

TUGAS AKHIR

ANALISA PENGGUNAAN CUBIKEL 20KV DOUBLE INCOMING DENGAN AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS) TERHADAP STABILITAS DAN KEANDALAN SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20KV DI PT. PELINDO BELAWAN

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik (ST) Pada Program
Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

SUKRI ILHAM FAZRI DALIMUNTHE
2007220001



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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Sukri Ilham Fazri Dalimunthe

NPM : 2007220001

Program Studi : Teknik Elektro

Judul skripsi : Analisa Penggunaan Cubikel 20 kV Double Incoming Dengan Automatic Transfer Switch (ATS) Terhadap Stabilitas Dan Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV di PT. Pelindo Belawan

Bidang Ilmu : Sistem Kontrol

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Medan, 29 Agustus 2024

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing

Muhammad Adam, S.T., M.T.

Dosen Penguji I

Rohana, S.T., M.T.

Dosen Penguji II

Partaonan Harahap, S.T., M.T.

Diketahui oleh

Kepala Program Studi Teknik Elektro



Falsafirsan Pasaribu, S.T., M.T.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertangan di bawah ini:

Nama lengkap : Sukri Ilham Fazri Dalimunthe
Tempat/Tanggal lahir : Medan, 27 Juni 2002
NPM : 2007220001
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

Analisa Penggunaan Cubikel 20 kV Double Incoming Dengan Automatic Transfer Switch (ATS) Terhadap Stabilitas Dan Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV di PT. Pelindo Belawan

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

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

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

Medan, 29 Agustus 2024
Yang Menyatakan

A 10,000 Rupiah Indonesian postage stamp is placed over the signature. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'METERA TEMPEL' and '10000'. The serial number '87BAAMX011699219' is visible at the bottom of the stamp.

Sukri Ilham Fazri Dalimunthe

ABSTRAK

Penelitian ini meneliti penggunaan cubikel 20kV *double incoming* yang dilengkapi dengan *Automatic Transfer Switch* (ATS) dalam sistem distribusi listrik 20kV di PT. Pelindo Belawan. Saat terjadinya pemutusan jaringan PLN dapat diatasi dengan memasang sumber daya listrik lain seperti pembangkit listrik energi terbarukan, dan generator set. Fokus utama dari studi ini adalah menilai efek penerapan teknologi ini terhadap kestabilan dan keandalan sistem distribusi. *Cubikel 20kV double incoming* dengan ATS dirancang untuk meningkatkan daya tahan sistem terhadap gangguan dengan menyediakan mekanisme otomatis untuk beralih dari sumber utama ke sumber cadangan ketika terjadi kegagalan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis kuantitatif, yang melibatkan pengumpulan data tentang operasi dan kinerja sistem yang ada. Temuan analisis menunjukkan bahwa penggunaan cubikel dengan ATS secara signifikan meningkatkan keandalan sistem distribusi dengan mengurangi frekuensi dan durasi pemadaman listrik. Selain itu, stabilitas sistem juga mengalami perbaikan yang signifikan berkat kemampuan ATS dalam mengelola transisi sumber daya secara otomatis dan efisien. Hasil penelitian ini memberikan rekomendasi untuk penerapan teknologi serupa di lokasi lain yang menghadapi tantangan yang sama dalam menjaga kontinuitas pasokan listrik dan memastikan operasi yang stabil.

Kata Kunci : ATS, PT PLN (Persero), *Cubikel 20kV Double Incoming*, Jaringan Distribusi 20kV, generator set

ABSTRAK

This research examines the use of 20kV double incoming cubicles equipped with an Automatic Transfer Switch (ATS) in a 20kV electricity distribution system at PT. Pelindo Belawan. When a disconnection occurs in the PLN network, it can be overcome by installing other electrical resources such as renewable energy power plants and generator sets. The main focus of this study is to assess the effect of implementing this technology on the stability and reliability of the distribution system. The 20kV double incoming cubicle with ATS is designed to increase system resilience to faults by providing an automatic mechanism to switch from primary to backup source when a failure occurs. The method used in this research is quantitative analysis, which involves collecting data about the operation and performance of existing systems. The analysis findings show that the use of cubicles with ATS significantly increases the reliability of the distribution system by reducing the frequency and duration of power outages. In addition, system stability has also experienced significant improvements thanks to ATS's ability to manage resource transitions automatically and efficiently. The results of this research provide recommendations for the application of similar technology in other locations that face the same challenges in maintaining continuity of electricity supply and ensuring stable operation.

Keyword : ATS, PT PLN (Persero), *Cubikel 20kV Double Incoming*, Jaringan Distribusi 20kV, generator set

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
DAFTAR ISI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	vii
BAB 1 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 Untuk Mahasiswa, Universitas, dan PT. Pelindo	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Dasar Sistem Tenaga Listrik.....	5
2.2 Jaringan Distribusi.....	8
2.3 Jaringan Distribusi Primer	9
2.4 Jaringan Distribusi Sekunder.....	10
2.5 Transformator Distribusi	11
2.6. Gangguan Pada Jaringan Distribusi	12
2.6.1 Gangguan Sistem Distribusi	13
2.7 Kubikel	15
2.7.1 Bagian Kubikel 20 kV	16
2.7.2 Fungsi Komponen Kubikel	19
2.7.3 Jenis-Jenis Kubikel.....	19
2.8 Automatic Transfer Switch (ATS)	33
2.9 Jenis-jenis Panel Listrik ATS.....	35
2.9.1 Fungsi Manual Pada Panel ATS	36
2.9.2 Fungsi Kerja Otomatis Pada Panel ATS	36
2.10 Komponen-Komponen Automatic Transfer Switch (ATS).....	37

BAB 3 METODE PENELITIAN.....	45
3.1 Tempat Penelitian	45
3.2 Bahan Dan Peralatan Penelitian	45
3.2.1 Bahan Yang Digunakan	45
3.3 Blok Diagram Rangkaian Alat	47
3.4 Metode penelitian	48
3.4.1 Studi Literatur.....	48
3.4.2 Pengumpulan Data	48
3.4.3 Pengolahan Data.....	48
3.5 Flowchart Perancang Sistem	50
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	52
4.1 Data pelanggan PLN UP3 Medan Utara di PT. Pelindo Belawan.....	52
4.2 Data Jumlah Gangguan Penyulangan PT PLN (Persero) UP3 Medan Utara	53
4.3 Kestabilan Tegangan Dalam Perpindahan ATS Ke Genset.....	55
4.3.1 Perbaikan Faktor Daya.....	55
4.3.2 Hasil Perbaikan Suplai Daya Untuk Beban.....	56
4.3.3 Perbaikan Faktor Daya.....	57
4.3.4 Frekuensi Yang Bekerja Pada Generator.....	58
4.4 Peralihan Beban.....	58
4.5 Analisis.....	59
4.6 Perhitungan <i>Load Factor</i> Pada Penyulang Pelanggan Potensial PLN UP3 Medan Utara.....	61
4.7 Penggunaan <i>Cubicle 20 kV Double Incoming</i> Untuk Penyulangan 20 kV PT. Pelindo Belawan.....	64
4.8 Perencanaan Setting ATS Kondisi Normal dan Gangguan Pada Penyulang 20 kV PT. Pelindo Belawan.....	66
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA.....	72

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, Puji syukur kita ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya kepada kita semua sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “*ANALISA PENGGUNAAN CUBIKEL 20 KV DOUBLE INCOMING DENGAN AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS) TERHADAP STABILITAS DAN KEANDALAN SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV DI PT. PELINDO BELAWAN*”. Sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Dalam kesempatan yang berbahagia ini, dengan segenap hati. mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan motivasi kepada kami didalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, terutama kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Dr. Ade Faisal, M.sc, P.hd, Selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

6. Muhammad Adam, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa membimbing saya dalam penulisan laporan Tugas Akhir.
7. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Ibunda Tercinta Latifah Rambe dan Ayahanda Tercinta Zuhri Dalimunthe Atas Do'a dan pengorbanan untuk merealisasikan cita-cita penulis, hanya Allah yang dapat membalas dengan baik.
9. Abang dan kakak Hamdani Z Dalimunthe, Saripah Ainun Dalimunthe, Yang senantiasa memberi dukungan dan do'a serta hiburan selama ini sehingga skripsi ini berhasil di selesaikan.
10. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2020.
Akhir kata penulis, Semoga Skripsi ini dapat dilaksanakan dengan semestinya. Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, Febuari 2024

Penulis

SUKRI ILHAM FAZRI DALIMUNTH

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keperluan pengembangan sistem kelistrikan jangka panjang didorong oleh kebutuhan PT PLN (persero) untuk mempunyai rencana investasi yang efisien, dalam arti PT PLN (persero) tidak melaksanakan sebuah proyek kelistrikan tanpa didasarkan pada perencanaan yang baik. Ketersediaan daya listrik dalam jumlah dan mutu yang memadai merupakan salah satu faktor yang menunjang untuk perencanaan pembangunan diberbagai sektor, serta meningkatkan produktifitas bagi masyarakat. Pemasok tenaga listrik dalam hal ini PT PLN (persero), dituntut untuk mampu memberikan suatu pelayanan tenaga listrik yang optimal sesuai yang dibutuhkan para konsumen, jaringan distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan konsumen. Bagian ini sangat menunjang penyaluran tenaga listrik ke konsumen, untuk itu diperlukan perencanaan dan pengoperasian jaringan distribusi tenaga listrik yang memadai. Dalam menyediakan listrik untuk para konsumen terkadang terjadi gangguan yang berasal dari masalah *internal* seperti masalah pemeliharaan dan perawatan, ataupun masalah *external* seperti masalah bencana alam yang menyebabkan terputusnya pelayanan jaringan PLN. Pada saat terjadi gangguan tersebut tentunya akan menghambat aktivitas yang membutuhkan tenaga listrik, karena pada saat terjadi gangguan akan memutuskan tenaga listrik pada jaringan tersebut.

Saat terjadinya pemutusan jaringan PLN dapat diatasi dengan memasang sumber daya listrik lain seperti pembangkit listrik energi terbarukan, dan generator set. Pembangkit listrik energi terbarukan memanfaatkan alam sebagai penggerak penghasil listrik seperti dinamo untuk menghasilkan listrik contoh pembangkit listrik energi terbarukan seperti pembangkit listrik energi uap, air, udara, dan tenaga surya. Sedangkan generator set memanfaatkan bahan bakar untuk menggerakkan mesin yang menghasilkan listrik. Penggunaan generator set lebih sering digunakan karena lebih sederhana, dan mudah dalam hal perawatan maupun penggantian generator set.

Berdasarkan hal tersebut PT PLN (persero), khususnya UP3 Medan Utara, melakukan pengembangan disisi jaringan 20 kV dengan melakukan penggunaan *cubicle 20 kV double incoming* dengan *Automatic Transfer Switch (ATS)*. Sistem ini dapat mengalihkan listrik secara otomatis saat terjadinya gangguan, meskipun begitu saat terjadi peralihan sumber energi listrik, akan terjadi jeda dan mematikan listrik beberapa saat hingga listrik dialihkan ke sumber cadangan tersebut. Pada saat terjadinya pemadaman saat jeda berlangsung tentunya akan mematikan peralatan listrik yang dimiliki, seperti penerangan, mesin, alat elektronik dan lainnya. Misalnya di PT. PELINDO yang membutuhkan listrik yang hidup secara terus menerus.

