peralatan listrik dirancang untuk beroperasi pada tegangan tertentu. Penurunan tegangan dapat menyebabkan peralatan tidak berfungsi optimal atau bahkan rusak.
- **Efisiensi energi berkurang:** Drop voltage menyebabkan sebagian energi listrik terbuang percuma dalam bentuk panas pada penghantar.
- **Kualitas daya listrik menurun:** Penurunan tegangan dapat menyebabkan fluktuasi tegangan yang mengganggu kinerja peralatan elektronik sensitif.

Mitigasi Drop Voltage

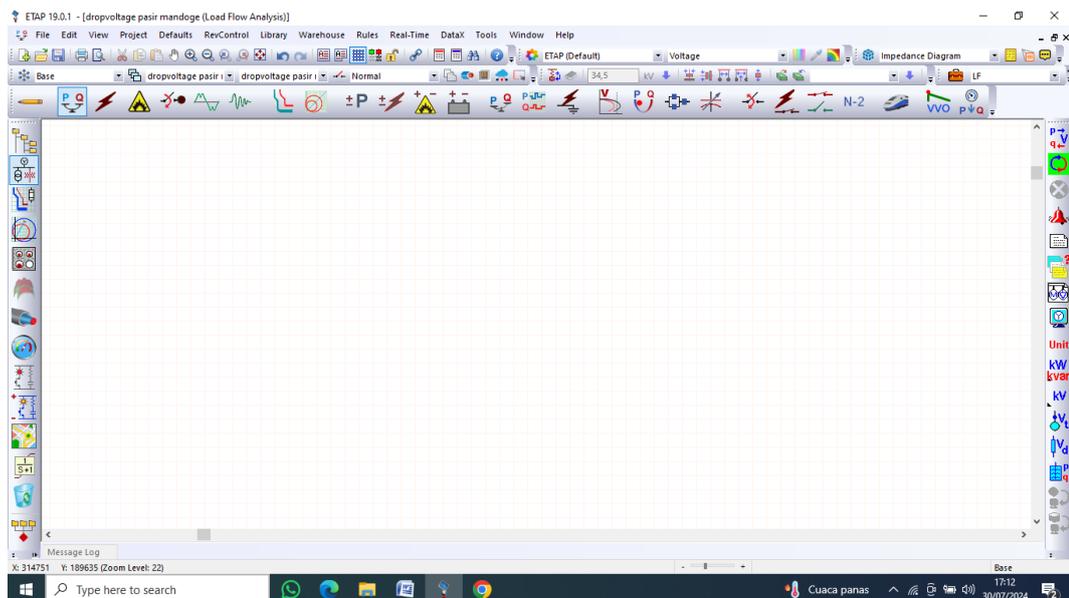
- **Meningkatkan ukuran penghantar:** Dengan menggunakan penghantar yang lebih besar, hambatan dapat dikurangi.
- **Memperpendek jarak antara sumber dan beban:** Jarak yang lebih pendek akan mengurangi penurunan tegangan akibat hambatan penghantar.
- **Menggunakan material penghantar yang berkualitas baik:** Material penghantar yang memiliki konduktivitas tinggi akan mengurangi hambatan.

- **Menggunakan regulator tegangan:** Regulator tegangan dapat membantu menjaga tegangan pada beban tetap stabil.
- **Membagi beban secara merata:** Membagi beban secara merata pada beberapa rangkaian dapat mengurangi beban pada setiap rangkaian.

2.14 ETAP

ETAP adalah perusahaan perangkat lunak rekayasa analitik spektrum penuh yang mengkhususkan diri dalam analisis, simulasi, pemantauan, pengendalian, optimalisasi dan otomasi daya listrik sistem. Fitur yang terdapat di dalam ETAP antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.

ETAP (Electric Transient Analysis Program) adalah software yang digunakan untuk menganalisis suatu sistem tenaga listrik. Software ETAP dapat bekerja secara offline (untuk simulasi sistem tenaga listrik) maupun secara online yang bertujuan untuk menganalisis data secara real time (seperti SCADA). Software ETAP sangat bermanfaat dalam perencanaan sistem kelistrikan. Dalam ETAP, terdapat jenis-jenis elemen seperti elemen AC, *instrument* maupun elemen DC.



Gambar2. 18 Tampilan worksheet software ETAP 19.0

Analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan ETAP antarlain:

1. Network Analysis:

Arc Flash

- *ShortCircuit*
- *DeviceCoordination&SequenceofOperation*
- *LoadFlow*
- *Load Analyzer*
- *MotorAcceleration*
- *Harmonics*
- *TransientStability*
- *ParameterEstimation*
- *PanelSystems*
- *SwitchingSequenceManagement*

2. Cable Systems:

- *CableAmpacity &Sizing*
- *CablePulling*
- *LoadFlow*
- *U/GDuctBanks*
- *ThermalAnalysis*

3. Dc System

- *LoadFlow&Short Circuit*
- *BatterySystems*
- *Control Systems*

4. Transmission & Distribution

- *TransmissionLine*
- *Sag &Tension*
- *Multi PhaseSystem*
- *UnbalancedLoadFlow*
- *OptimalLoadFlow*

- *CapacitorPlacement*
- *ReabilityAssessment*
- *GroundGridSystems*
- *WindTurbineGenerator*
- *GISMap*

5. Real TimeSolutions:

- *Monitoring&Trending*
- *StateEstimator*
- *EventPlayback*
- *Remote Control&Automation*
- *EnergyAccounting*

2.14.1 Hal Yang Perlu Diperhatikan Dalam Menggunakan ETAP

1. Single Line Diagram (SLD)

Merupakan representasi (penggambaran) sederhana hubungan antar komponen atau peralatan listrik yang membentuk suatu sistem tenaga listrik.

2. Library

informasi atau data mengenai semua komponen atau peralatan yang akan digunakan dalam suatu sistem tenaga listrik baik data elektrik maupun mekanis yang bertujuan untuk membantu dalam menentukan spesifikasi peralatan yang belum diketahui.

3. Study Case

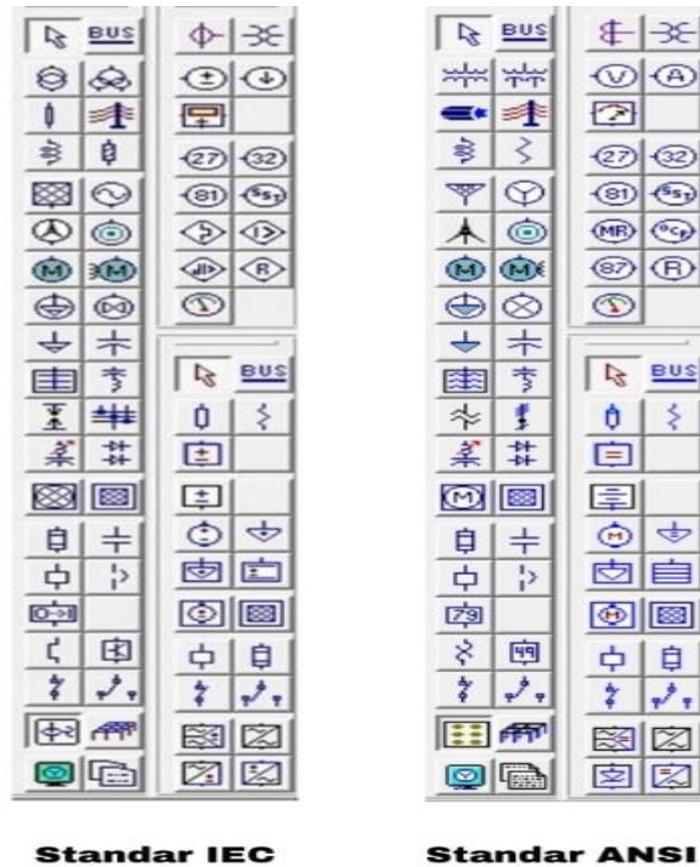
Parameter yang berhubungan dengan metode studi yang dilakukan serta format hasil analisa.

4. Standar yang digunakan

Standar yang akan dipakai pada peralatan listrik. The American National Standards Institute (ANSI) dan the International Electrotechnical Commission (IEC) merupakan standar yang biasa digunakan pada spesifikasi peralatan listrik.

Perbedaan terletak pada standar frekuensi yang digunakan, IEC menggunakan nilai frekuensi 50 Hz sedangkan ANSI menggunakan nilai

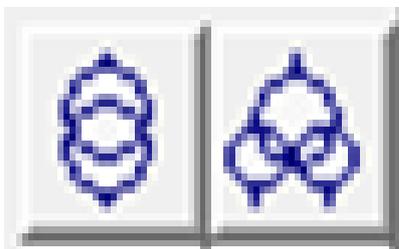
frekuensi 60 Hz. Berikut merupakan toolbar dari elemen-elemen pada ETAP 12.6 dengan standar IEC dan ANSI



Gambar2. 19 Elemen AC dalam ETAP

Berikut merupakan beberapa elemen AC dalam ETAP 12.6 dengan standar IEC:

1. Transformator



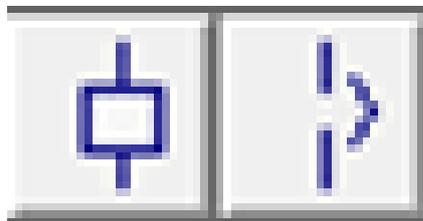
Transformator adalah alat yang berfungsi untuk mentransformasikan (tegangan/arus) dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya pada tegangan AC (arus bolak-balik).

2. Generator



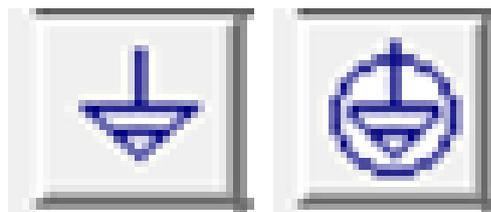
Mesin listrik yang berfungsi untuk membangkitkan listrik dari sumber energi mekanik.

3. Circuit Breaker (*Pemutus Rangkaian*)



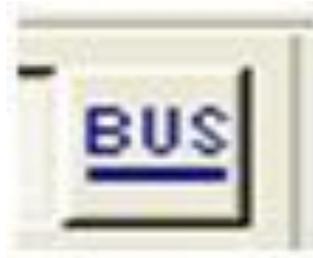
Peralatan listrik yang berfungsi untuk melindungi sebuah rangkaian listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh kelebihan beban atau hubungan pendek. Gambar sebelah kiri adalah Circuit Breaker untuk tegangan tinggi (High Voltage) sedangkan gambar sebelah kanan adalah Circuit Breaker untuk tegangan rendah (Low Voltage)

4. Beban



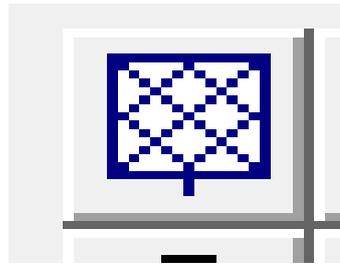
Gambar sebelah kiri adalah Static Load sedangkan gambar sebelah kanan adalah Lumped Load. Static Load adalah beban yang tidak banyak mengandung beban motor listrik sedangkan Lumped Load adalah gabungan antara Static Load dan Motor Load.

5. Bus AC



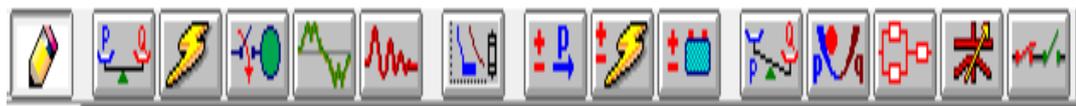
Tempat penyambung beberapa komponen sistem tenaga listrik seperti saluran transmisi, jaringan distribusi, Power Grid, dan generator.

6. Power Grid



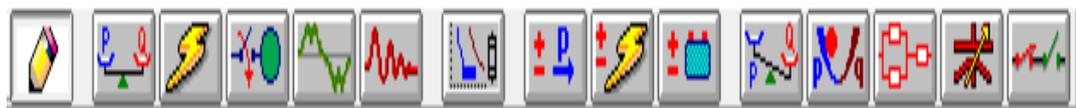
Sumber tegangan yang ideal yang mampu mensuplai daya dengan tegangan tetap sekalipun daya yang diserap cukup besar. Contoh dari Power Grid adalah Generator yang besar atau dari sebuah Gardu Induk.

2.14.2 Toolbar Untuk Analisa Sistem Tenaga Listrik



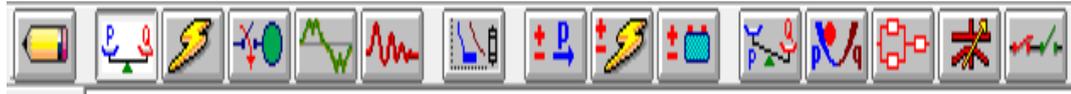
Berikut merupakan penjelasan toolbar yang dapat digunakan untuk analisa pada ETAP 12.6 Power Station dengan urutan dari kiri ke kanan:

1. Editing menu



Untuk melakukan editing pada SLD yang telah dibuat.

2. Load Flow Analysis (Analisa Aliran Daya)



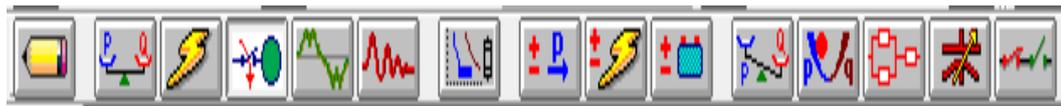
Analisa Aliran Daya digunakan untuk merencanakan dan mengetahui besar daya pada suatu sistem tenaga listrik.

3. Short Circuit Analysis (Analisa Hubung Singkat)



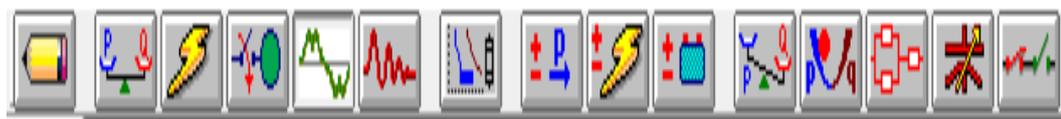
Analisa Hubung Singkat adalah suatu studi dan analisis terhadap sistem kelistrikan untuk menentukan besarnya arus yang dapat mengalir saat terjadi gangguan listrik dan membandingkan nilai tersebut dengan peringkat peralatan dan proteksi hubung singkat yang dipasang.

4. Motor Starting Analysis



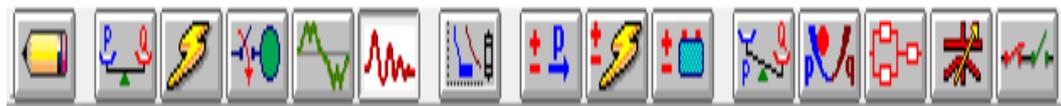
Untuk melakukan pemodelan Motor Starting.

5. Harmonic Analysis



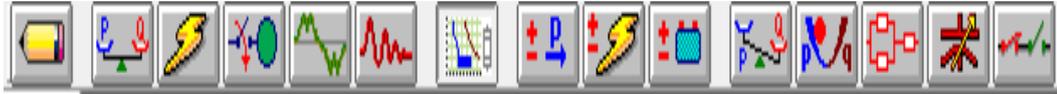
Untuk melakukan perhitungan analisa distorsi pada sistem tenaga listrik.

6. Transient Stability Analysis (Analisa Kestabilan Transien)



Analisa kestabilan transien yaitu suatu studi dan analisis respon sistem tenaga listrik terhadap gangguan seperti hilangnya pembangkitan dan perubahan beban mendadak dalam beberapa detik pertama setelah gangguan dan kemudian frekuensi mesin sinkron mengalami penyimpangan transien dari frekuensi sinkron. Tujuannya untuk memastikan sistem dapat kembali ke frekuensi sinkron setelah mengalami gangguan.

7. Relay Coordination



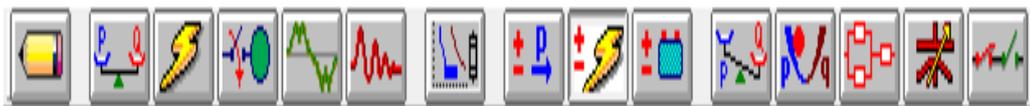
Untuk melakukan analisa koordinasi relay proteksi.

8. DC Load Flow Analysis



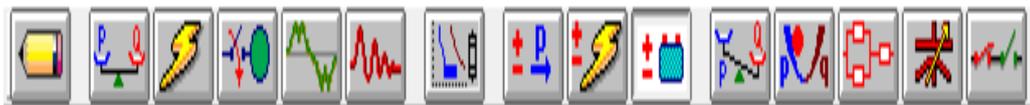
Untuk melakukan analisa aliran daya pada sistem tegangan DC.

9. DC Short Circuit Analysis



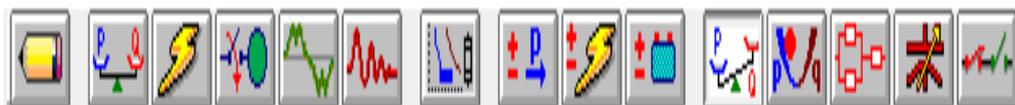
Untuk melakukan analisa hubung singkat pada sistem tegangan DC.

10. Batery Sizing



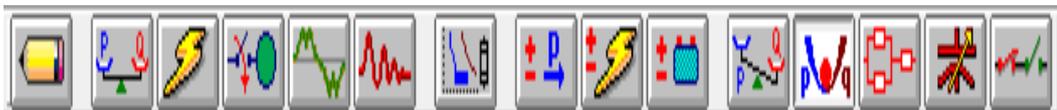
Untuk melakukan pemodelan ukuran baterai secara optimal.

11. Unbalanced Load Flow



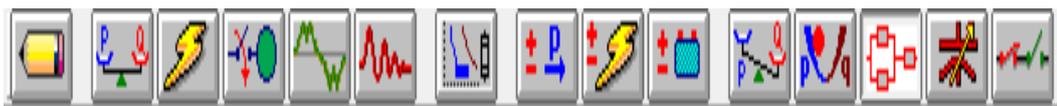
Untuk melakukan analisa aliran daya tiga fasa tidak seimbang.

12. Optimal Power Flow



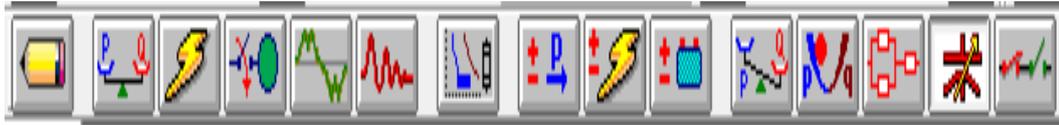
Untuk melakukan analisa aliran daya secara optimal dengan berbagai pertimbangan batasan.

13. Reliability Analysis



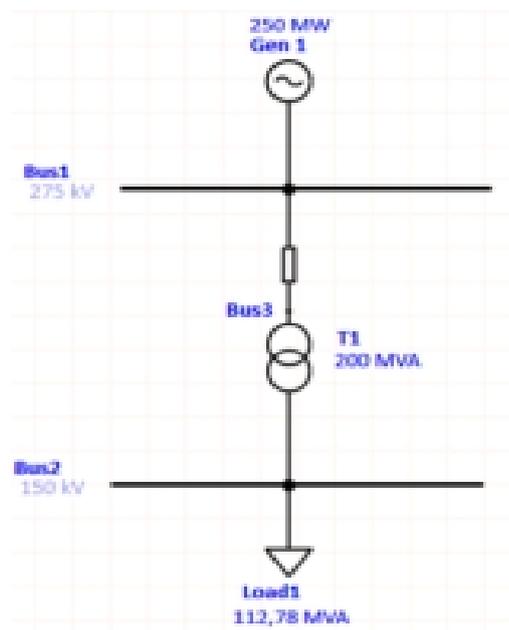
Untuk melakukan analisa keandalan sistem tenaga listrik.

14. Optimal Capacitor Placement

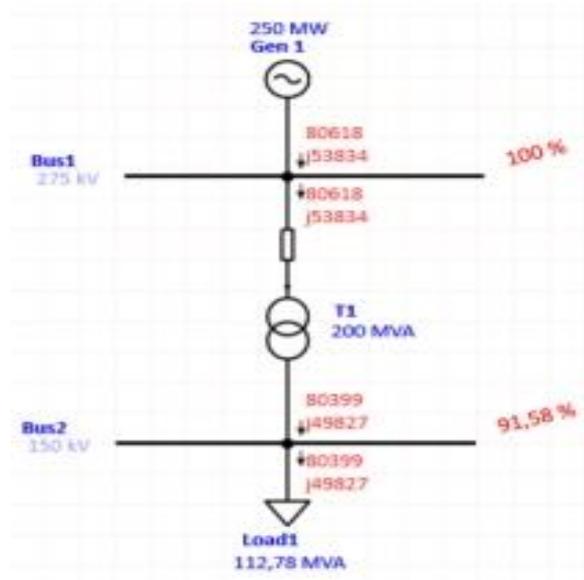


Untuk analisa penempatan kapasitor secara optimal

2.14.3 Rangkaian Percobaan



Gambar2. 20 Gambar Rangkaian sederhana



Gambar2. 21 Hasil Runing Percobaan Sederhana

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

Dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dilakukan di Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) Pasir Mandoge di

3.1.2 Waktu

Waktu pelaksanaan tugas akhir ini berlangsung dimulai dari November 2023 sampai April 2024 yang dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

NO	Uraian	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Kajian Literatur						
2	Penyusunan Proposal Penelitan						
3	Penulisan Bab 1 Samapai Bab 3						
4	Pengumpulan DataMesin Peras Tebu						
5	Analisa Data						
6	Seminar hasil						
7	Sidang Akhir						

3.2 Alat Dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang di gunakan untuk melakukan penelitian adalah sebagai berikut

1. Laptop
2. *Software ETAP 19.0.1*
3. Data peralatan sistem interkoneksi di PLTBg Pasir Mandoge
4. Single line jaringan distribusi Pasir Mandoge

3.3 Teknik Pengumpulan data

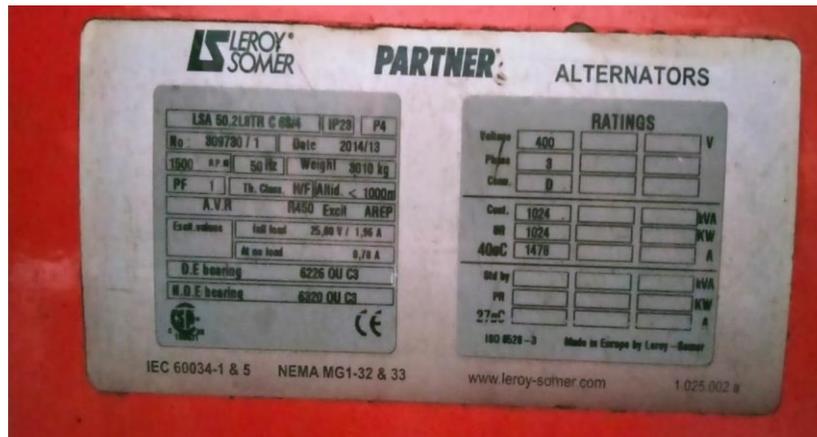
Teknik pengumpulan data yang dilakukan untuk memperoleh data primer berupa spesifikasi dari setiap peralatan listrik yang mendukung sistem interkoneksi listrik dengan teknik obsevasi. Selanjutnya, mengambil data jaringan ditribusi daerah Pasir Mandoge dan mensimulasikan dengan menggunakan software ETAP 19.0.1. Data yang di ambil meliputi :

1. Spesifikasi setiap peralatan yang mendukung sistem interkoneksi.
2. Data hasil energi yang di dihasilkan oleh setiap generator.