Secara umum, baik buruknya sistem penyaluran distribusi tenaga listrik yang utama adalah ditinjau dari mutu listrik, keandalan penyaluran tenaga listrik, keamanan dan keselamatan bagi konsumen. Keandalan daya listrik yang baik yaitu kapasitas daya yang memenuhi dan tegangan yang selalu konstan dan nominal. Tegangan yang tidak stabil dapat berakibat merusak alat-alat elektronik, dan peralatan yang peka terhadap perubahan tegangan. Demikian juga tegangan yang terlalu rendah akan mengakibatkan alat-alat listrik tidak dapat beroperasi sebagaimana mestinya. Salah satu caranya syarat penyambungan alat-alat listrik yang harus sesuai, yaitu tegangan sumber arus sama dengan tegangan yang dibutuhkan oleh peralatan listrik tersebut. Keandalan penyaluran juga menjadi bagian yang penting untuk dikaji dalam upaya meningkatkan pelayanan ke konsumen. Oleh karena itu penulisan berencana untuk mengambil judul penelitian **“Analisa Penggunaan *Cubikel 20 kV Double Incoming Dengan Automatic Transfer Switch (ATS)* Terhadap Stabilitas Dan Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV Di PT. Pelindo Belawan”**.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara kerja cubicle 20kV double incoming dengan Automatic Transfer Switch (ATS) PT. Pelindo Belawan ?
2. Apakah dampak penggunaan cubicel 20kV double incoming ATS terhadap keandalan dan stabilitas sistem distribusi 20kV ?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, dapat disimpulkan beberapa tujuan yaitu sebagai berikut :

1. Memahami secara rinci mekanisme kerja Cubicel 20kV double incoming ATS untuk mengidentifikasih beralihnya otomatis antara sumber daya masuk utama dan Cadangan.
2. Mengevaluasi kecepatan dan keandalan proses beralih antara sumber daya utama dan cadangan oleh cubicel 20kV double incoming (ATS).

1.4. Ruang Lingkup

Adapun hal – hal yang dibatasi (ruang lingkup) dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Cubicel 20kV double incoming dengan (ATS) bekerja dengan cara mendeteksi adanya gangguan atau pemadaman daya masuk dengan secara otomatis tanpa adanya campur tangan manual.
2. ATS dapat meminimalkan waktu tanpa daya, mengurangi risiko pemadaman yang panjang, dan memastikan kelangsungan pasokan Listrik.

1.5. Manfaat Penelitian Untuk Mahasiswa, Universitas, dan PT. Pelindo

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil penelitian dapat menambah wawasan dan pengalaman bagi penulis tentang berkontribusi pada peningkatan ketersediaan listrik yang lebih stabil.
2. Memberikan pemahaman baik terhadap kecepatan dan keandalan proses beralih dapat membantu meningkatkan ketersediaan listrik secara keseluruhan, memberikan layanan yang lebih baik kepada pengguna.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Sistem Tenaga Listrik

Listrik merupakan sumber tenaga energi yang berperan penting dalam kehidupan sehari-hari. Hampir semua peralatan menggunakan energi listrik, hal ini menyebabkan meningkatnya kebutuhan energi listrik karena efisien dan membantu kemudahan dalam aktivitas sehari-hari. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan konsumen akan energi listrik, penyaluran energi listrik kepada konsumen diharapkan dapat berjalan secara optimal dan berkualitas. Salah satu elemen dari kualitas suplai listrik adalah ketahanan dan keamanan dari gangguan. Kubikel berfungsi sebagai penghubung, pengendali, pelindung serta pembagi tenaga listrik. Kubikel sering diartikan juga sebagai peralatan *switching* dan kombinasinya, dilengkapi dengan peralatan pengukuran, kontrol dan proteksi, sedangkan kubikel tegangan menengah merupakan komponen listrik yang terhubung ke jaringan listrik tegangan menengah 20 kv [1].

Berbagai program peningkatan keandalan terus dilakukan, termasuk melalui inspeksi dan pemeliharaan rutin pada gardu distribusi. Inspeksi dilakukan secara berkala untuk memastikan bahwa peralatan berfungsi dengan baik. Namun, masih terjadi gangguan yang disebabkan oleh fenomena korona pada kubikel 20 kV. Gangguan tersebut berdampak pada terhentinya pasokan listrik ke pelanggan dan berpotensi menyebabkan kerusakan pada kubikel itu sendiri. Berkaitan dengan perancangan prototipe alat deteksi korona sebagai perlindungan untuk kubikel 20 kV, tujuan penelitian ini adalah untuk menciptakan sebuah prototipe alat deteksi korona yang berfungsi sebagai perlindungan untuk kubikel 20 kV pada pelanggan dengan tegangan menengah. Penelitian ini juga bertujuan untuk memahami dampak suhu dan kelembapan terhadap jumlah O₃ yang dihasilkan oleh prototipe tersebut, sehingga nantinya dapat diimplementasikan sebagai perlindungan untuk kubikel 20 kV pada pelanggan dengan tegangan menengah [2]

ATS (*Automatic Transfer Switch*) yaitu ketika aliran listrik PLN padam maka secara otomatis Genset akan hidup dan aliran listrik akan berpindah ke

Genset, ketika PLN kembali menyala maka aliran listrik secara otomatis akan berpindah lagi ke PLN sedangkan Genset akan mati secara otomatis tanpa adanya campur tangan dari operato. Panel ATS ini mendukung dua operasi sistem.

Perpindahan beban yaitu sistem perpindahan beban secara otomatis dan sistem perpindahan beban secara manual. Sistem kerja perpindahan otomatis sumber utama yang digunakan adalah sumber milik PLN sedangkan sumber cadangan adalah sumber Genset. [3]

Pindahnya suplai daya yang bekerja dari penyulang normal ke penyulang standby melalui suatu perangkat *Automatic Changeover (ACO)*. Efektivitas penggunaan double incoming ini di analisa dengan membandingkan parameterparameter seperti indeks keandalan SAIDI dan SAIFI, jatuh tegangan, kondisi jalur penyulang serta load factor pada kedua penyulang incoming. [4]

Distribusi listrik sering mengalami kendala, salah satunya adalah gangguan pada kubikel 20 kV yang disebabkan oleh korona akibat perubahan suhu dan kondensasi. Korona adalah fenomena pelepasan cahaya samar yang terjadi di sekitar penghantar yang bertenaga, yang dapat menyebabkan busur api antara isolator dan bagian yang bertenaga. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah penggunaan pemanas (heater) dan kipas pembuang (exhaust fan) untuk menjaga suhu dan kelembaban. Penelitian ini mengusulkan pembuatan prototipe untuk memantau suhu dan mengendalikan pemanas serta kipas pembuang secara otomatis. Sensor yang terintegrasi membantu dalam memonitor suhu di dalam box kubikel

Load factor adalah rasio antara beban nyata yang digunakan dalam suatu sistem (seperti sistem tenaga listrik) dengan kapasitas maksimum yang tersedia. Dalam konteks sistem tenaga, *load factor* menunjukkan seberapa efisien suatu sistem dalam menggunakan kapasitas yang ada. Semakin tinggi *load factor*, semakin efisien penggunaan kapasitas tersebut. Faktor beban juga penjabaran penting pada suatu data konsumsi energi listrik dan berpacu pada rasio konsumsi rata-rata terhadap konsumsi puncak (*Peak demand*). Faktor beban selalu

dihubungkan dengan faktor kapasitas, ini adalah rasio penggunaan rata-rata terhadap kapasitas.

Adapun definisi dari faktor beban ini dapat disimpulkan dalam persamaan yaitu sebagai berikut:

$$\text{Faktor beban (Fb)} = \frac{\text{Konsumsi dalam periode tertentu}}{\text{Konsumsi puncak dalam periode tertentu}} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Faktor beban} = \frac{P \text{ rata-rata}}{P \text{ puncak}} \times \frac{T}{T} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan :

T = Periode Waktu

Prata-rata = Beban rata-rata periode T

Pp = Beban puncak yang terjadi dalam periode T pada selang waktu tertentu

Daya Faktor daya merupakan salah satu indikator baik buruknya kualitas daya listrik. Faktor daya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya aktif dan daya reaktif. Faktor daya disimbolkan sebagai $\cos \phi$. Daya aktif adalah daya yang digunakan sistem untuk bekerja. Daya aktif pada instalasi 3 fasa dapat dihitung dengan persamaan 2.13 di bawah ini. [16]

$$P = V \times \sqrt{3} \times I \times \cos \phi, \text{ dimana } S = V \times \sqrt{3} \times I \text{ Sehingga,}$$

$$P = S \times \cos \phi \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan :

P = Daya aktif (Watt)

S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (V)

I = Arus(A)

$\cos \phi$ = Faktor daya

Sebuah kapasitor daya atau yang dikenal dengan nama kapasitor bank harus mempunyai daya Qc yang sama dengan daya reaktif dari sistem yang akan diperbaiki faktor dayanya. Besarnya daya reaktif yang diperlukan untuk mengubah

faktor daya dari $\cos \phi_1$ (awal) menjadi $\cos \phi_2$ (yang ingin dicapai) dapat ditentukan dengan persamaan 2.14 berikut:

$$Q_C = P \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \dots \dots \dots (14)$$

Keterangan :

Q_C = Daya reaktif kapasitor bank (KVAR)

P = Daya aktif (Watt)

ϕ_1 = Nilai faktor daya sebelum perbaikan

ϕ_2 = Nilai faktor daya sesudah Perbaikan

2.2 Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi system 20kV merupakan bagian dari system tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jaringan distribusi terdiri dari jaringan distribusi tegangan menengah (JTM) dan jaringan distribusi tegangan rendah (JTR). JTM merupakan tegangan 3 kV sampai 20 kV. Namun, pada saat ini PT. PLN (Persero) hanya mengembangkan JTM 20 kV atau yang biasa disebut jaringan distribusi primer. Yaitu berupa saluran kabel tanah dan saluran kabel udara atau saluran kawat terbuka yang menggunakan standar tegangan menengah. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer selanjutnya tenaga listrik diturunkan tegangannya dengan menggunakan trafo distribusi (*step down transformer*) menjadi tegangan rendah dengan tegangan standar 380/220 Volt. Tenaga listrik yang menggunakan standard tegangan rendah ini kemudian disalurkan melalui JTR yang selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah pelanggan (konsumen).[5]

Fungsi utama sistem distribusi ialah menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Induk distribusi (*distribution substation*) kepada pelanggan listrik dengan mutu pelayanan yang memadai. Salah satu unsur dari mutu pelayanan adalah kontinuitas pelayanan yang tergantung pada topologi dan konstruksi jaringan serta peralatan tegangan menengah. Masalah utama dalam menjalankan fungsi jaringan distribusi tersebut adalah mengatasi gangguan dengan cepat mengingat gangguan yang terbanyak dalam sistem tenaga listrik terdapat

dalam jaringan distribusi, khususnya jaringan tegangan menengah pada sistem distribusi tenaga listrik, tingkat kehandalan adalah hal yang sangat penting dalam menentukan kinerja sistem tersebut. Kehandalan ini dapat ditinjau dari sejauh mana suplai tenaga listrik dapat mensuplai secara kontinu ke konsumen. [6]

2.3 Jaringan Distribusi Primer

Distribusi primer adalah sistem jaringan distribusi dengan tegangan menengah 20 kV yang berasal dari gardu induk sampai dimana titik tegangan di turunkan oleh trafo penurun tegangan ke tingkat tegangan lebih rendah atau tegangan sesuai kebutuhan konsumen.[7]

Jaringan Distribusi Primer disebut juga Jaringan Tegangan Menengah (JTM). Penggunaan sistem tegangan menengah sebagai jaringan utama adalah upaya utama menghindarkan rugi-rugi penyaluran (losses) dengan kualitas persyaratan tegangan yang harus dipenuhi oleh PLN Persero selaku pemegang kuasa usaha utama sebagaimana diatur dalam UU ketenagalistrikan No 30 tahun 2009. Dengan ditetapkannya standar tegangan menengah sebagai tegangan operasi yang digunakan di Indonesia adalah 20 kV, konstruksi JTM wajib memenuhi kriteria keamanan ketenagalistrikan, termasuk didalamnya adalah jarak aman minimal antara fase dengan lingkungan dan antara fase dengan tanah, bila jaringan tersebut menggunakan saluran udara atau ketahanan isolasi jika menggunakan kabel udara pilin tegangan menengah atau kabel bawah tanah tegangan menengah serta kemudahan dalam hal pengoperasian atau pemeliharaan jaringan dalam keadaan bertegangan pada jaringan utama. Hal ini dimaksudkan sebagai usaha menjaga keandalan kontinuitas pelayanan konsumen.