3.3.1 Spesifikasi Genset PLTBg Pasir Mandoge



Gambar 3. 1 Nameplat Gas Engine



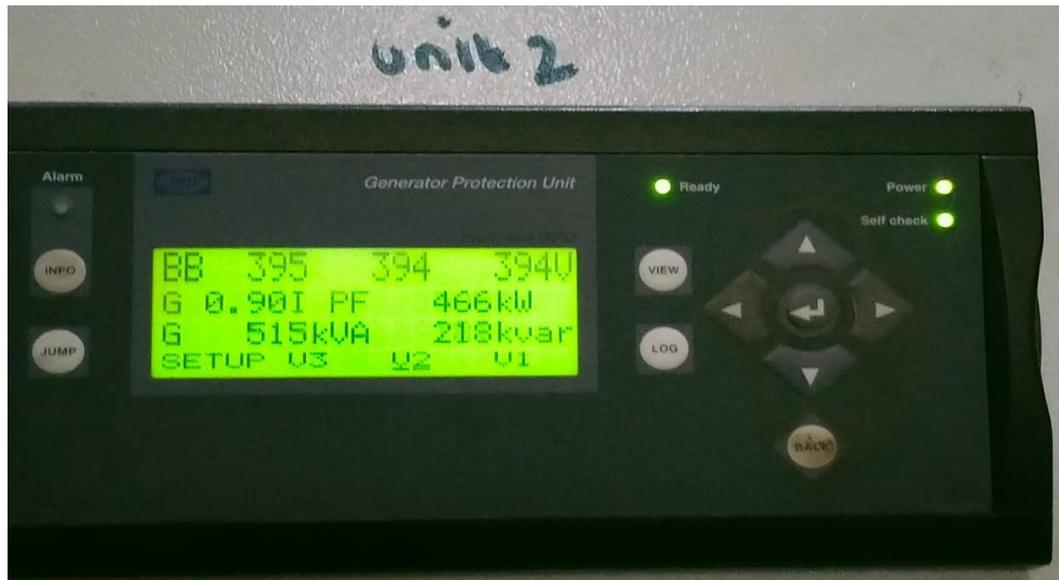
Gambar 3. 2 Name Plat Generator

Tabel 3. 2 Kapasitas Genset

Genset	Genset Running (rpm)	Power Setpoint (kwe)	Power Generator (kwe)	Partial Hours (h)	Total Hours (h)	Generated Energy (kwh)
G 1	1499	800	751	307	18802	15425308
G2	1500	575	528	306	19473	15855086



Gambar 3. 3 Output Generator 1



Gambar 3. 4 Output Generator 2

3.3.2 Data Beban Daerah Pasir Mandoge

Tabel 3. 3 Data Beban Daerah Mandoge

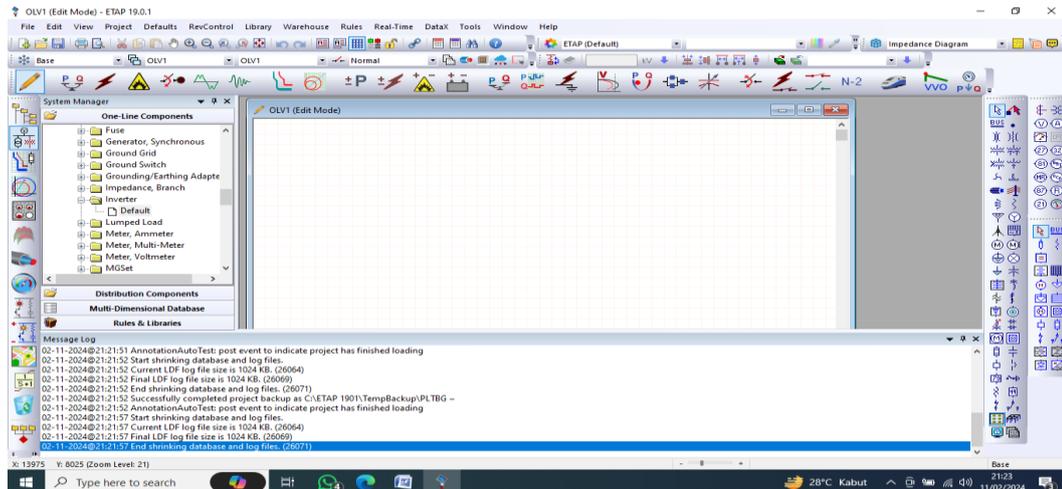
NO	Nama daerah	Kapasitas KVA	Jumlah phasa
1.	HT 024	25	3Ø
2.	HP001	25	3Ø
3.	HP002	25	1Ø
4.	HP003	64	1Ø
5.	HP020	16	1Ø
6.	HP021	16	1Ø
7.	HP004	16	1Ø
8.	HP005	25	1Ø
9.	HP006	16	1Ø
10.	HP023	100	3Ø
11.	HP007	50	3Ø
12.	HP200	25	3Ø
13.	HP008	50	3Ø
14.	HP022	50	3Ø
15.	HP009	64	1Ø
16.	HP025	100	3Ø
17.	HP011	100	3Ø

NO	Nama daerah	Kapasitas KVA	Jumlah phasa
18.	HP018	50	3Ø
19.	HP019	32	1Ø
20.	HP012	50	3Ø
21.	HP013	50	3Ø
22.	HP014	50	3Ø
23.	HP017	25	1Ø
24.	PM06	25	3Ø
25.	PM17	25	3Ø
26.	PM018	200	3Ø
27.	PM216	100	3Ø
28.	PM217	25	3Ø
29.	PM18	100	3Ø
30.	PM218	25	3Ø
31.	PM219	100	3Ø
32.	PM220	100	3Ø
33.	PM207	160	3Ø
34.	PM208	100	3Ø
35.	PM209	100	3Ø
36.	PM210	100	3Ø
37.	PM025	25	1Ø
38.	PM035	25	1Ø
39.	PM022	25	3Ø
40.	PM023	16	1Ø
41.	PM024	15	1Ø
42.	PM211	25	3Ø
43.	PM220	50	1Ø
44.	PM021	25	1Ø
45.	PM212	100	3Ø
46.	PM213	100	3Ø
47.	PM214	100	3Ø
48.	PM215	100	3Ø
49.	PM030	160	3Ø
50.	PM205	25	3Ø
51.	PM016	50	3Ø
52.	PM057	25	3Ø
53.	PM203	100	3Ø
54.	PM204	25	3Ø
55.	PM002	250	3Ø

NO	Nama daerah	Kapasitas KVA	Jumlah phasa
56.	PM058	25	3Ø
57.	PM003	50	3Ø
58.	PM004	50	3Ø
59.	PM200	25	3Ø
60.	PM026	50	3Ø
61.	PM005	50	3Ø
62.	PM006	50	3Ø
63.	PM059	25	3Ø
64.	PM042	50	3Ø
65.	PM07	100	3Ø
66.	PM041	50	3Ø
67.	PM008	25	3Ø
68.	PM009	50	3Ø
69.	PM028	50	3Ø
70.	PM060	25	3Ø
71.	PM010	50	3Ø
72.	PM011	50	3Ø
73.	PM012	66	3Ø
74.	PM061	25	3Ø
75.	PM013	50	3Ø
76.	PM201	25	3Ø
77.	PM014	100	3Ø
78.	PM015	10	1Ø
79.	PM027	25	3Ø
80.	PM202	25	3Ø
jumlah		4526	

3.4 Analisis menggunakan ETAP

Aplikasi ETAP di gunakan sebagai media simulasi untuk Analisa Aliran Daya (*Load Flow*). Dengan ini anda dapat mensimulasikan jaringan distribusi di daerah yang ingin teliti. Aplikasi ETAP dapat menampilkan nilai-nilai yang dapat memudahkan kita untuk menganalisis jaringan listrik di daerah yang ini kita analisis

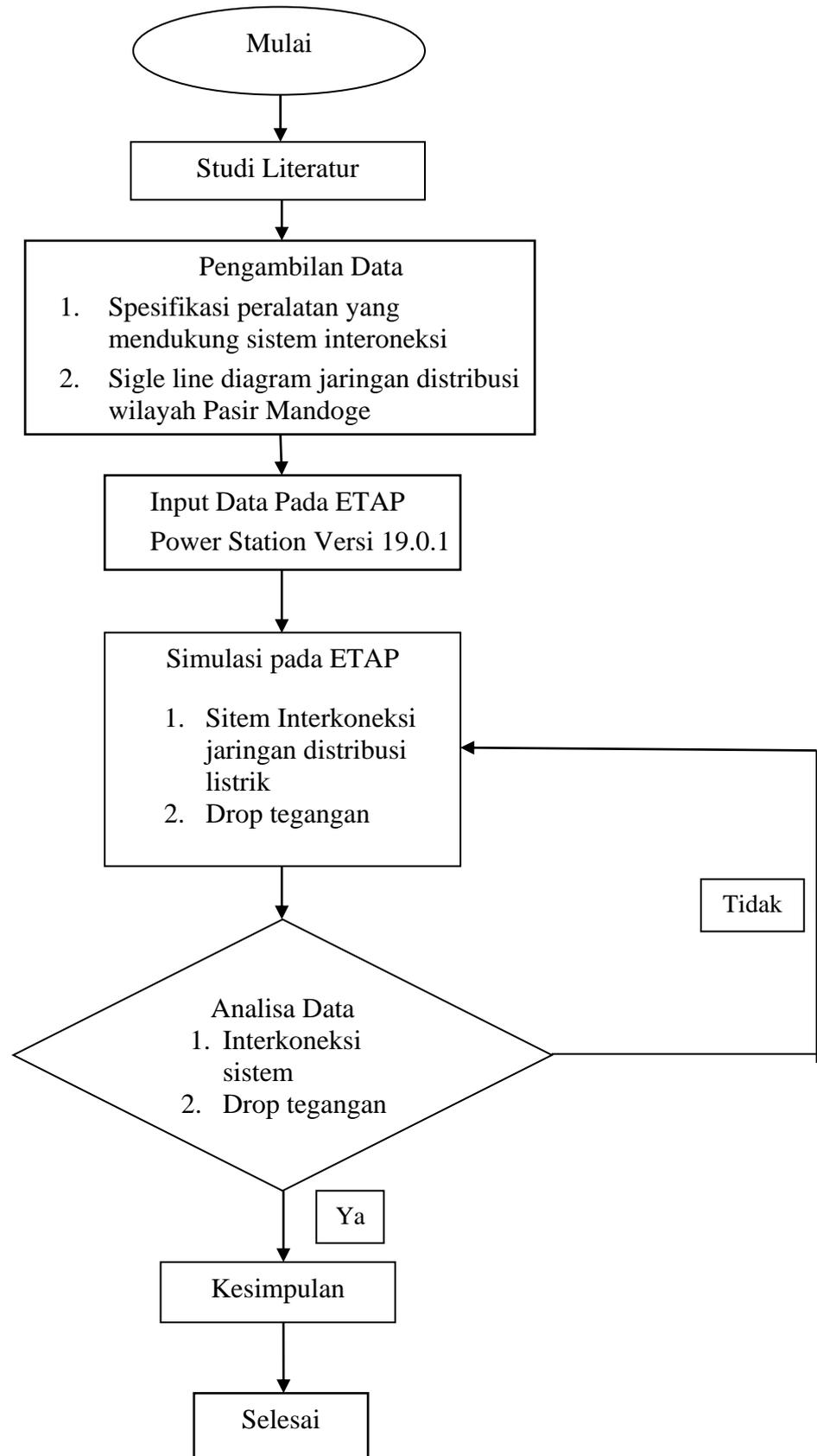


Gambar3. 1 Tampilan Awal ETAP Sebelum Menggambar

3.5 Prosedure Penelitian

Penelitian sistem interkoneksi PLTBg Pasir Mandoge ke jaringan distribusi 20 KV PT. PLN pengambilan data di rencanakan dan dilakukan pada bulan Februari sampai Desember 2024 bertempat di PT. Karya Mandoge Energi , Jl. Besar Pasir Mandoge Emplasmen PTPN IV, Desa Bandar Pasir Mandoge, Kabupaten Asahan Provinsi Sumatra utara Menggunakan metode kuantitatif dengan simulasi Komputer. Adapun langkah-langkah yang harus di lakukan dan di ketahui Penulis dalam pelaksanaan tugas akhir ini yaitu sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat dan bahan penelitian.
2. Mengambil data pada peralatan yang mendukung sitem interkoneksi PLTBg Pasir Mandoge
3. Melakukan simulasi pada ETAP dengan memasuk kan data yang sudah di ambil.
4. Melakukan analisa dan evaluasi hasil pada jaringan listrik yang sudah di simulasikan pada ETAP.
5. Mengambil kesimpulan dari hasil analisis yang telah di laksanakan.
6. Selesai , berikut diagram Alir serta proses penelitian dapat di liat pada gambar berikut.