Ukuran dimensi konstruksi selain untuk pemenuhan syarat pendistribusian daya, juga wajib memperhatikan syarat ketahanan isolasi penghantar untuk keamanan pada tegangan 20 kV. Lingkup Jaringan Tegangan Menengah pada sistem distribusi di Indonesia dimulai dari terminal keluar (out-going) pemutus tenaga dari transformator penurun tegangan Gardu Induk atau transformator penaik

Tegangan distribusi primer yang dipakai oleh PLN adalah 20 kV, 12 kV, dan 6 kV. Tegangan distribusi primer yang cenderung dikembangkan oleh PLN adalah 20 kV. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan penyebab utama gangguan pada jaringan distribusi listrik. Jaringan tegangan menengah pada distribusi di Indonesia di mulai dari terminal keluar (out-going) pemutus tegangan dari transformator penurun tegangan dari transformator penurunan tegangan gardu induk atau transformator.[8]

2.4 Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder adalah di mana jaringan distribusi dengan tegangan rendah 380V/220V yang bermula dari trafo distribusi melewati penghantar tegangan rendah hingga sampai ke kWh meter konsumen. Untuk saluran udara saat ini lebih sering menggunakan SKUTR karena tingkat kehandalan dan keamanannya lebih baik di banding SUTR.[7].

Jaringan Distribusi Sekunder disebut juga dengan Distribusi Tegangan Rendah (JTR). Distribusi jaringan tegangan rendah dapat dibedakan berdasarkan material dan pemasangannya, yaitu :

1. Saluran udara tegangan rendah (SUTR) berupa jaringan yang dipasang di udara, menggunakan penghantar/kawat yang direntangkan di tiang dan diikat pada isolator.
2. Saluran kabel udara tegangan rendah (SKUTR) berupa jaringan yang dipasang di udara dengan menggunakan kabel yang berisolasi di lilitkan, direntang dan digantungkan pada tiang.
3. Saluran kabel tegangan rendah (SKTR) adalah jaringan yang dipasang di dalam tanah.

Untuk saluran udara saat ini lebih sering menggunakan SKUTR karena tingkat keandalan dan keamanannya lebih baik dibanding SUTR. Namun SKTR memiliki tingkat keandalan yang paling tinggi di dibandingkan dengan saluran udara. Jaringan tegangan rendah di gunakan untuk menyalurkan daya listrik ke pelanggan dengan tegangan 380V/220 V, tergantung pada jenis kebutuhan oleh pelanggan.

Dalam merancang SKTR sebuah kompleks perumahan hal utama yang mesti diperhatikan adalah besar daya yang akan digunakan di setiap rumah. Langkah selanjutnya adalah mulai merancang jalur kabel SKTR serta kabel penghantar yang akan digunakan. Berikut ini tahapan selanjutnya untuk merancang SKTR sistem distribusi loop.

1. Merancang saluran JTR

- a) Pembagian area beban
- b) Merancang lintasan kabel

2. Menentukan jenis penghantar

- a) Menghitung arus beban maksimum yang akan mengalir.
- b) Tentukan penghantar dengan memperhatikan arus beban maksimum (pada tabel KHZA) sesuai dengan PUIL 2011.
- c) Penghantar yang digunakan untuk instalasi listrik pada umumnya digunakan bahan tembaga kemurniannya minimal 99,9 %. Tahanan jenis yang disyaratkan tidak melebihi $0,017241 \text{ ohm mm}^2 / \text{m}$ pada suhu $200 \text{ }^\circ\text{C}$ (sumber : Badan standarisasi Nasional).

2.5 Transformator Distribusi

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Penggunaan transformator yang sederhana dan handal memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan serta

merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. [9].

2.6. Gangguan Pada Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi merupakan bagian dari system tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan/konsumen. Gangguan peralatan listrik dapat didefinisikan terjadinya gangguan atau kerusakan di dalam jaringan listrik yang dapat menyebabkan aliran listrik keluar dari saluran penghantar. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah: pembagi atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Hal ini dapat terkendala apabila terjadinya gangguan- gangguan yang tidak diinginkan pada jaringan distribusi.

Jenis Gangguan jaringan distribusi, yaitu :

Pada dasarnya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran 20 kVA dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari luar sistem disebabkan oleh sentuhan daun/pohon, sambaran petir, manusia, binatang, cuaca dan lain-lain. Gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi adalah :

a. Gangguan yang Bersifat Temporer

Gangguan yang bersifat temporer ini apabila terjadi, maka gangguan tersebut tidak akan lama dan dapat di normal kembali. Salah satu contoh gangguan yang bersifat temporer adalah gangguan akibat sentuhan pohon yang tumbuh disekitar jaringan, akibat binatang seperti burung kelelawar, ular dan layangan. Apabila ganggguan temporer sering terjadi maka hal tersebut akan menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen.

b. Gangguan yang Bersifat Permanen

Gangguan permanen adalah gangguan yang menyebabkan kerusakan permanent pada sistem. Seperti kegagalan isolator, kerusakan penghantar, kerusakan pada peralatan seperti transformator atau kapasitor. Kebanyakan gangguan pada peralatan akan mengakibatkan terjadinya hubung singkat. Maka untuk melindungi jaringan dari gangguan digunakan fuse, recloser atau CB. [10]

2.6.1 Gangguan Sistem Distribusi

Gangguan pada sistem distribusi adalah terganggunya sistem tenaga listrik yang menyebabkan bekerjanya rele pengaman penyulang untuk membuka circuit breaker di gardu induk yang menyebabkan terputusnya suplai tenaga listrik. Hal ini untuk mengamankan peralatan yang dilalui arus gangguan tersebut dari kerusakan. Sehingga fungsi dari peralatan pengaman adalah untuk mencegah kerusakan peralatan. Adapun gangguan pada jaringan distribusi dapat berasal dari dalam sistem maupun dari luar sistem.

1. Gangguan dari dalam sistem antara lain :

- a. Tegangan lebih atau arus lebih
- b. Pemasangan yang kurang tepat
- c. Usia peralatan atau komponen

2. Gangguan dari luar sistem antara lain :

- a. Dahan/ranting pohon yang mengenai SUTM
- b. Sambaran petir
- c. Cuaca ekstrim
- d. Kerusakan peralatan
- e. Gangguan binatang
- f. Gangguan papan reklame

g. Gangguan pembangunan renovasi gedung

Berdasarkan sifatnya, gangguan sistem distribusi dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Gangguan temporer

Gangguan yang bersifat sementara karena dapat hilang dengan sendirinya dengan cara memutuskan bagian yang terganggu sesaat, kemudian menutup balik kembali, baik secara otomatis maupun secara manual oleh operator.

2. Gangguan permanen

Gangguan bersifat tetap, sehingga untuk membebaskannya perlu tindakan perbaikan atau penghilangan penyebab gangguan. Hal ini ditandai dengan jatuhnya (trip) kembali pemutus daya setelah operator memasukkan sistem kembali setelah terjadi gangguan. [6]

3. Gangguan tegangan lebih

Gangguan tegangan lebih termasuk gangguan yang sering terjadi pada saluran distribusi. Berdasarkan penyebabnya maka gangguan tegangan lebih ini dapat dikelompokkan atas dua hal, yaitu :

a. Tegangan lebih power frekwensi.

Pada sistem distribusi hal ini biasanya disebabkan oleh kesalahan pada AVR atau pengatur tap pada trafo distribusi.

b. Tegangan lebih surja

Gangguan ini biasanya disebabkan oleh surja hubung atau surjapetir. Dari ketiga jenis gangguan tersebut, gangguan yang lebih sering terjadi dan berdampak sangat besar bagi sistem distribusi adalah gangguan hubung singkat. Sehingga istilah gangguan pada sistem distribusi lazim mengacu kepada gangguan hubung singkat dan peralatan proteksi yang dipasang cenderung mengatasi gangguan hubung singkat ini.

2.7 Kubikel

Kubikel merupakan sebuah perangkat atau peralatan listrik yang berperan sebagai pengendali, penghubung, serta pelindung, serta berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik dari sumber tenaga listrik. Istilah "kubikel" merujuk pada peralatan switching dan kombinasinya dengan peralatan kontrol, pengukuran, proteksi, dan pengaturan. Peralatan tersebut dirakit dan terhubung dengan perlengkapan, selungkup, dan penyangga. Kubikel yang terdapat di dalam Gardu hubung (GH) merupakan panel tegangan menengah yang berfungsi sebagai salah satu sarana penunjang utama untuk mendistribusikan tenaga listrik ke konsumen. Kubikel merupakan salah satu bagian dari Gardu Hubung yang berfungsi sarana penunjang utama dalam proses penyaluran listrik pada konsumen.[11]

Pada Gambar 2.1 merupakan bentuk fisik dari kubikel 20 kV.

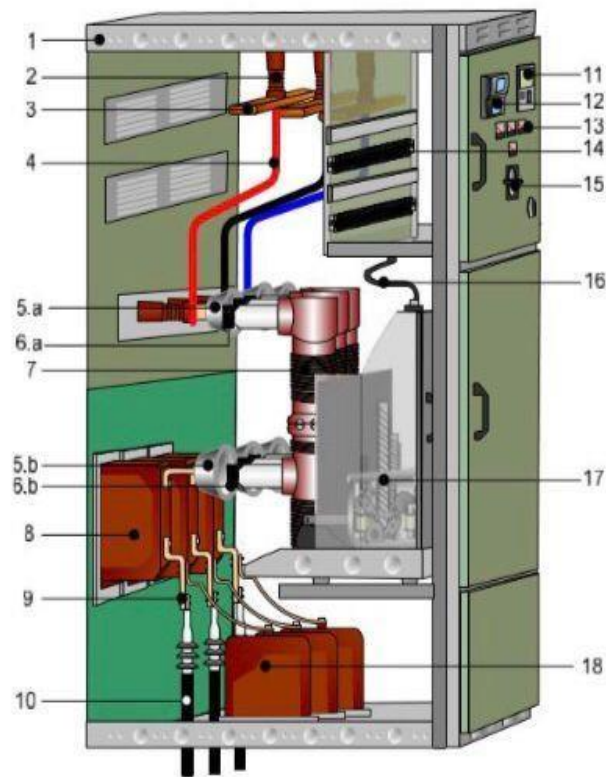


Gambar 2.1 Bentuk Kubikel

2.7.1 Bagian Kubikel 20 kV

Kubikel 20 kV adalah jenis perangkat listrik yang terpasang di gardu induk dan berperan sebagai sistem distribusi 20 kV, pengaturan bantalan, dan penyalur perlindungan. Menurut referensi, salah satu gangguan yang sering terjadi pada kubikel 20 kV adalah ketika suhu dan kelembapan mencapai tingkat yang tinggi, hal ini dapat menyebabkan terbentuknya uap air yang menempel pada dinding kubikel dan mempengaruhi terjadinya korona.[12].