Gambar3. 2 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi Aliran Daya Menggunakan *Software* Etap 2019

Pengambilan data dilakukan berdasarkan daya keluaran dari 2 generator di PLTBg yang berupa Arus, tegangan dan $\cos\phi$. Setelah itu pengambilan data dari peralatan yang mendukung interkoneksi jaringan listrik.

Tekan tombol Start pada layar HMI (Human-Machine Interface) untuk menyalakan engine. Mesin akan melalui dua tahap kecepatan: Idle dan Stabilizing. Setelah stabil, periksa RPM yang seharusnya berada di kisaran 1495-1505 rpm. Jika terjadi fluktuasi (engine hunting), sesuaikan komposisi gas metana. Setelah parameter seperti RPM, suhu manifold, dan tegangan generator sudah sesuai, lakukan proses sinkronisasi dengan menekan tombol manual di HMI. Jika kondisi sudah terpenuhi, PLC akan memerintahkan ACB (Air Circuit Breaker) untuk menutup (close), sehingga generator akan tersinkron dengan grid.

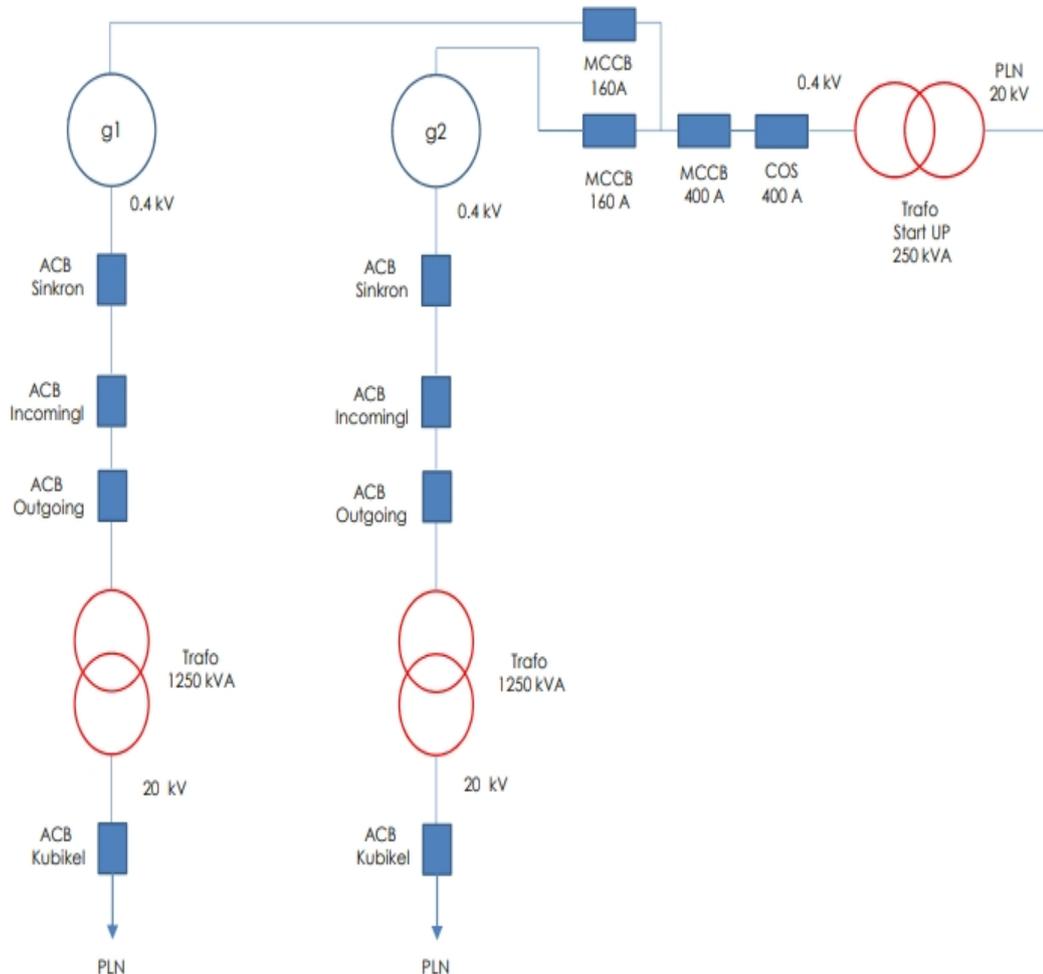
Setelah sinkronisasi berhasil, beban generator dapat dinaikkan secara bertahap (per 50 kWe) melalui layar HMI. Dengan menambah kecepatan blower pada sistem Biogas Plant, dan jaga tekanan gas di minimal 100 mBar.

Interkoneksi antara PLTBg Pasir Mandoge ke jaringan distribusi PLN dilakukan melalui tahap – tahap yang harus sesuai prosedur yaitu :

1. Penstabilan daya yang dikeluarkan oleh masing – masing generator
2. Melakukan sinkronisasi tegangan yang ada pada jaringan distribusi PLN minimal 17,8 KV/18 KV yang ditentukan oleh pihak PLTBg
3. Frekuensi yang sama yaitu 50 Hz dan memiliki sudut fasa yang sama.
4. Setelah sinkron maka dapat dilihat pada *syncroscop* kemudian dapat dikoneksikan ke jaringan distribusi

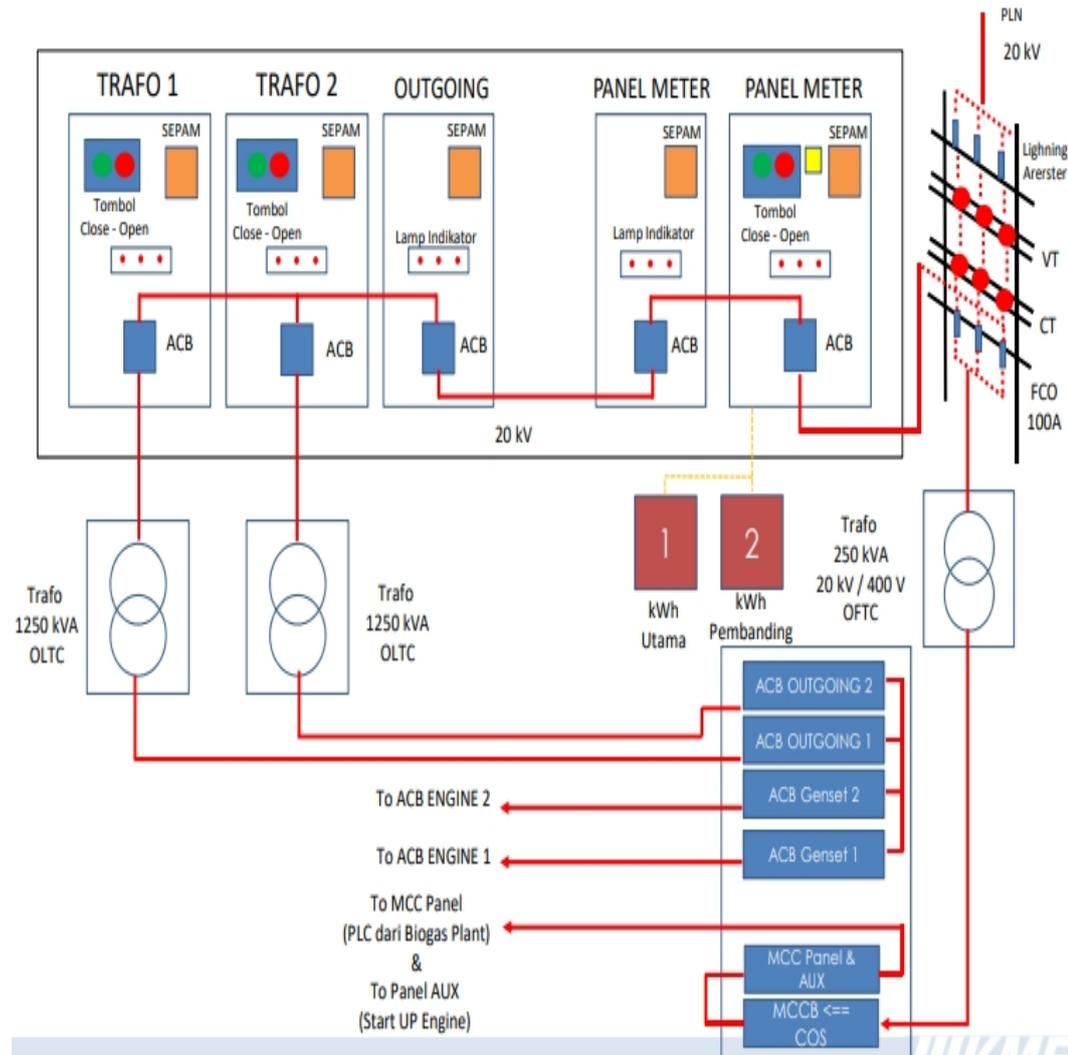
Pada gambar 4.1 Blok diagram PLTBG Pasir Mandoge terlihat susunan peralatan listrik yang didukung beberapa sistem proteksi. Trafo mengubah energi dari tegangan tinggi (20 kV) ke tegangan rendah (400 V) menggunakan prinsip induksi magnet selanjutnya diamankan dengan Circuit Breaker guna melindungi peralatan listrik dari kerusakan akibat over current atau arus berlebih dengan memutus aliran listrik secara.

otomatis. Terdapat tiga buah proteksi berbentuk ACB pada masing – masing keluaran generator sebelum di alirkan ke trafo.



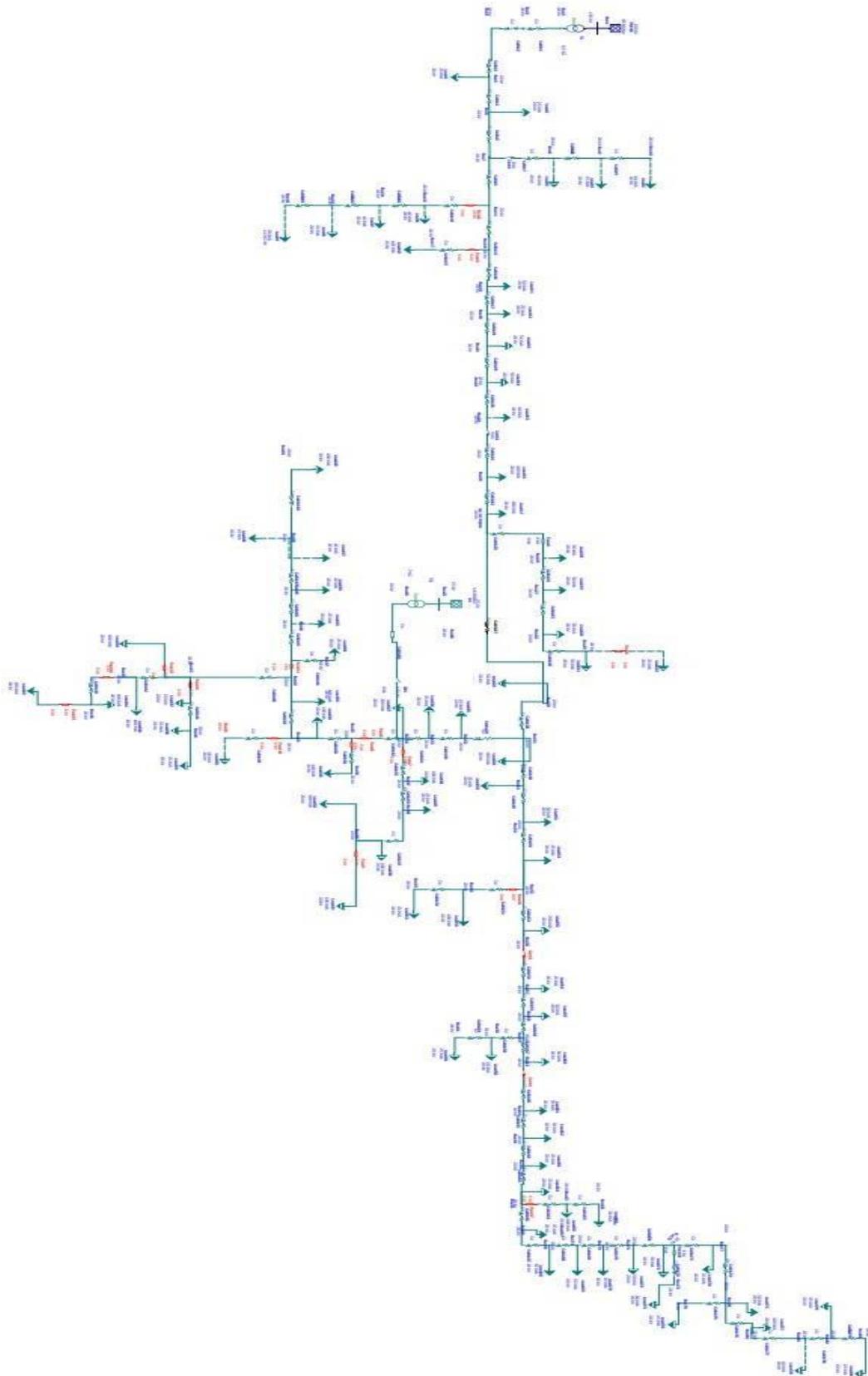
Gambar 4. 1 Blok Diagram Pltbg Pasir Mandoge

Sistem kelistrikan pada Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBG) Mandoge terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja secara sinergis untuk menghasilkan dan mendistribusikan energi listrik. Layout ini menunjukkan penempatan fisik trafo, panel meter, ACB, dan komponen lainnya dalam sistem. Penjelasan tentang bagaimana sistem ini dihubungkan dan berinteraksi satu sama lain, termasuk penghubung ke panel kontrol dan panel start-up engine.



Gambar 4. 2 Elekrical System PLTBG

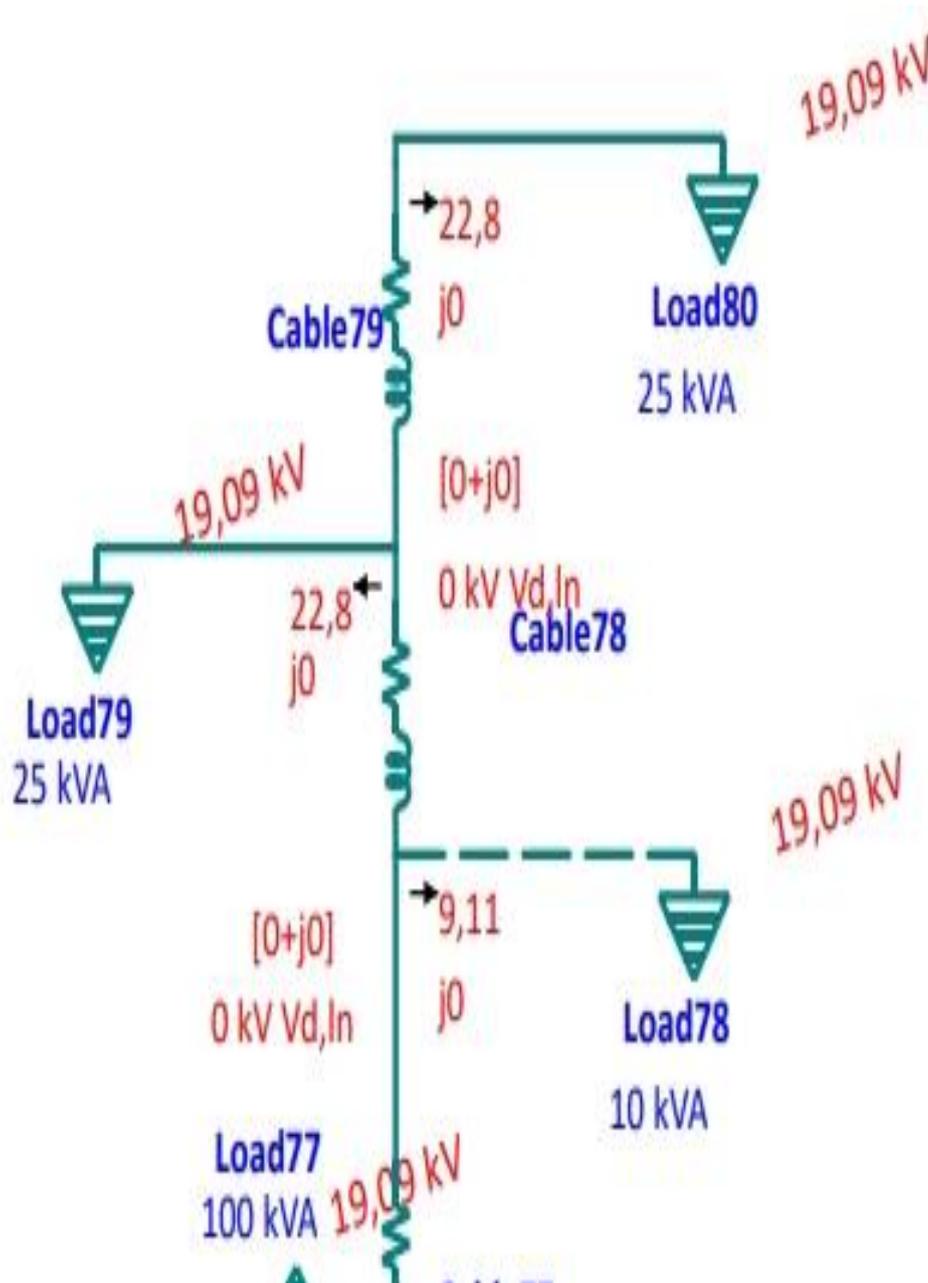
Metode yang dilakukan dengan cara merangkai jaringan distribusi dari jaringan distribusi Pasir Mandoge ke jaringan PLN, dengan panduan single line yang di dapat dari PLTBg Pasir Mandoge dan akan di gambar di *software* ETAP 2019. Setelah menggambar *one line diagram* kemudian memasukkan nilai-nilai beban yang ada pada single line dengan standar IEC dengan nilai frekuensi 50 Hz dalam standar Indonesia. Analisis ini membantu memastikan bahwa tegangan yang diterima oleh beban di ujung sistem masih berada dalam batas yang dapat diterima.



Gambar 4. 3 Sebelum Running Pada ETAP

4.2 Besar Tegangan Di Jaringan Distribusi 20 KV

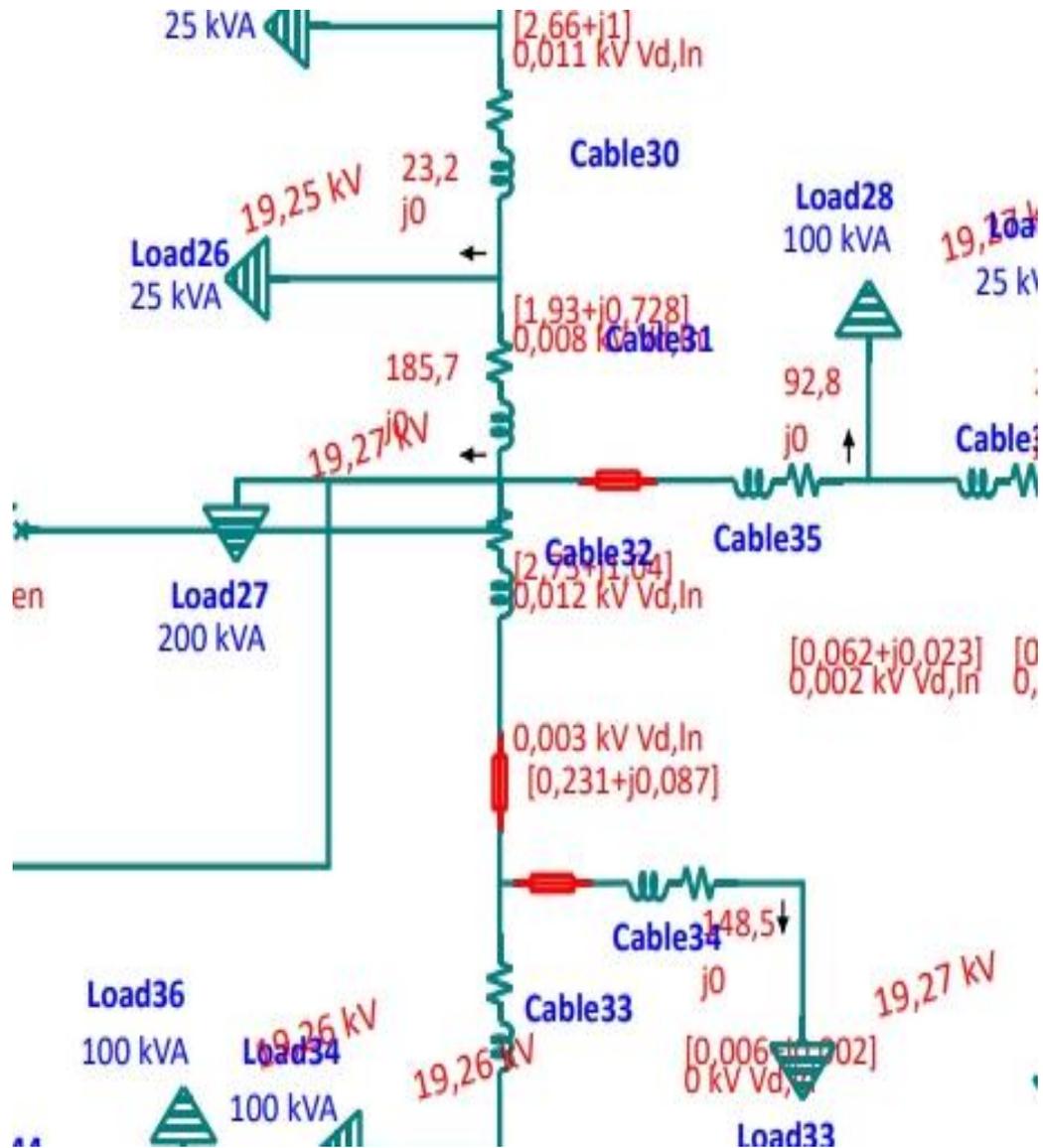
Tegangan dari hasil running menggunakan etap sebelum perbaikan tegangan terjadi drop tegangan yang tidak merata. Drop terendah di bus 83 mencapai 19,09 KV yang di berada di penghujung jaringan.



Gambar 4. 4 Titik Terendah Drop Tegangan

Tegangan yang paling tinggi sebelum perbaikan tegangan masih di 19,27 KV. Hal ini disebabkan karena jarak yang cukup jauh dan banyak nya pepohonan

yang berada di sepanjang jaringan distribusi 20 KV daerah Pasir Mandoge. Fluktuasi tegangan yang terjadi pada peralatan listrik dapat menyebabkan drop tegangan yang kerap terjadi di jaringan distribusi.