Sel biasanya terpasang di stasiun distribusi atau gardu, seperti struktur beton atau kios. Sumber utama listrik bagi konsumen adalah gardu Induk, di mana selain trafo distribusi, terdapat beberapa komponen tambahan yang sesuai dengan kebutuhan, termasuk internal pair, pemutus beban, sakelar, isolator, busbar, sakelar vakum, kabel masukan atau keluaran, transformator instrumen atau pengukur, yang mencakup *Current Transformer* dan *Potential Transformer*.



Gambar 2.2 Bagian Kubikel

Deskripsi Bagian-bagian kubikel masuk berdasarkan gambar di atas adalah sebagai berikut:

1. Ruang penyimpanan
2. Isolator posisi
3. Rel/busbar
4. Penurun
5. a/b. Penutup isolasi
6. a/b. Kontak yang dapat bergerak
7. Tempat membuka dan menutup kontak utama

8. Transformator arus (CT)
9. Terminal keluar utama
10. Kabel tenaga
11. Relay
12. Meter kWh
13. Ampere meter
14. Terminal kawat kontrol
15. Tombol PMT Buka/Tutup
16. Kabel penghubung kontrol antara terminal kontrol dengan mekanik penggerak
17. Mekanik penggerak
18. Transformator potensial

Ketika tegangan bolak-balik diterapkan pada dua elektroda dengan penampang kecil dibandingkan dengan jarak antara keduanya, kemungkinan terjadinya efek korona akan meningkat. Pada tegangan yang rendah, tidak ada yang terjadi. Namun, seiring dengan peningkatan tegangan, efek korona secara perlahan mulai terbentuk. Jika tegangan terus meningkat, busur api dapat terbentuk. Hal ini dapat dipastikan dengan menggunakan wattmeter yang memanfaatkan korona untuk menghasilkan panas. Dalam kondisi yang lembab, korona dapat mendeteksi keberadaan asam nitrat yang berpotensi menyebabkan kebakaran pada motor listrik saat suhu tinggi. Apabila tegangan yang diberikan bersifat searah, elektroda positif korona akan menunjukkan cahaya yang merata di permukaan elektroda, sementara elektroda negatif akan menunjukkan sedikit cahaya, yang dapat mengakibatkan elektron dan menyebabkankerusakan pada bagian luar selain memicu ionisasi molekuler, tumbukan elektron juga mengakibatkan perpindahan elektron dari orbit asalnya ke orbit yang lebih tinggi.

2.7.2 Fungsi Komponen Kubikel

Fungsi utama dari komponen kubikel adalah untuk mengendalikan, melindungi dan membagi tenaga listrik. Secara spesifik, fungsi kubikel adalah sebagai berikut:

1. Pengendalian sirkuit dilakukan melalui saklar utama.
2. Perlindungan sirkuit dilakukan oleh pemutus arus atau pelebur fase.
3. Pembagian sirkuit dilakukan dengan membagi arus ke jalur atau kelompok yang terpisah (Busbar).

2.7.3 Jenis-Jenis Kubikel

Kubikel tegangan menengah di gardu induk dapat di bagi berdasarkan fungsi atau penempatannya. Adapun jenis-jenis dari kubikel dan beserta komponennya yaitu sebagai berikut:

a. Kubikel Incoming

Kubikel incoming adalah kubikel kubikel yang menghubungkan antara sisi sekunder trafo daya ke rel tegangan menengah. Di dalam system kubikel incoming terdapat peralatan yang di fungsikan untuk menurunkan tegangan tinggi ke tegangan rendah yaitu potential transformer (PT).

Kubikel Incoming berfungsi sebagai penghubung dari sisi sekunder trafo daya ke busbar 20 kV. Tegangan 20 kV dari sisi sekunder trafo masuk ke dalam busbar 20 kV yang berada di dalam kubikel 20 kV.

Adapun komponen-komponen *kubikel incoming* adalah sebagai berikut:

1. Busbar



Gambar 2.3 Busbar

Busbar 20 kV pada kubikel berfungsi sebagai penghubung antara kabel masuk dengan beberapa penyulang. Bentuk rel 20 kV ada yang berpenampang bulat / pipa (tubuler), setengah bulat dan ada pula yang berbentuk plat sesuai dengan desain dari pabrik kubikelnya. Bahan yang digunakan adalah aluminium atau tembaga. Besar kecilnya penampang busbar 20 kV tergantung pada besar / kecilnya daya yang akan salurkan. Contoh :

- Pipa tembaga untuk busbar pada kubikel Merlin Gerin, Mitsubitsi dan Calor Emag.
- Pipa setengah bulat tembaga pada busbar kubikel ABB dan Calor Emag.
- Plat Pejal tembaga untuk busbar pada kubikel Fuji. Untuk merangkai kubikel-kubikel 20 kV dengan rel bulat / pipa agar diperhatikan benar kerataannya (selevel), untuk mencegah tingginya tahanan kontak pada sambungan rel, yang akan dapat mengakibatkan gangguan / kerusakan.

Busbar digunakan untuk mengumpulkan daya listrik dengan tegangan 20 kV serta membaginya ke tempat-tempat yang di perlukan. Busbar dibuat dari tembaga atau aluminium dengan bentuk sesuai dengan desain dari masing-masing pabrik. Busbar listrik adalah batang atau strip logam yang berfungsi untuk

mendistribusikan dan mengalirkan listrik. Busbar biasanya diletakkan di dalam papan panel, perlengkapan sakelar, dan penutup busway. Busbar memiliki beberapa fungsi, di antaranya:

- Mengumpulkan daya listrik dari pengumpan masuk
- Mendistribusikan daya listrik ke pengumpan keluar
- Membuat sistem lebih efisien
- Mengatasi suhu panas berlebih saat dilewati arus listrik yang besar
- Mengurangi biaya material dan pemasangan
- Memfasilitasi integrasi perangkat perlindungan

Busbar dapat terbuat dari tembaga, kuningan, atau aluminium. Bentuk busbar yang digunakan tergantung pada jumlah listrik yang dibutuhkan, ruang yang tersedia, dan desain sistem kelistrikan.

Busbar dapat dihubungkan dengan kabel menggunakan lugs kabel. Lugs kabel terbuat dari tembaga atau aluminium dan berfungsi sebagai pengait yang dikunci dengan baut.

Busbar adalah elemen berupa batang logam atau pelat konduktor yang memiliki peran penting dalam sistem distribusi tenaga listrik. Fungsi utama busbar adalah untuk mengumpulkan arus listrik dari sumber dan mendistribusikannya ke berbagai jalur atau perangkat dalam sistem tersebut. Dalam konteks kubikel 20 kV, busbar berperan sebagai penghubung utama yang menyatukan berbagai komponen penting dari sistem, seperti pemutus sirkuit (circuit breaker), switchgear, dan transformer. Dengan kata lain, busbar memastikan bahwa arus listrik dapat mengalir secara efisien dari satu komponen ke komponen lainnya, memfasilitasi distribusi tenaga yang stabil dan terkoordinasi dalam kubikel 20 kv.

Rumus Arus Maksimum pada Busbar

$$I = \frac{S}{V}$$

- I: Arus maksimum yang bisa ditangani oleh busbar (Ampere, A)
- S: Daya nyata atau total yang dialirkan (Volt-Ampere, VA)

- V: Tegangan sistem (Volt, V)

Penjelasan: Rumus ini berguna untuk menghitung arus maksimum yang bisa dialirkan melalui busbar, berdasarkan jumlah daya yang disalurkan dan tegangan sistem yang digunakan. Pada kubikel 20 kV, busbar harus dirancang sedemikian rupa agar mampu menahan arus maksimum tersebut tanpa menimbulkan panas berlebih atau kerusakan pada sistem.

Rumus Penurunan Tegangan pada Busbar (ΔV):

$$\Delta V = I \times Z$$

- ΔV : Penurunan tegangan yang terjadi pada busbar (Volt, V)
- I: Arus yang mengalir melalui busbar (Ampere, A)
- Z: Impedansi busbar (Ohm, Ω)

Penjelasan: Penurunan tegangan terjadi ketika arus mengalir melalui busbar yang memiliki impedansi tertentu. Dalam sistem distribusi listrik, penting untuk meminimalkan penurunan tegangan ini agar tegangan yang diterima oleh setiap beban tetap berada dalam batas yang diinginkan.

Rumus Daya Rugi-Rugi pada Busbar (P_{loss}):

$$P_{\text{loss}} = I^2 \times R$$

- P_{loss} : Daya yang hilang atau rugi-rugi daya pada busbar (Watt, W)
- I: Arus yang mengalir melalui busbar (Ampere, A)
- R: Resistansi busbar (Ohm, Ω)

Penjelasan Rugi-rugi daya merupakan energi yang hilang dalam bentuk panas akibat resistansi yang ada pada busbar. Untuk menjaga efisiensi distribusi daya, rugi-rugi ini harus ditekan sekecil mungkin. Oleh karena itu, pemilihan material dan ukuran busbar sangat penting agar resistansi dan rugi-rugi daya dapat diminimalkan.

Dalam konteks kubikel 20 kV, busbar berfungsi sebagai jalur utama yang memastikan aliran daya listrik dari sumber tegangan menengah menuju berbagai perangkat dan beban di dalam sistem. Efisiensi dan keamanan distribusi listrik sangat bergantung pada desain dan kapasitas busbar, karena busbar harus mampu mengalirkan arus yang tinggi tanpa mengalami panas berlebih atau kerugian daya yang signifikan. Penurunan tegangan yang terjadi sepanjang busbar harus

diminimalkan agar tegangan yang diterima oleh setiap beban tetap stabil dan sesuai dengan kebutuhan operasional.

Secara keseluruhan, busbar adalah komponen penting yang memastikan distribusi listrik yang efisien, terstruktur, dan aman dalam sistem distribusi listrik, terutama pada kubikel 20 kV. Desain busbar yang tepat, termasuk pemilihan material, ukuran, dan kapasitas arus, sangat penting untuk menjaga keandalan dan efisiensi sistem distribusi listrik.

2. PMS (Pemisah) dan Pemisah Tanah



Gambar 2.4. Pemisah

Disconnecting switch (DS) atau Pemisah (PMS) adalah perangkat dalam sistem tenaga listrik yang bertugas sebagai saklar pemisah yang dapat memutus dan menghubungkan rangkaian dalam keadaan tanpa beban. Proses pembukaan dan penutupan PMS terinterkoneksi dengan PMT dan saklar pentanahan (*Earthing Switch*). Mekanisme interkoneksi tersebut meliputi:

1. PMS tidak boleh ditutup saat PMT berada dalam posisi tertutup.

2. Saklar pentanahan hanya dapat ditutup jika PMS dalam keadaan terbuka.
3. PMS hanya dapat ditutup ketika PMT dan Earthing Switch dalam posisi terbuka.
4. Saklar pentanahan atau *Earthing Switch*, digunakan saat melakukan pemeliharaan pada sistem dan untuk menghilangkan tegangan akibat kapasitansi dengan menghubungkan saluran yang bertenaga ke tanah. Dalam kondisi normal, saklar pentanahan berada dalam posisi terbuka, dan jika terjadi gangguan seperti hubung singkat pada saluran transmisi, saklar pentanahan akan ditutup untuk membebaskan tegangan pada saluran transmisi.