Gambar 4. 5 Titik Tegangan Tertinggi Sebelum Perbaikan

4.3 Besar Drop Tegangan Yang Terjadi Di Jaringan Distribusi

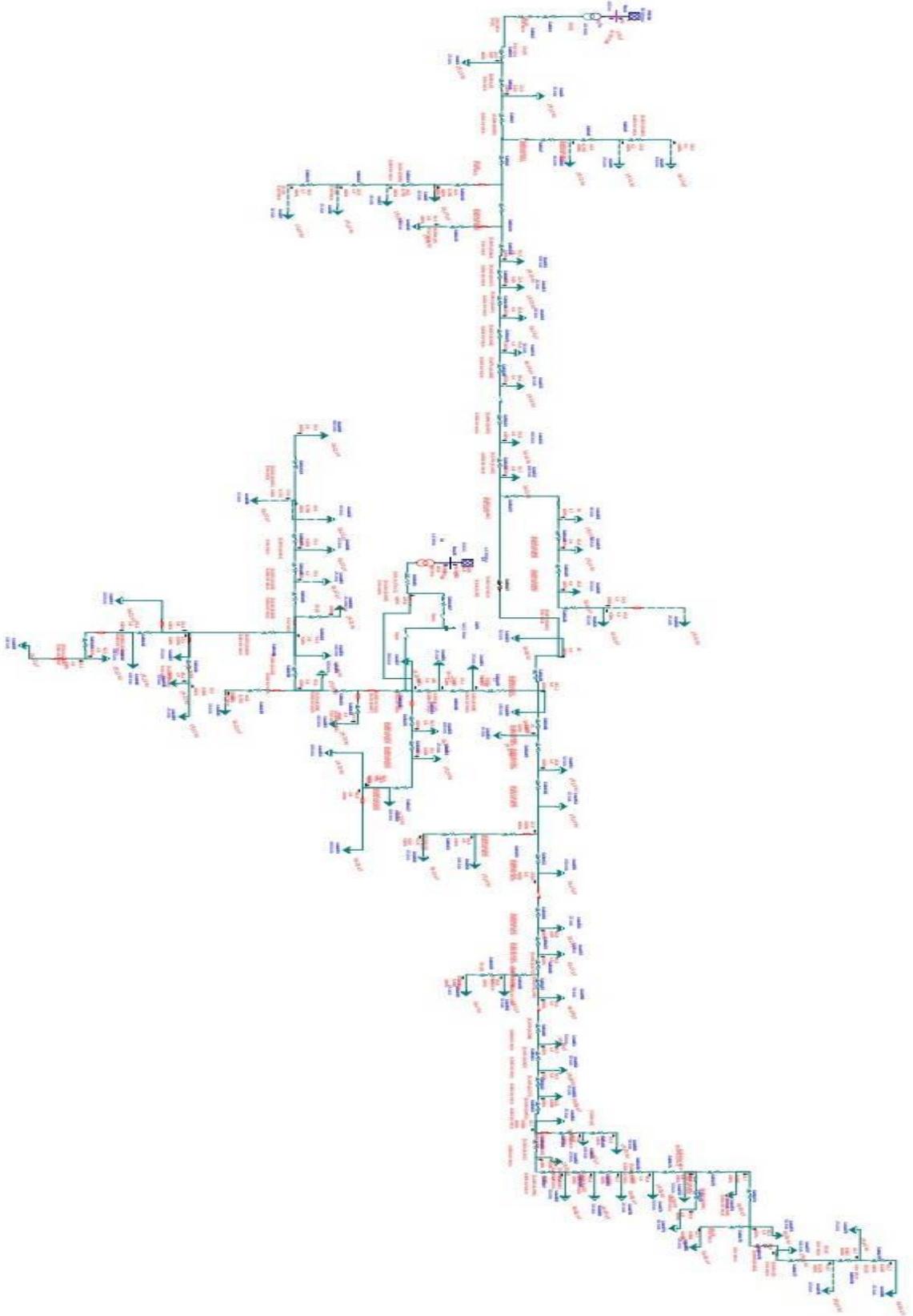
Besar drop tegangan setelah di running mencapai 1 KV (1000 Volt) di bus 83 sehingga di khawatirkan dapat mengurangi kepuasan pelanggan di saat terjadinya beban puncak dan dapat terjadinya redupnya penerangan yang ada pada penghujung jaringan distribusi.

Drop tegangan yang kerap terjadi akibat perubahan beban yang tidak konstan sehingga lonjakan yang terjadi dapat mempengaruhi kestabilan tegangan. PTPN IV memiliki motor-motor dengan kapasitas cukup besar dan membutuhkan daya tujuh kali lebih besar saat melakukan starting, guna melayani kebutuhan industri kelapa sawit maka dari itu lonjakan – lonjakan yang kerap terjadi mengakibatkan drop tegangan.

Drop tegangan yang terjadi dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik terutama motor - motor listrik yang ada di pabrik – pabrik sekitar Pasir Mandoge. Pengaruh lingkungan yang terjadi di sepanjang jaringan distribusi seperti suhu yang tinggi yang dapat meningkatkan resistansi konduktor dapat menyebabkan penurunan tegangan.

Analisis aliran daya digunakan untuk menghitung distribusi tegangan, arus, dan daya di seluruh jaringan distribusi 20 kV. Ini membantu memastikan bahwa semua bagian sistem menerima tegangan yang memadai dan beban didistribusikan secara merata.

PLTBg sendiri memiliki sistem incoming dan outgoing yang berarti sebelum beroperasi pembangkit tersebut juga membutuhkan energy listrik dari distribusi PLN agar bisa beroperasi untuk melakukan starting generator sampai bisa beroperasi sebagaimana mestinya .



Gambar 4. 6 Setelah Runing Sebelum Perbaikan Voltage

4.4 Besar Tegangan Jaringan Distribusi Setelah Perbaikan

Hasil simulasi yang dilakukan menggunakan Software ETAP 2019 dengan menambah kapasitor bank dengan kapasitas generator kurang lebih sekitar 1,6 Mvar membutuhkan $12,73 \mu F$ untuk dapat dapat meng up tegangan hingga 1,02 KV (1020 volt) maka tegangan di titik tertinggi berada di 20,3 KV dan titik terendah voltage berada di 20,1 KV yang berada di penghujung jaringan distribusi Pasir Mandoge.

Capacitor Editor - CAP1

Info Rating Cable/Vd Cable Amp Reliability Remarks Comment

20 kV 4 x 0.4 Mvar 3-1/C 35 mm² 0.7 kV

Rating

kV: 20 Mvar / Bank: 0.4 # of Banks: 4 Mvar: 1.6 Amps: 46.19

Max. kV: 21

Mvar Bank # x Mvar

microfarad: 12.73 Xc (ohms): 250

Grounding

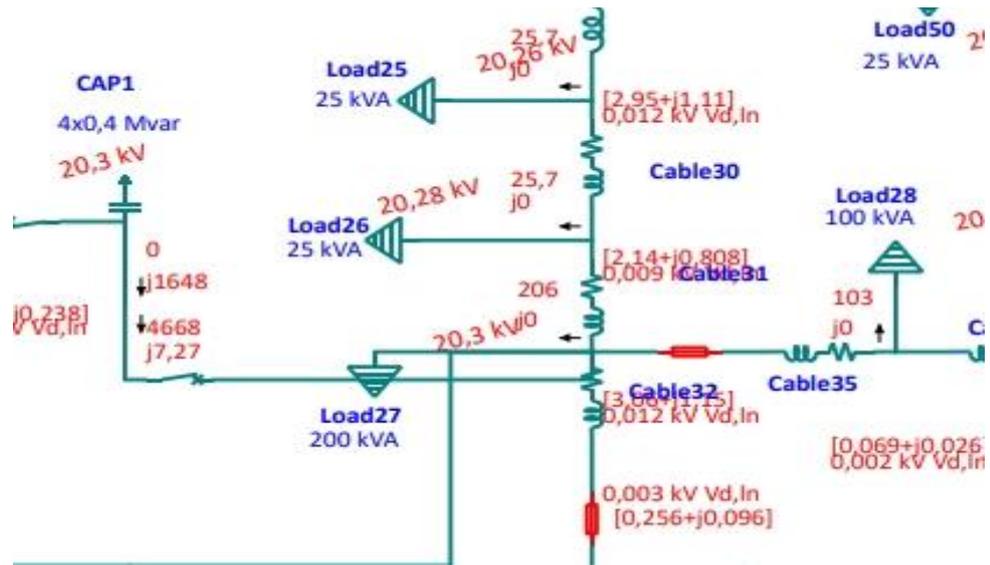
Loading

Loading		Capacitor		Feeder Loss	
Category	%	Mvar	MW	Mva	
1 Design	100	-1.6	0	0	
2 Normal	100	-1.6	0	0	
3 Brake	100	-1.6	0	0	
4 Winter Load	100	-1.6	0	0	
5 Summer Load	100	-1.6	0	0	
6 FL Reject	100	-1.6	0	0	
7 Emergency	100	-1.6	0	0	
8 Shutdown	100	-1.6	0	0	
9 Accident	100	-1.6	0	0	

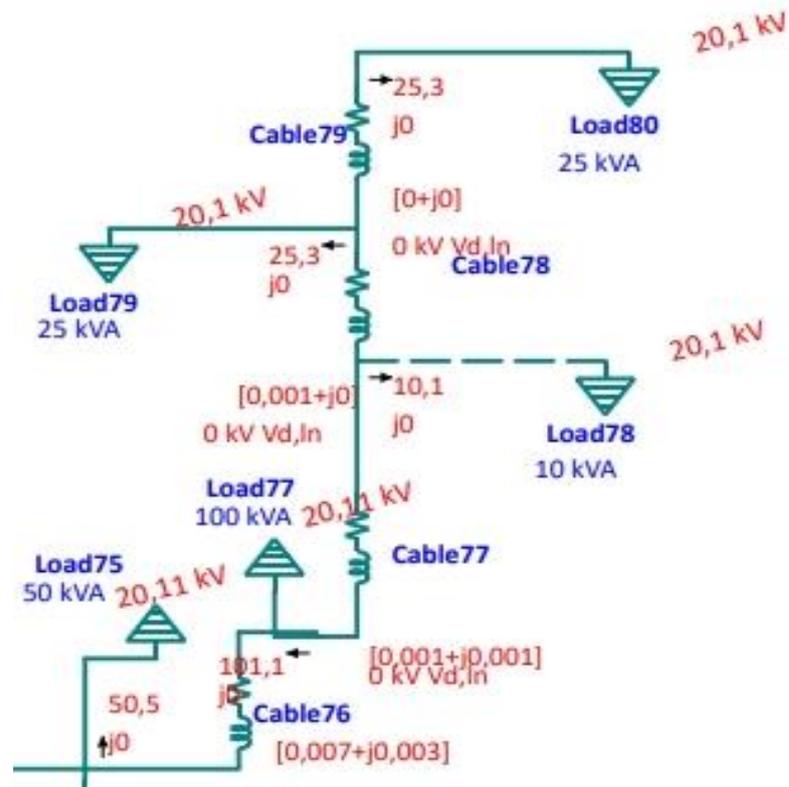
Operating Load: MW 0 +j Mvar -1.648

OK Cancel

Gambar 4. 7 Spesifikasi Kapasitor Bank



Gambar 4. 8 Titik Tertinggi Setelah Perbaikan Tegangan

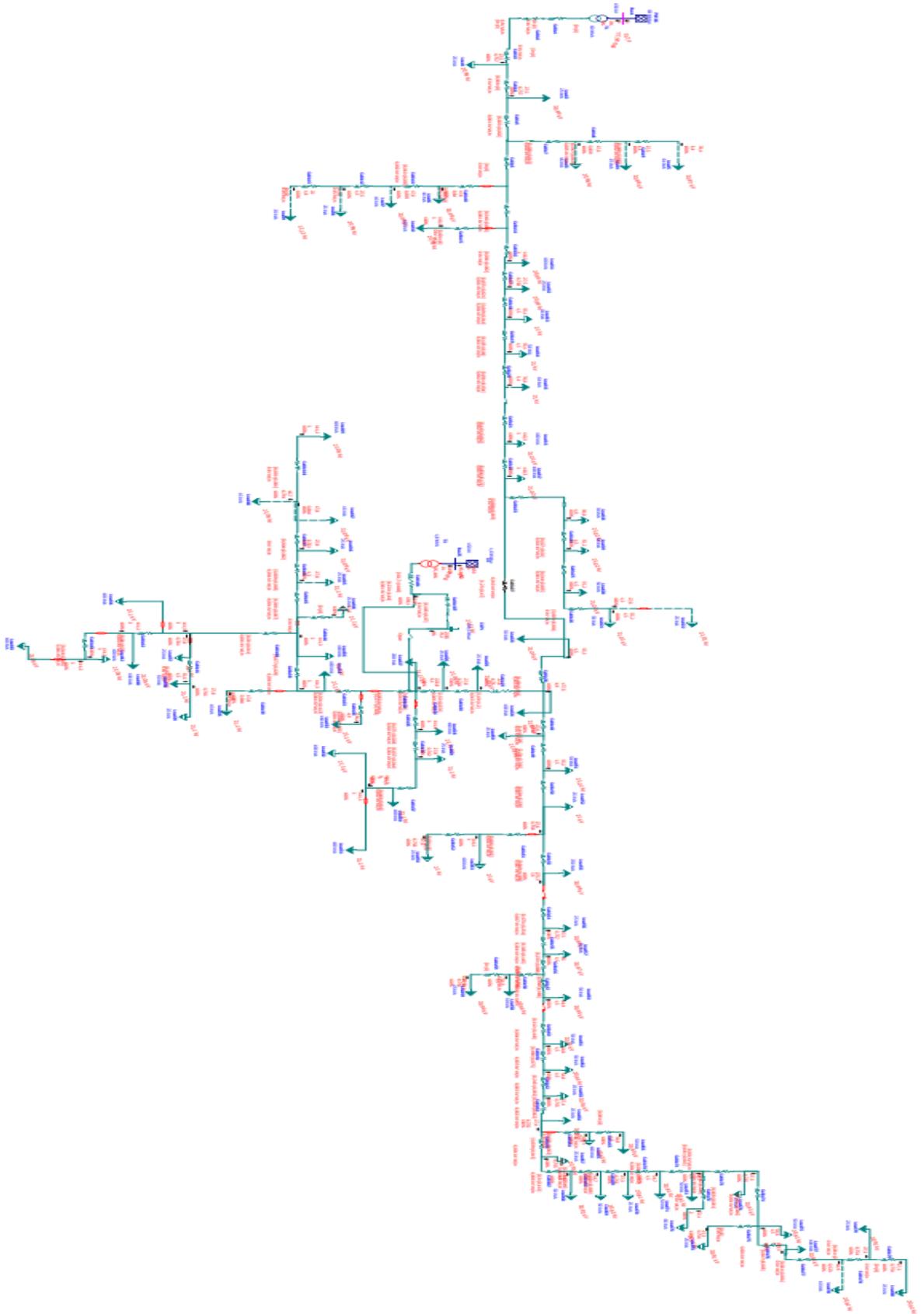


Gambar 4. 9 Titik Terendah Setelah Perbaikan Tegangan

Setelah perbaikan tegangan dari bus 2 sampai bus 30 memiliki range tegangan 20,24 KV sampai 2.3 KV kemudian dari bus 31 sampai bus 56 yang tepatnya di depan kantor PLN Mandoge range tegangan berada di 20.18 sampai 20.3 di titik bus 34 yaitu outgoing dari PLTBg Pasir Mandoge. Dari bus 57 sampai bus 83 yang berada di penghujung jaringan distribusi PLN yaitu Buntu Pane batas kwh PM06 berada di range tegangan 20,17 di titik tertinggi dan 20,1 di titik terendah