Pemisah Tanah Pemisah tanah berfungsi untuk pengamanan petugas yang akan bekerja, agar aman terhadap tegangan sisa dan tegangan induksi. Pemisah tanah pada kubikel adalah mentanahkan di sisi kabel. Sedangkan untuk mentanahkan di sisi busbar (rel) harus dilakukan secara lokal melalui grounding fleksibel atau melalui pentanahan model dorong. PMS tanah sisi kabel mempunyai kecepatan masuk yang tinggi, agar jika PMS tanah dimasukan dan membuang muatan listrik karna ada muatan sisa atau ada induksi tidak berbahaya PMS tanah ini dioperasikan dari depan panel dan interlock dengan PMT. Sistem Interlock dan Pengunci Sistem interlock harus dilengkapi untuk mencegah kemungkinan kesalahan atau kelainan operasi dari peralatan dan untuk menjamin keamanan operasi. Gawai interlock harus dari jenis mekanis dengan standart pembuatan yang paling tinggi,

tak dapat diganggu gugat dan mempunyai kekuatan mekanis lebih tinggi dari kontrol mekanisnya. Pada kubikel jenis PMT yang dilengkapi dengan motor listrik sebagai penggerak alat hubung dan di kontrol dengan sistem kontrol listriknya. Yaitu bila posisi komponennya kubikel belum pada posisi siap dioperasikan, maka sistem kontrol tidak dapat di operasikan.

Macam-macam sistem interlock pada Kubikel :

- ❖ Interlock pintu
 - Pintu Kubikel harus tidak dapat dibuka jika :
 - Sakelar utama (sakelar tegangan menengah) dalam keadaan tertutup.
 - Sakelar pembumian dalam keadaan terbuka
 - Pintu Kubikel harus tidak dapat ditutup jika sakelar pembumian dalam keadaan terbuka.
- ❖ Interlock sakelar utama
 - Sakelar utama (sakelar tegangan menengah) harus tidak dapat dioperasikan jika :
 - Pintu kubikel dalam keadaan terbuka.
 - Sakelar pembumian dalam keadaan tertutup.

➤ Rumus-Rumus Terkait Pemisah:

1. Arus Maksimum pada Pemisah (I_{max})

$$I_{max} = \frac{S}{V}$$

- I_{max} : Arus maksimum yang dapat ditangani oleh pemisah (Ampere, A)
- S: Daya nominal sistem (Volt-Ampere, VA)
- V: Tegangan sistem (Volt, V)

Rumus ini digunakan untuk menentukan arus maksimum yang bisa ditangani oleh pemisah, berdasarkan daya sistem dan tegangan. Pemisah harus didesain untuk menangani arus ini tanpa mengalami kerusakan.

2. Kapasitas Pemisah (C)

$$C = \frac{Q}{V}$$

- C: Kapasitas pemisah (Farad, F)
- Q: Muatan yang disimpan oleh pemisah (Coulomb, C)
- V: Tegangan sistem (Volt, V)

Kapasitas pemisah mengacu pada kemampuan pemisah dalam menyimpan muatan listrik. Ini penting untuk pemisah yang memerlukan penyimpanan energi.

3. Rugi-Rugi Daya pada Pemisah (P_{loss})

$$P_{\text{loss}} = I \times R$$

- P_{loss} : Daya yang hilang atau rugi-rugi daya pada pemisah (Watt, W)
- I : Arus yang mengalir melalui pemisah (Ampere, A)
- R : Resistansi pemisah (Ohm, Ω)

Rugi-rugi daya merujuk pada energi yang hilang dalam bentuk panas akibat resistansi pemisah. Dalam sistem distribusi, rugi-rugi ini perlu diminimalkan untuk meningkatkan efisiensi. Secara keseluruhan, pemisah adalah komponen penting dalam sistem distribusi tenaga listrik, yang berfungsi untuk mengontrol dan memisahkan bagian dari sistem agar operasi tetap aman dan efisien. Desain dan perhitungan yang tepat dari pemisah sangat penting untuk memastikan kinerja dan keandalan sistem distribusi listrik.

Dalam kondisi normal, saklar pentanahan berada dalam posisi terbuka, dan jika terjadi gangguan seperti hubung singkat pada saluran transmisi, saklar pentanahan akan ditutup untuk membebaskan tegangan pada saluran transmisi.

3. Heater



Gambar 2.5 Heater

Heater adalah alat yang berfungsi untuk menjaga komponen-komponen kubikel dari kelembapan udara, karena kelembapan udara bisa menimbulkan bercak-bercak kotoran sehingga bercak kotoran akan menjadi karatan di peralatan kubikel. Alat ini dioperasikan pada tegangan 220 Volt dan akan tetap beroperasi walaupun kubikel dalam kondisi normal/off maupun saat terhubung ke bumi. *Heater* juga terdapat pada Kubikel *Metering* dan *Outgoing*.

Heater untuk melindungi komponen-komponen dalam kubikel dari kelembapan udara, yang dapat menyebabkan terbentuknya bercak-bercak kotoran dan karatan pada peralatan. Kelembapan yang tinggi dalam kubikel dapat mengakibatkan korosi pada komponen listrik, yang berpotensi menurunkan kinerja dan umur perangkat. Heater ini dioperasikan dengan tegangan 220 Volt dan dirancang untuk tetap aktif bahkan saat kubikel dalam kondisi normal atau mati, serta saat terhubung ke sistem grounding. Heater juga digunakan pada berbagai jenis kubikel, termasuk kubikel metering dan outgoing. Dengan berfungsinya heater, kelembapan di dalam kubikel dapat dikendalikan, memastikan komponen tetap bersih dan berfungsi dengan baik, serta mengurangi risiko kerusakan akibat korosi.

B. Kubikel Metering



Gambar 2.6 Kubikel Metering

Kubikel ini didesain untuk tujuan pengukuran, dilengkapi dengan perangkat pengukuran seperti amperemeter, voltmeter, dan wattmeter.

Selain itu, kubikel ini juga dilengkapi dengan perangkat proteksi seperti fuse. Kubikel metering dilengkapi dengan alat pengukuran seperti amperemeter, voltmeter, dan wattmeter.

Kubikel Metering sering dilengkapi dengan peralatan pengendalian akses, seperti *switchgear* atau pemutus sirkuit. Peralatan ini memungkinkan pengendalian dan isolasi bagian tertentu dari sistem distribusi saat diperlukan, guna meningkatkan keamanan dan operasional sistem.

Kubikel Metering menyediakan pengukuran yang akurat dan andal dari konsumsi energi, yang penting untuk perhitungan tagihan dan analisis efisiensi energi. Dengan pemantauan yang terus-menerus, kubikel ini membantu dalam deteksi masalah listrik pada tahap awal, mengurangi risiko gangguan sistem dan kerusakan. Informasi yang dikumpulkan oleh kubikel metering dapat digunakan untuk perencanaan dan pengelolaan konsumsi energi yang lebih baik, serta untuk perbaikan dan optimasi sistem distribusi.

Adapun alat atau komponen yang terdapat dalam kubikel metering sebagai berikut:

1. Fuse



Gambar 2.7 Fuse

Di dalam kubikel terdapat sebuah komponen yang disebut sebagai sol fuse, yang berfungsi sebagai sekering tegangan menengah. Alat atau komponen ini bertugas melindungi trafo tegangan dari berbagai gangguan. Fuse berfungsi sebagai perlindungan bagi peralatan listrik di dalam kubikel. Ketika arus melebihi batas yang telah ditentukan mengalir melalui fuse, fuse akan terputus atau terbakar, sehingga memutus aliran listrik dan menghindari kerusakan lebih lanjut pada peralatan.

Fuse dirancang untuk melindungi sirkuit listrik dari kerusakan akibat arus lebih. Ketika arus yang mengalir melebihi batas kapasitas fuse, elemen di dalam fuse akan meleleh, memutuskan aliran listrik, dan mencegah kerusakan lebih lanjut pada sistem atau peralatan. Dengan memutuskan sirkuit saat terjadi arus lebih, fuse membantu mencegah potensi kebakaran yang dapat disebabkan oleh overcurrent yang menyebabkan pemanasan berlebih pada kabel dan peralatan listrik. Fuse melindungi peralatan listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh lonjakan arus atau hubung singkat (*short circuit*) yang dapat merusak komponen elektronik.

2. Trafo Tegangan (Potensial Transformer)



Gambar 2.8 Trafo Tegangan (Potensial Transformer)

Trafo tegangan berperan dalam mengubah tegangan tinggi atau tegangan

menengah menjadi tegangan rendah. Fungsinya adalah untuk menyesuaikan tegangan dengan kebutuhan alat-alat pengukuran. Trafo ini terhubung dengan jaringan tegangan 20 kV melalui sebuah perantara fuse. Transformator ini dirancang khusus untuk mengukur tegangan tinggi dalam sistem kelistrikan dan mengurangnya ke tingkat tegangan yang lebih rendah, sehingga dapat diukur dengan aman menggunakan alat ukur standar. PT digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk menyediakan isolasi antara peralatan pengukuran dan tegangan tinggi dari jaringan listrik, serta untuk menstandarkan output ke tingkat yang dapat diukur dan dianalisis dengan alat ukur. Trafo tegangan mengurangi tegangan tinggi ke tingkat yang lebih rendah, biasanya menjadi 100 atau 110 volt, sehingga dapat diukur dengan aman menggunakan voltmeter, wattmeter, atau alat ukur lainnya.

Rumus transformator tegangan menyatakan bahwa tegangan pada sisi sekunder dari transformator berbanding langsung dengan tegangan pada sisi primer dan rasio jumlah lilitan antara kumparan sekunder (N_s) dan kumparan primer. Rumus ini dapat ditulis sebagai:

$$V_s = V_p \times \frac{N_s}{N_p}$$

Dimana:

- V_s adalah tegangan sekunder yang dihasilkan oleh transformator (dalam vol)
- V_p adalah tegangan yang diberikan pada kumparan primer (dalam volt, V)
- N_s adalah jumlah lilitan kawat pada kumparan sekunder
- N_p adalah jumlah lilitan kawat pada kumparan primer

Penjelasan: Dalam sistem kubikel 20 kV, transformator digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik sesuai kebutuhan. Rumus ini menggambarkan bagaimana perubahan jumlah lilitan pada kumparan primer dan sekunder mempengaruhi tegangan yang dihasilkan atau diterima oleh transformator. Rasio antara lilitan ini menentukan apakah tegangan akan naik (step-up) atau turun (step-down), yang merupakan prinsip dasar dalam pengoperasian transformator. Desain dan operasi kubikel 20 kV harus memperhitungkan hal ini untuk memastikan distribusi listrik yang aman dan efisien.

C. Kubikel Outgoing



Gambar 2.9 Kubikel Outgoing

Kubikel *outgoing* merupakan kubikel penghubung antara busbar 20 kV yang berada di dalam kubikel dengan jaringan tegangan menengah. Adapun di bawah ini komponen kubikel *outgoing* yaitu :

1. Pemutus Tenaga (*Circuit Breaker*)

Pemutus tenaga atau *Circuit Breaker* adalah suatu peralatan listrik yang digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus listrik sesuai dengan ratingnya. Circuit breaker ini dapat dioperasikan secara otomatis maupun manual dengan waktu pemutus atau penyambungan yang tetap sama, sebab factor ini ditentukan oleh struktur mekanisme yang menggunakan pegas.

2. Trafo Arus (current transformer)



Gambar 2.10 Current Transformator (CT)

Current Transformer (CT) adalah suatu peralatan transformator yang diletakkan dalam rangkaian tenaga listrik yang berguna sebagai peralatan ukur yang dihubungkan dengan relay pengaman. Dengan transformator arus dapat diperluas batas pengukuran suatu alat ukur.