PLTBg yang memiliki kapasitas maksimal sebesar 2x1 MW (Mega Watt) namun beroperasi sekitar 700 – 800 kw setiap generator. Outgoing dari generator maksimal voltage sebesar 400 voltage masing – masing maka outgoing melakukan up tegangan hingga 20 KV agar dapat beroperasi dan terkoneksi ke jaringan distribusi PLN menggunakan trafo OTC (Online Tap Changer) yang dapat mengup voltage jika terjadinya beban berlebih tanpa harus mematikan aliran listrik terlebih dahulu.

Up voltage dari trafo di lanjutkan ke busbar sebelum di distribusikan dan melewati beberapa sistem proteksi sebagai pengamanan peralatan listrik yang ada di pltbg ketika terjadi arus balik dan over voltage yang akan di terima oleh pabrik dengan menggunakan *double security* yaitu FOC (Fuses Of Cut) yang berada di tiang distribusi dan menggunakan ACB (*Air Circuit Breaker*) yang berada di busbar 20 KV PLTBG Pasir Mandoge. Drop voltage yang terjadi akan terlihat dari alat ukur yang ada pada PLTBg Pasir Mandoge yang dapat di lihat dan di kontrol melalui layar HMI (*Human-Machine Interface*) sehingga dapat mengetahui penyebab drop voltage yang terjadi di sebabkan gangguan lingkungan atau gangguan pada PLTBg itu sendiri.



Gambar 4. 10 Running Setelah Perbaikan Voltge

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa perhitungan yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Synchronisasi dapat terjadi setelah memenuhi beberapa syarat seperti minimal KV untuk sinkronisasi PLTBg ya itu 17,8 KV/ 18 KV, memiliki sudut fasa yang sama, dan memiliki frekuensi yang sama.
2. Pada saat terjadi drop tegangan, besar tegangan pada bus 70 adalah 19,1 KV namun setelah dilakukan perbaikan naik menjadi 20,12 KV. Setelah penambahan kapasitor bank pada bus 88 sebesar 1,6 Mvar maka tegangan meningkat menjadi 20,12 KV

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya khususnya penelitian yang berhubungan dengan analisa aliran daya yaitu drop voltage pada sistem kelistrikan jaringan distribusi Pasir mandoge, dilakukan penambahan dari pembangkit lain yang terhubung dengan bus dan jaringan distribusi tersebut.
2. Disarankan untuk lebih memperhatikan jaringan ditribusi yang terhambat oleh pepohonan yang dapat menyebabkan loses yang lebih besar.
3. Melakukan perawatan rutin pada peralatan listrik shingga tidak menyebabkan kecewa pada konsumen karena ada nya pemadaman listrik .
4. Selain itu aspek teknologi yang terus berkembang agar di manfaatkan untuk memudahkan perawatan jaringangan ditribusi yang lebih baik dan lebih efisien.
5. Untuk penelitian selanjutnya penulis di harapkan memberikan saran untuk pengembangan lebih lanjut tentang analisis drop voltage pada jaringangan distribusi .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ramadhan *et al.*, “Studi penyambungan pembangkit listrik tenaga biogas sawit pada gardu hubung meliau di kabupaten sanggau,” *Tek. elektro*, 2014.
- [2] B. T. Aribowo, S. Setiawidayat, and M. Muksin, “Simulasi dan Analisis Load Flow Sistem Interkoneksi Kalimantan Timur Menggunakan Software ETAP 12.6,” *J. Ilm. Giga*, vol. 8, no. 1, pp. 114–121, 2018.
- [3] M. Mujiburrahman, “Analisis Tegangan Jatuh (Drop Voltage) Pada Unit Boiler Di Ppsdm Migas Cepu Menggunakan Etap 12.6.0,” *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 3, pp. 757–768, 2021.
- [4] PT.PLN (Persero), “Pedoman Penyambungan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Ke Sistem Distribusi PLN,” *Keputusan Direksi PT. PLN*, vol. 0357,K/DIR, no. 0357, pp. 1–65, 2014.
- [5] U. Faruq, A. Ridho, M. Vrayulis, and E. Julio, “Analisa Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik menggunakan ETAP 12.6,” *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 6, no. 1, pp. 16–22, 2021, doi: 10.31849/sainetin.v6i1.7031.
- [6] I. Darmana, “Analisa Aliran Beban dalam Rangka Persiapan Interkoneksi Sistem PLTMH di Durian Tibarau Pasaman Barat,” vol. 10, no. 1, pp. 82–88, 2023.
- [7] K. Asmarandani, S. Sucipto, and A. S. Wardani, “Sistem Informasi Inventory Alat Perlindungan Diri Di PT. Karya Mas Energi,” *JIIFKOM (Jurnal Ilm. Inform. dan Komputer)*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2023, [Online]. Available: <https://www.sttrcepu.ac.id/jurnal/index.php/jiifkom/article/view/246>
- [8] A. A. PRAYOGI, “Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 KV Pada Penyulang Selapan Jaya dan Penyulang Jahe di PLTBg PT.Sampoerna Agro,” *J. Surya Energy*, vol. 6, no. 1, p. 25, 2022, doi: 10.32502/jse.v6i1.3105.
- [9] B. Buasan, A. Armawi, and E. Martono, “Peran Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dalam Mewujudkan Ketahanan Energi Wilayah (Studi di Kecamatan Dendang, Kabupaten Belitung Timur, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung),” *J. Ketahanan Nas.*, vol. 22, no. 3, pp. 241–254, 2016.
- [10] M. Tamoor, M. S. Tahir, M. Sagir, M. B. Tahir, S. Iqbal, and T. Nawaz, “Design of 3 kW integrated power generation system from solar and biogas,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 23, pp. 12711–12720, 2020, doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.02.207.
- [11] J. M. Zepter, J. Engelhardt, T. Gabderakhmanova, and M. Marinelli, “Empirical validation of a biogas plant simulation model and analysis of biogas upgrading potentials,” *Energies*, vol. 14, no. 9, 2021, doi: 10.3390/en14092424.
- [12] Agus Sugiyono, Adiarso Adiarso, Ratna Etie Puspita Dewi, Yudiartono Yudiartono, Agung Wijono, and Niken Larasati, “Analisis Keekonomian Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari Pome Dengan Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR),” *Maj. Ilm. Pengkaj. Ind.*, vol. 13, no. 1, pp. 75–84, 2023, doi: 10.29122/mipi.v13i1.3232.
- [13] B. Winardi, H. Winarno, and K. R. Aditama, “Perbaikan Losses dan Drop Tegangan PWI 9 Dengan Pelimpahan Beban ke Penyulang Baru PWI 11 di

- PT PLN (Persero) Area Semarang,” *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 18, no. 2, pp. 64–69, 2016.
- [14] T. J. Pramono, S. Soewono, and T. Elektro, “Analisis Drop Tegangan Pada Jaringan Tegangan Menengah,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 10, pp. 26–37, 2018.
- [15] D. Di and P. T. Pln, “Analisa Rugi – Rugi Daya Pada Jaringan,” 2015.
- [16] P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, U. L. Kuning, and J. Yos, “Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Satu Fasa Akibat Perubahan Besaran Kapasitor,” vol. 4, no. 2, pp. 40–47, 2020.
- [17] R. Rimbawati, P. Harahap, and K. U. Putra, “Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator (Aplikasi Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Fakultas Teknik-Umsu),” *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 37–44, 2019, doi: 10.30596/rele.v2i1.3647.
- [18] U. Wiharja and A. Malik, “Analisis Drop Voltage Dengan Menggunakan Simulasi Etap Pada Pembangkit Tenaga Listrik Timor-1 Kupang,” vol. 10, no. 2, 2022.
- [19] B. Aldrian, “TERMINAL,” vol. 7, pp. 4219–4226, 2024.
- [20] A. N. Achadiyah, N. D. Irawan, and Y. D. Y. Bramasta, “Remote Terminal Unit (RTU) SCADA pada Kubikel Tegangan Menengah 20kV,” *Metrotech (Journal Mech. Electr. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2022, doi: 10.33379/metrotech.v1i1.947.