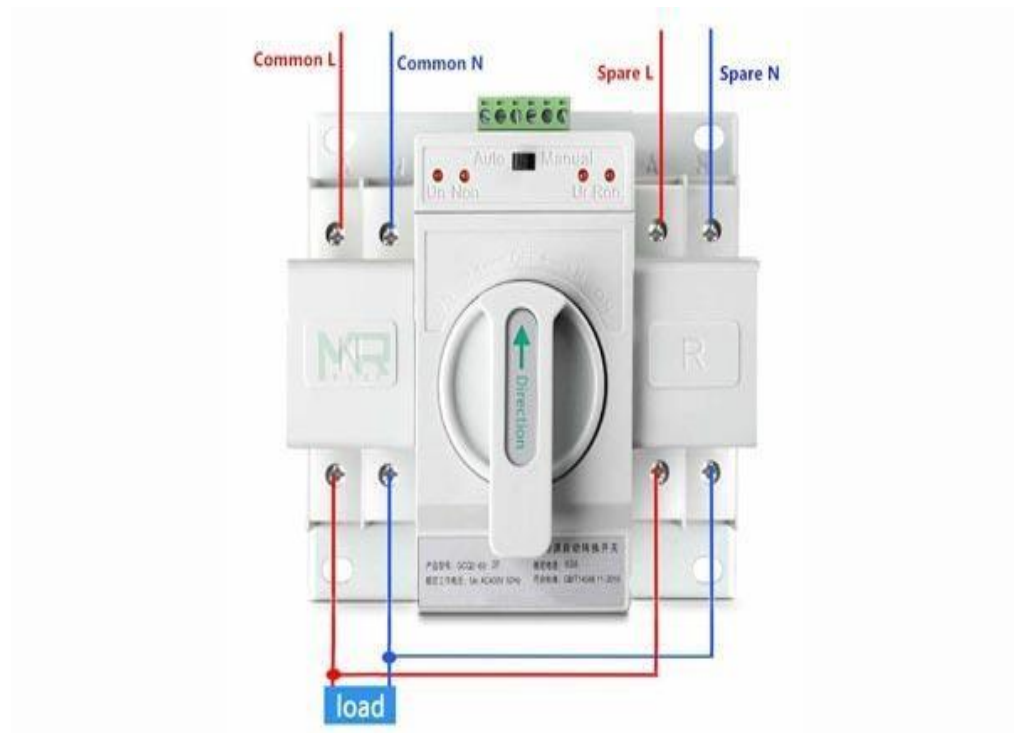
Pengukuran Arus Trafo arus memungkinkan pengukuran arus besar dengan mengubahnya menjadi arus yang lebih kecil, yang bisa diukur dengan alat ukur standar. Hal ini penting dalam sistem tegangan tinggi karena memungkinkan pengukuran tanpa risiko langsung dari arus tinggi. Isolasi Listrik CT memberikan isolasi antara sirkuit tegangan tinggi dan alat ukur, sehingga meningkatkan keselamatan operasi dan perlindungan peralatan. Proteksi Sistem Trafo arus digunakan dalam sistem proteksi untuk mendeteksi kondisi arus berlebih atau gangguan seperti hubung singkat. Arus yang dihasilkan oleh CT dapat digunakan untuk mengaktifkan relai proteksi, yang kemudian dapat memutus aliran listrik untuk melindungi sistem.

2.8 Automatic Transfer Switch (ATS)

ATS merupakan singkatan dari kata (*Automatic Transfer Switch*), jika dipahami berdasarkan arti kata tersebut maka ATS adalah sakelar yang bekerja otomatis, namun kerja otomatisnya jika sumber listrik dari PLN terputus atau mengalami pemadaman, maka sakelar akan berpindah ke sumber listrik yang lainnya misalnya adalah genset. Namun jika sumber listrik dari PLN menyala kembali maka sakelar tersebut akan berpindah kembali ke sumber PLN jika sumber listrik dari PLN kita rancang sebagai sumber listrik utama.[3]

Automatic Transfer Switch merupakan rangkaian control sakelar power inverter dengan PLN yang sudah *full automatic*. Alat ini berguna untuk menghidupkan dan menghubungkan power inverter ke beban secara otomatis pada saat PLN padam. Pada saat PLN hidup kembali, alat ini akan memindahkan sumber daya ke beban dari power inverter ke PLN. ATS merupakan sistem untuk menghubungkan beban dengan dua sumber tenaga listrik sumber utama dan cadangan yang terpisah untuk menjaga ketersediaan aliran daya listrik menuju beban. Secara sederhana fungsi ATS untuk melakukan transfer daya secara otomatis ke beban, dari sebuah sumber listrik prioritas (utama) ke sumber backup (cadangan) saat terjadi masalah pada sumber utama.[13]

Dalam perkembangan teknologi dunia elektrikal akhirnya merekaya kemudian di jalankan secara *Automatic* yang di singkat ATS (*Automatic Transfer Swicth*) yang di fungsikan secara otomatis untuk memindahkan daya sesuai dengan kebutuhan tanpa menggunakan tenaga manusia untuk mengoperasikannya. Beberapa jenis ATS di bedakan menurut kapasitas daya yang di butuhkan atau berdasarkan phasa dan ampere yang melalui panel tersebut, namun untuk prinsip kerja sama. Adapun gambar dari saklar ATS (*Automatic Transfer Switch*) yang ada dibawah ini yaitu sebagai berikut:



Gambar 2.11 Saklar ATS (*Automatic Transfer Switch*).

ATS merupakan singkatan dari kata (*Automatic Transfer Switch*), jika dipahami berdasarkan arti kata tersebut maka ATS adalah sakelar yang bekerja otomatis, namun kerja otomatisnya berdasarkan jika sumber listrik dari PLN terputus atau mengalami pemadaman, maka sakelar akan berpindah ke sumber listrik yang lainnya misalnya adalah genset. Namun jika sumber listrik dari PLN menyala kembali maka sakelar tersebut akan berpindah kembali ke sumber PLN jika sumber listrik dari PLN kita rancang sebagai sumber listrik utama [14].

Sistem ATS (*Automatic Transfer Switch*). Adalah alat yang berfungsi untuk Memindahkan koneksi antara sumber tegangan listrik satu dengan sumber tegangan listrik lainnya secara otomatis. Atau bisa juga disebut Otomatik COS (*Change Over Switch*) [15].

Manfaat utama dari panel ATS adalah terjaganya suplai listrik ketika terjadi gangguan pada suplai utama. Selain itu, panel ATS juga dapat mencegah bertemunya sumber utama yang digunakan sebagai suplai listrik (PLN grid) dengan generator yang difungsikan sebagai cadangan daya ketika suplai utama tidak

berfungsi. Fungsi lainnya adalah sebagai pengaman ketika daya utama telah dapat digunakan dan generator harus di matikan. Tanpa pengontrolan dari panel ATS, maka keselamatan peralatan listrik akan terganggu karena ketika generator gagal untuk menyuplai maka akan terjadi arus balik yang dapat merusak peralatan listrik.

Automatic Transfer switch merupakan rangkaian kontrol sakelar power inverter dengan PLN yang sudah full automatic. Alat ini berguna untuk menghidupkan dan menghubungkan power inverter ke beban secara otomatis pada saat PLN padam. Pada saat PLN hidup kembali, alat ini akan Memindahkan sumber daya ke beban dari power inverter ke PLN.

Dalam perkembangan teknologi dunia elektrikal akhirnya merekayasa hal tersebut kemudian di jalankan secara Automatic yang di singkat ATS (Auto Transfer Swich) yang di fungsikan secara otomatis untuk memindahkan daya sesuai dengan kebutuhan tanpa menggunakan tenaga manusia untuk mengoperasikannya. Beberapa jenis ATS di bedakan menurut kapasitas daya yang di butuhkan atau berdasar Phasa dan Ampere yang melalui panel tersebut, namun untuk prinsip kerjanya sama

2.9 Jenis-jenis Panel Listrik ATS

Berdasarkan komponen pendukungnya, panel ATS dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis.

1. Panel ATS Switch Berbasis Kontaktor

Panel ATS jenis ini menggunakan kontaktor yang akan bergerak jika tidak ada arus listrik. Rangkaian kontaktor akan didesain sehingga akan berpindah antara sumber utama dan generator backup. Akan tetapi kelemahan dari panel jenis ini adalah kurangnya proteksi ketika salah satu kontaktor rusak karena rangkaian kontaktor tidak akan berfungsi dengan baik. Jenis panel berbasis kontaktor ini memiliki spesifikasi manual dan otomatis. Manual control diperlukan dengan melakukan inisiasi untuk menentukan kerja dari panel, namun untuk proses change over dilakukan secara otomatis berdasarkan pendeteksi elektrik terhadap sumber

utama dan generator. Jenis kontaktor yang dipakai berupa magnetis kontaktor atau solenoid.

2. Panel ATS Berbasis Circuit Breaker

Berbeda dengan jenis kontaktor, panel ATS berbasis circuit breaker biasanya menggunakan *miniatur circuit breaker* (MCB) untuk kapasitas rendah atau *molded case circuit Breaker* (MCCB) untuk kapasitas medium dan tinggi. Panel ATS berbasis *Circuit Breaker* tidak hanya berfungsi untuk memindahkan fungsi suplai tetapi juga dapat memproteksi jika ada gangguan pada suplai seperti *overvoltage* atau *overcurrent*.

3. Panel ATS Berbasis COS Automatis

Panel jenis ini dilengkapi dengan Control Automatic terhadap kedua sumber listrik (utama dan generator backup). Mekanisme Change Over Switch (COS) dilakukan setelah diperoleh keputusan berdasarkan deteksi dan monitoring dari sumber dan beban. Jenis panel ini merupakan Advanced technology yang biasanya dilengkapi dengan mikrokontroler dan beberapa sensor pendeteksi.

2.9.1 Fungsi Manual Pada Panel ATS

Operasi manual pada panel biasanya terletak pada inisiasi awal dari fungsi yang akan bekerja. Sebagai contoh instruksi dari kontaktor yang akan digunakan dan posisi kontaktor. Selain itu mekanisme transfer yang biasa dilakukan secara otomatis juga dapat dilakukan secara manual jika terjadi permasalahan kontroler. Namun, perlu diperhatikan bahwa pengoperasian secara manual haruslah hanya menggunakan satu sumber saja. Hal ini berarti jika ingin mengalihkan sumber daya kepada main power, maka standby generator akan harus diap dalam keadaan off, begitupun sebaliknya.

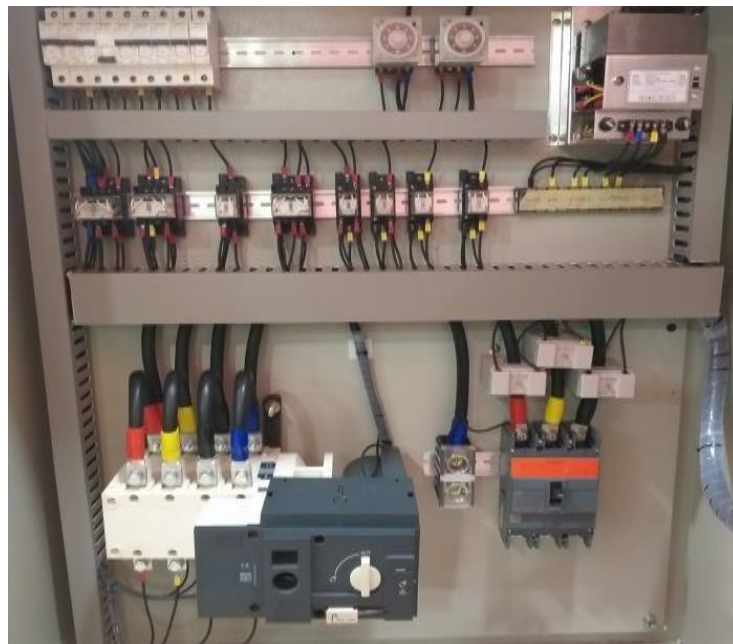
2.9.2 Fungsi Kerja Automatis Pada Panel ATS

Automatic motorized panel ATS, fungsi pendeteksi, pengontrolan, monitoring dan proteksi dilakukan secara otomatis. Biasanya user akan melakukan pemrograman terlebih dahulu sebelum panel tersebut bekerja. Proses pengontrolan dimulai dari mendeteksi sumber yang tersedia, lalu mengambil keputusan sesuai

pemrograman yang telah di inisiasikan, melakukan transfer termasuk mengaktifkan generator, melakukan proteksi jika sewaktu-waktu sumber utama aktif kembali dan melakukan pengalihan kembali pada main supply dengan mematikan generator.

Jenis pengontrolan otomatis dilakuakn yaitu control transisi terbuka dan control transisi tertutup. Pada control transisi terbuka, pemutus dilakukan sebelum pengalihan. Hal ini terdiri dari transisi terbuka berdasarkan sumber sephasa,transisi terbuka berdasarkan waktu tunda pengalihan netral, transisi terbuka dengan waktu tunda penurunan tegangan dan transisi terbuka dengan perubahan antara sumber sephasa menjadi waktu tunda.

Adapun gambar panel ATS (Automatic Transfer Switch) yaitu sebagai otoatis yang ada dibawah ini:



Gambar 2.12 Panel ATS dengan otomatis

2.10 Komponen-Komponen Automatic Tranfer Switch (ATS)

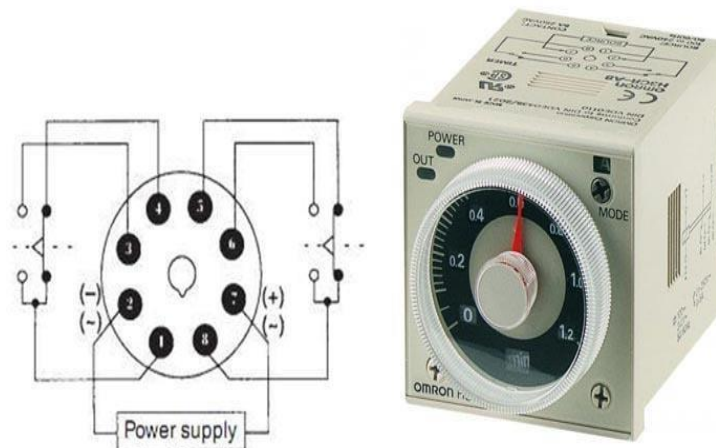
1. Relay

Relay terdiri dari lilitan atau solenoid, inti feromagnetik, dan lengan yang dapat bergerak tempat terpasangnya kontak penyambung dan pemutus arus. Ketika magnet aktif, lengan logam ditarik, menyebabkan kontak terhubung atau terputus.

Hilangnya arus pada lilitan mengakibatkan kehilangan magnetisme, dan kontak kembali ke posisi awal. Relay berfungsi sebagai switch listrik yang mengendalikan hubungan antara satu atau lebih kontak, memungkinkan pembukaan atau penutupan sirkuit arus. Dengan tegangan atau arus rendah di lilitan, relay mampu mengendalikan sirkuit bertegangan tinggi. Prinsip kerjanya berdasarkan elektromagnetisme, di mana arus kecil dapat mengendalikan kontak untuk mengalirkan arus bertegangan tinggi.[16]

2. Time Delay Relay (TDR)

TDR adalah suatu piranti yang menggunakan elektromagnet untuk mengoperasikan seperangkat kontak saklar, sering disebut juga relay timer atau relay penunda batas waktu banyak digunakan dalam instalasi motor terutama instalasi yang membutuhkan pengaturan waktu secara otomatis. TDR juga merupakan salah satu komponen yang digunakan pada instalasi tenaga listrik pada aplikasi yang menggunakan penundaan utama TDR adalah kontak-kontak relay baik NO (*normally open*) dan NC (*normally close*) yang akan bekerja berdasarkan seting waktu tertentu.



Gambar 2.13 Bentuk Simbol TD

3. Kontaktor

Magnetic Contactor (MC) adalah sebuah komponen yang berfungsi sebagai penghubung/kontak dengan kapasitas yang besar dengan menggunakan daya minimal.

Sebuah kontaktor terdiri dari koil, beberapa kontak Normally Open (NO) dan beberapa Normally Close (NC). Pada saat satu kontaktor normal, NO akan membuka dan pada saat kontaktor bekerja, NO akan menutup. Sedangkan kontak NC sebaliknya yaitu ketika dalam keadaan normal kontak NC akan menutup dan dalam keadaan bekerja kontak NC akan membuka.



Gambar 2.14 Kontaktor

4. *Miniature Circuit Board* (MCB)

MCB bekerja dengan cara pemutusan hubungan yang disebabkan oleh aliran listrik lebih dengan menggunakan electromagnet/ bimetal. cara kerja dari MCB ini adalah memanfaatkan pemuai dari bimetal yang panas akibat arus yang mengalir untuk memutuskan arus listrik. Cara mengetahui daya maksimum dari MCB adalah dengan mengalikan kapasitas dari MCB tersebut dengan 220VAC.

Adapun beberapa kegunaan MCB :

- 1) Membatasi Penggunaan Listrik.
- 2) Mematikan listrik apabila terjadi hubungan singkat(korslet).
- 3) Mengamankan Instalasi Listrik
- 4) Membagi rumah menjadi beberapa bagian listrik, sehingga lebih mudah untuk mendeteksi kerusakan instalasi listrik.



Gambar 2.15. *Miniature Circuit Board* (MCB)

5. Alat Ukur

Pada ATS - AMF alat ukur untuk menunjukkan secara langsung besaran yang ingin diketahui. Alat ukur tersebut yaitu amperemeter dan voltmeter. Amperemeter adalah alat untuk mengukur kuat arus listrik dalam rangkaian tertutup.



Gambar 2.16 Bentuk fisik alat ukur.

6. Kabel Duct

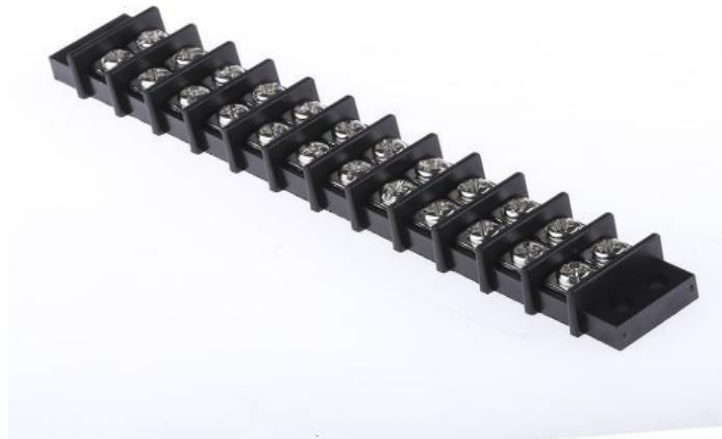
kabel duct atau dak kabel adalah semua jenis rumah kabel yang konstruksinya dirancang khusus untuk dipasang dibawah permukaan tanah dan pemasangannya harus diletakkan dalam pipa-pipa di bawah permukaan tanah.



Gambar 2.17 Duct kabel

7. Terminal Kabel Terminal

Terminal kabel atau soket kabel adalah salah satu komponen yang diperlukan saat kita membuat rangkaian listrik.



Gambar 2.18 Terminal Kabel 7

8. Multimeter Digital

Multimeter digital adalah alat ukur yang dapat mengukur besaran seperti tegangan, arus dan hambatan. Nilai terukur ditampilkan pada tampilan digital,

sehingga dapat dibaca dengan mudah dan langsung, bahkan oleh pengguna pertama kali.



Gambar 2.19 Multimeter digital

9. Lampu Indikator

Lampu indikator atau pilot lamp digunakan pada panel untuk mengetahui apakah ada aliran listrik yang masuk pada panel tersebut, jika terdapat aliran listrik yang masuk maka lampu pilot akan menyala.



Gambar 2.20 Lampu Indikator

10. Baterai

Baterai adalah alat yang digunakan untuk mengubah energi kimia menjadi energi listrik yang selanjutnya untuk mengoperasikan perangkat atau alat elektronik atau mesin listrik.



Gambar 2.21 Baterai Generator Set

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Pelindo Belawan Jl. Sumatera, Belawan 1, Medan Kota Belawan, Kota Medan, Sumatera Utara 20411, Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei-juni 2023.

3.2 Bahan Dan Peralatan Penelitian

Pada tahap penelitian ini memerlukan beberapa alat dan bahan yang diperlukan antara lain:

3.2.1 Bahan Yang Digunakan

Adapun komponen yang digunakan untuk melakukan tahap perencanaan yang ada di kubikel antar lain sebagai berikut:

1. MCB 3 Phase

Adalah alat yang digunakan yang berfungsi sebagai pemutus arus listrik serta sebagai pengaman dari beban lebih (*Overload*) dan hubung singkat (*Short Circuit*) dalam instalasi listrik 3 fasa, (R S T)

2. *Magnetic Contactor*

Adalah komponen listrik berupa sakelar listrik (penghubung atau pemutus aliran listrik) yang berfungsi sebagai pengendali motor maupun komponen listrik lainnya, biasanya digunakan oleh induksi pabrik yang memiliki rangkaian control.

3. Transformator CT

Adalah komponen listrik yang berfungsi untuk mengonversi besaran arus pada sistem tenaga listrik dari besaran primer menjadi besaran sekunder untuk keperluan pengukuran sistem metering dan proteksi.

4. Busbar

Adalah susunan konduktor yang biasanya berupa pelat tembaga atau aluminium yang digunakan dalam sebuah panel kelistrikan untuk mendistribusikan atau menghantarkan energi listrik sesuai keperluan.

5. Switch Voltmeter

Adalah alat pengaturan yang digunakan untuk memilih tegangan listrik diantara ketiga jalur listrik (R S T) dan antara jalur listrik dengan netral (N) yang akan diukur dengan voltmeter.

6. Amperemeter AC

Adalah alat ukur yang berfungsi untuk mengukur kuat arus listrik yang mengalir pada suatu rangkaian listrik AC. Di mana amperemeter dipasang seri dengan hambatan dalam suatu rangkaian listrik AC.