LAMPIRAN



Nameplat Gas Engine



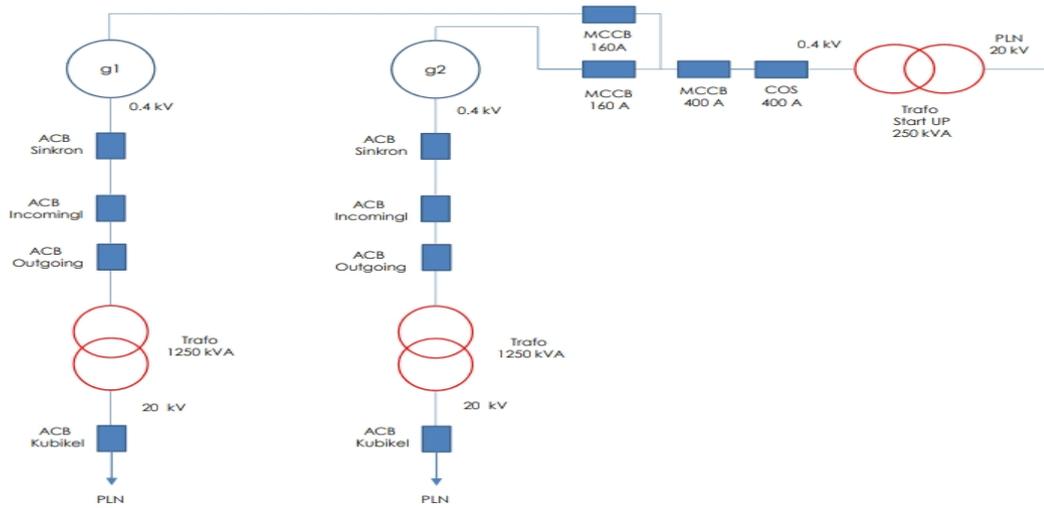
Name Plat Generator



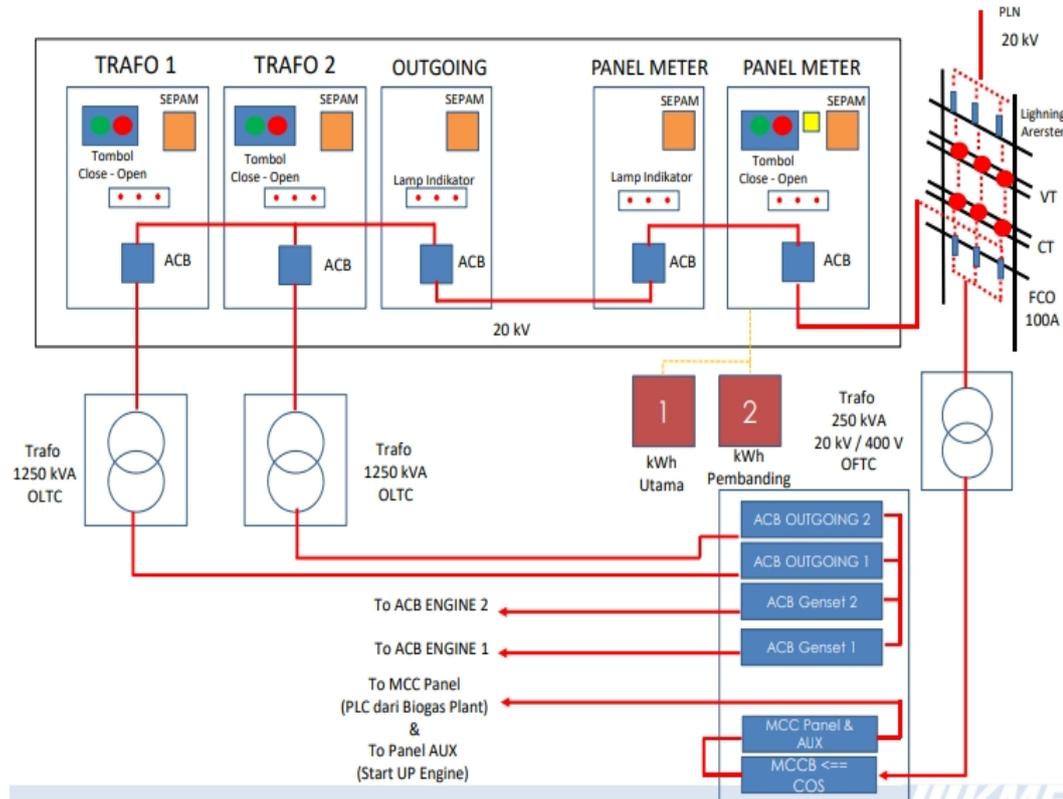
Output Generator 1



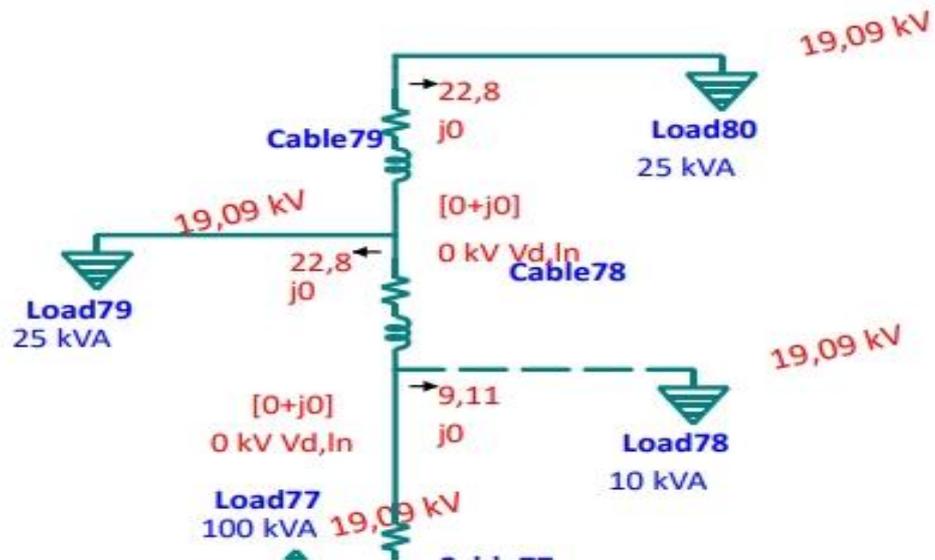
Output Generator 2



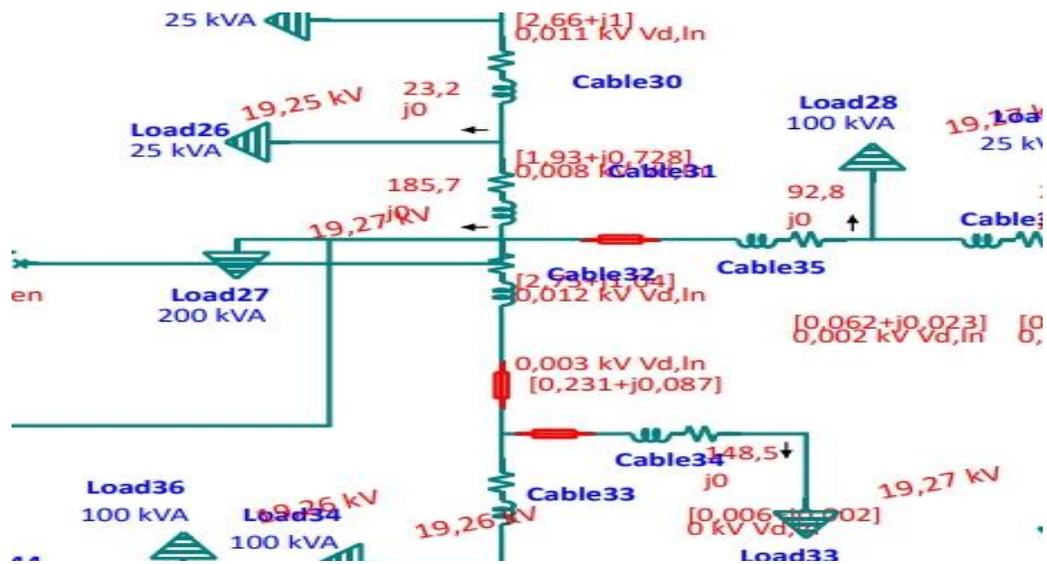
Blok Diagram Pltbg Pasir Mandoge



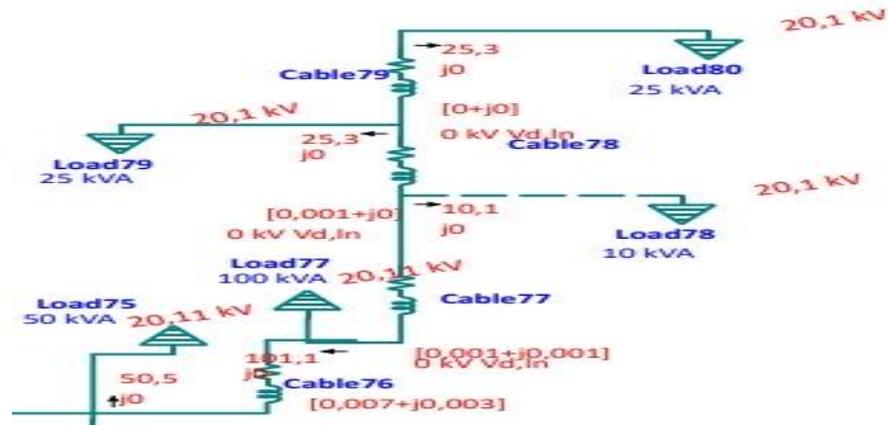
Elektrical System PLTBG



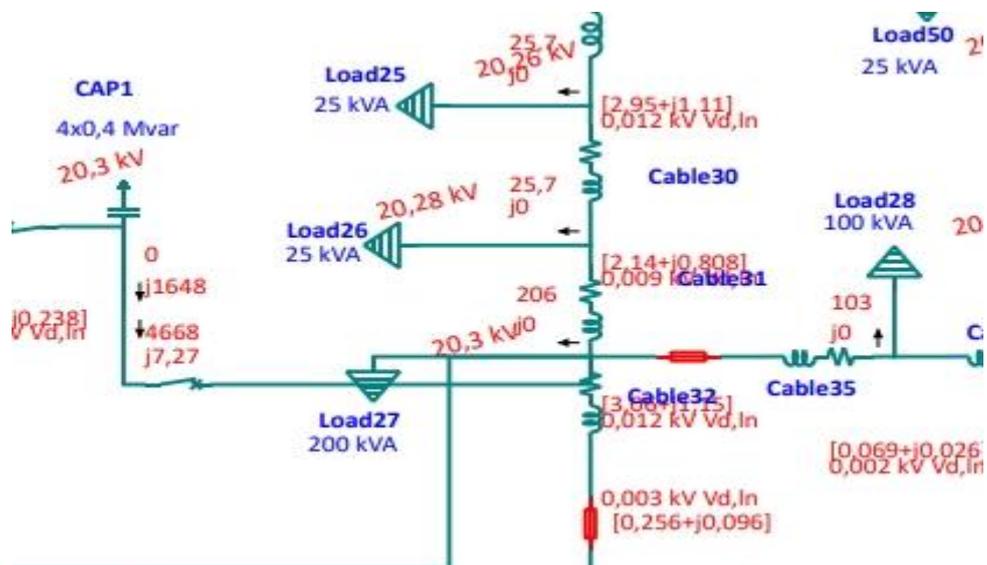
Titik Terendah Drop Tegangan



Titik Tegangan Tertinggi Sebelum Perbaikan



Titik Terendah Setelah Perbaikan Tegangan



Titik Tertinggi Setelah Perbaikan Tegangan

DAFTARRIWAYATHIDUP



DATAPRIBADI

Nama : Akmal Kusnaldi
Alamat : Jl. Jamin ginting, LK I Tanjung balai
JenisKelamin : Laki-Laki
Umur : 22Tahun
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Tempat,Tgl. Lahir : Tanjungbalai,22 Juni 2002
Tinggi/BeratBadan : 164/62
Kewarnegaraan : Indonesia
No.Hp : 081361239454
Email : akmal.k2206@gmail.com
Instagram : akmalkusnaldi

ORANGTUA

Nama Ayah :Junaidi
Agama : Islam
Nama Ibu :Muliani
Agama : Islam
Alamat :JL. Jamin ginting lki, Tanjungbalai

LATARBELAKANGPENDIDIKAN

2008-2014 :SD 132404
2014-2017 :SMP Negri 4 Tanjungbalai
2017-2020 :SMK Taruna Tekno Nusntara
2020-2024 : Tercatat Sebagai Mahasiswa Program Studi Teknik ElektroFakultasTeknikUniversitasMuhammadiyah SumateraUtara(UMSU)



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Akmal Kusnaldi
NPM : 2007220080
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : "ANALISIS SISTEM INTERKONEKSI PLTBG PASIR
MANDOGE PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20KV PT.
PLN"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	04/12-2023	Perbaiki BAB I Latar belakang	
2	12/12-2023	Perbaiki Rumusan Masalah	
3	18/12-2023	Revisi tinggapan pustaka Referensi	
4	3/01-2024	Revisi prosedur penelitian penelitian	
5	18/01-2024	Revisi Diagram Plot.	
6		Acc sempro 23/1/2024	

Mengetahui,
Pembimbing I

Rimbawati, S.T., M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)
FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Akmal Kusnaldi
NPM : 2007220080
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : "ANALISIS SISTEM INTERKONEKSI DAN DROPP TEGANGAN PLTBG PASIR MANDOGE KE JARINGAN DISTRIBUSI 20KV PT. PLN"

NO	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	10/ Juli 2024	Pertemuan Rerensi bab 2-3	Raf
2	15/ Juli 2024	Penulisan Bab 2 dan Penambahan rumus	Raf
3	17/ Juli 2024	Penulisan Bab 4	Raf
4	19/ Juli 2024	Pemasukan data beban dan gambar	Raf
5	25/ Juli 2024	Pertemuan daftar isi dan gambar	Raf
6		Acc semhas 30 Juli 2024	Raf

Mengetahui,
Pembimbing I

Rimbawati, S.T., M.T



UNIVERSITASMUHAMMADIYAHSUMATERAUTARA(UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITAACARABIMBINGANTUGASAKHIR(SKRIPSI)

Nama : Akmal Kusnaldi
NPM : 2007220080
Fakultas/Jurusan : Teknik/TeknikElektro
JudulTugasAkhir : "ANALISIS SISTEM INTERKONEKSI DAN DROP TEGANGAN PLTBG PASIR MANDOGGE KE JARINGAN DISTRIBUSI 20KV PT. PLN"

NO	Tanggal	CatatanAsistensi	ParafPembimbing
	19/ 8-2024	Revisi Abstrak	
	20/ 8-2024	-Revisi Bab 4 penambahan blog diagram - Revisi perbesar gambar	
	21/ 8 2024	Uac sidang TA	

Mengetahui,
PembimbingI

Rimbawati, S.T.,M.T