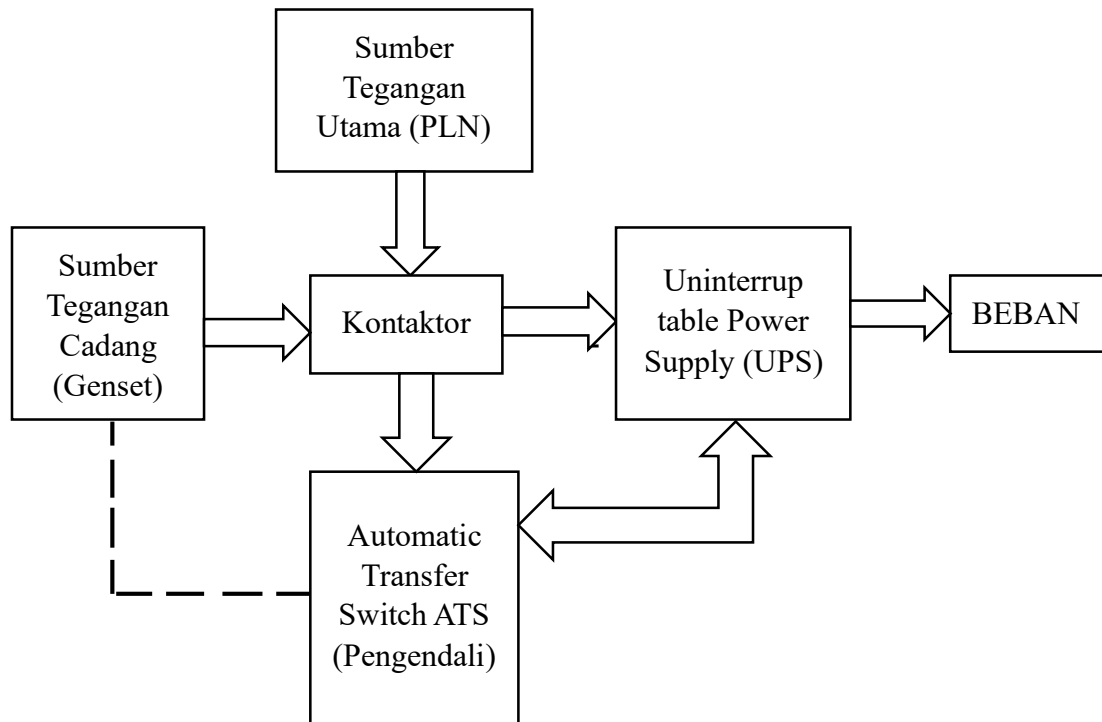
7. Voltmeter AC

Adalah alat ukur yang berfungsi untuk mengukur tegangan listrik AC yang dipasang parallel dengan dalam suatu rangkaian listrik.

8. Lampu Indikator

Adalah komponen yang berfungsi untuk mengetahui apakah rangkaian bekerja dengan benar atau tidak, serta berfungsi untuk tanda peringatan jika terjadi sesuatu.

3.3 Blok Diagram Rangkaian Alat



Gambar 3.3. Blok Diagram *Automatic Transfer Switch (ATS)*

Cara kerja ATS itu arusnya PLN yang akan masuk menuju kontaktor setelah arus masuk kekontaktor maka arus akan tersebut ke power supply yang mana power supply ini fungsinya untuk mengubah arus dari AC ke DC, maka arus akan mengalir lagi ke sebuah beban maka beban akan bekerja. Ketika di dalam sebuah power supply ada kendala atau gangguan maka power supply akan mengirim arus masuk ke ATS maka secara langsung ATS akan bekerja dengan menirim arus secara otomatis masuk ke sumber tegangan atau di sebut juga genset, maka genset tersebut langsung bekerja untuk mengirim arus ke sebuah perusahaan yang membutuhkan.

ATS atau (*Automatic Transfer Switch*) merupakan proses perintah pemidahan penyulang sumber tegangan yang lainnya secara bergantian sesuai dengan perintah program *Automatic Transfer Switch (ATS)* adalah pengembangan dari COS atau biasa disebut dengan *Change Over Switch* adapun perbedaan dari keduanya yaitu

ATS sudah dapat beroperasi dengan secara otomatis namu sedangkan dengan COS masih beroperasi dengan secara manual.

Komponen-komponen penyusun ATS yaitu lampu indikator, kontaktor dan relay-relay. Kontaktor berjumlah dua unit yaitu satu unit untuk kontaktor genset dan satu unit yang lain untuk kontaktor PLN. Prinsip dua kontaktor ini ialah ketika salah satu kontaktor bekerja, maka kontaktor yang lain akan terkunci atau interlock. Sehingga hanya satu suplai daya yang dapat terhubung ke beban serta menghindari terhubungnya suplai daya utama dengan suplai daya cadangan.

3.4 Metode penelitian

Adapun tahap dari penelitian dengan tahapan konsultasi dengan dosen pembimbing, studi literature, pembuatan profosal, pengambilan data, analisa data dan pembuatan laporan.

3.4.1 Studi Literatur

Data di dapatkan dari berbagai refrensi serta informasi yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Sumber informasi diperoleh diantaranya dari buku, artikel, skripsi, dan karya-karya ilmiah lainnya.

3.4.2 Pengumpulan Data

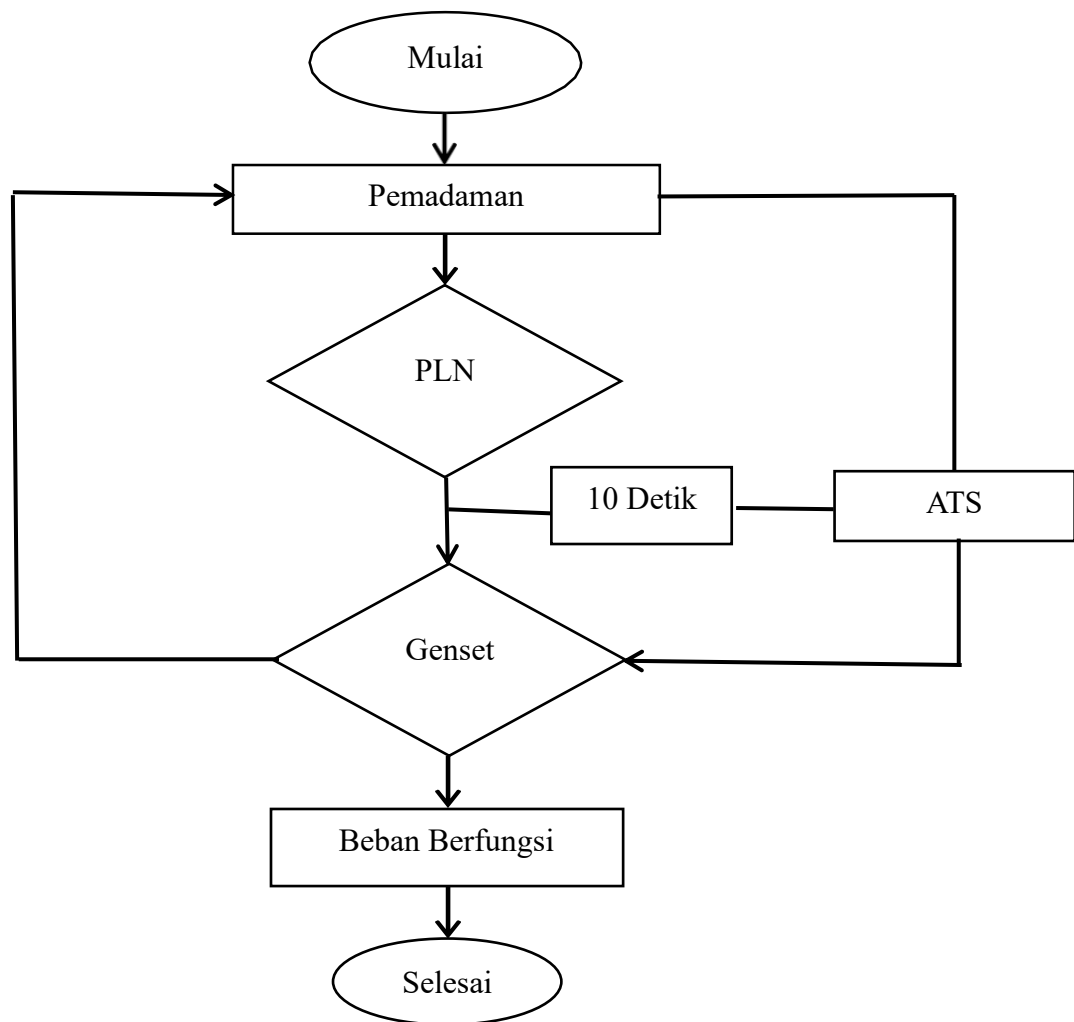
Pada penelitian kali ini diperhitungkan *load factor* menggunakan perhitungan secara manual dengan berdasarkan data dari PT Pelindo Belawan 3 tahun terakhir, sedangkan penentuan setting ATS pada penyulang dilakukan dengan memperhitungkan efesiensi waktu padam pelanggan. Data-data tersebut nantinya dipergunakan dalam perencanaan penggunaan *cubicle double incoming* secara lebih lanjut.

3.4.3 Pengolahan Data

Dalam penelitian ini persiapan segala sesuatu yang bersangkutan dengan proses perencanaan dan analisa, dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menghitung *Load Factor* penyulang berdasarkan WBP. Langkah ini ditunjukkan untuk menentukan beberapa besar faktor beban penyulang berdasarkan perhitungan beban puncak rata-rata dan beban puncak tertinggi.
2. Merencanakan penggunaan jenis *Cubicle Double Incoming*. Perencanaan dalam memilih cubicle yang digunakan disarkan dengan melihat karakteristik beban pelanggan PLN serta faktor beban yang telah dihitung pada masingmasing penyulang.
3. Menganalisa kinerja ATS dengan *setting* penyulang normal dan *standby*. Dalam pemilihan setting ATS akan dilakukan dengan menganalisa efesiensi lama waktu padam yang terjadi pada penyulangan yang akan dipergunakan.

3.5 Flowchart Perancangan Sistem



Gambar 3.5 Flowchart Penelitian

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini penulis membahas mengenai gambaran umum, data jumlah pelanggan dan gangguan penyulang PT PLN (Persero) Belawan yang kemudian menjadi dasar dalam penggunaan *Automatic Transfer Switch (ATS) double Incoming* dalam sistem jaringan 20 kV di PT. Pelindo Belawan. Data yang di peroleh merupakan data gangguan penyulang dari tahun 2022-2024.

4.1 Data pelanggan PLN UP3 Medan Utara di PT. Pelindo Belawan

PLN UP3 Medan Utara memiliki jumlah pelanggan 532.970 yang tersebar di seluruh bagian medan utara. Pelanggan PT. PLN (Persero) UP3 Medan Utara pelanggan rumah tangga (R) sebanyak 502.106 pelanggan, selanjutnya oleh pelanggan tarif sosial (S) sebanyak 4.650, pelanggan yang termasuk dalam kategori komersil (K) berjumlah sebanyak 18.884, pelanggan industri (I) berjumlah sebanyak 926, pelanggan kantor pemerintah (P) berjumlah sebanyak 441, pelanggan PJU (J) berjumlah sebanyak 2.954, pelanggan layanan khusus (L) berjumlah sebanyak 3.541. Berikut table pelanggan PT PLN (Persero) UP3 Medan Timur per tarif.

Tabel 4.1 Pelanggan Berdasarkan Tarif

No	Pelanggan Per Tarif	Jumlah (Pelanggan)
1	R (Rumah Tangga)	502.106
2	S (Sosial)	4.650
3	K (Komersil)	18.884
4	I (Industri)	926
5	P (Kantor Pemerintah)	441

6	J (PJU)	2.954
7	L (Layanan Khusus)	3.541

(Sumber: Data Kinerja AMU 2021)

Adapun data pelanggan PT PLN UP3 Medan Utara di PT. Pelindo Belawan sebanyak 2 pelanggan.

Tabel 4.2 Pelanggan di penyulang PT. Pelindo Belawan

No	Nama Pelanggan	Alamat	Tarif	Daya (kVA)	Faktor Kali	UP3
1	PT. Pelindo Belawan	Belawan 1, Medan Kota Belawan, Kota Medan	B3	49.569 (kVA)	1.432 A	Medan Utara
2	PT. Prima Terminal Petikemas	Belawan 1, Medan Kota Belawan, Kota Medan	B3	8.660 (kVA)	250 A	Medan Utara

4.2 Data Jumlah Gangguan Penyulangan PT PLN (Persero) UP3 Medan Utara

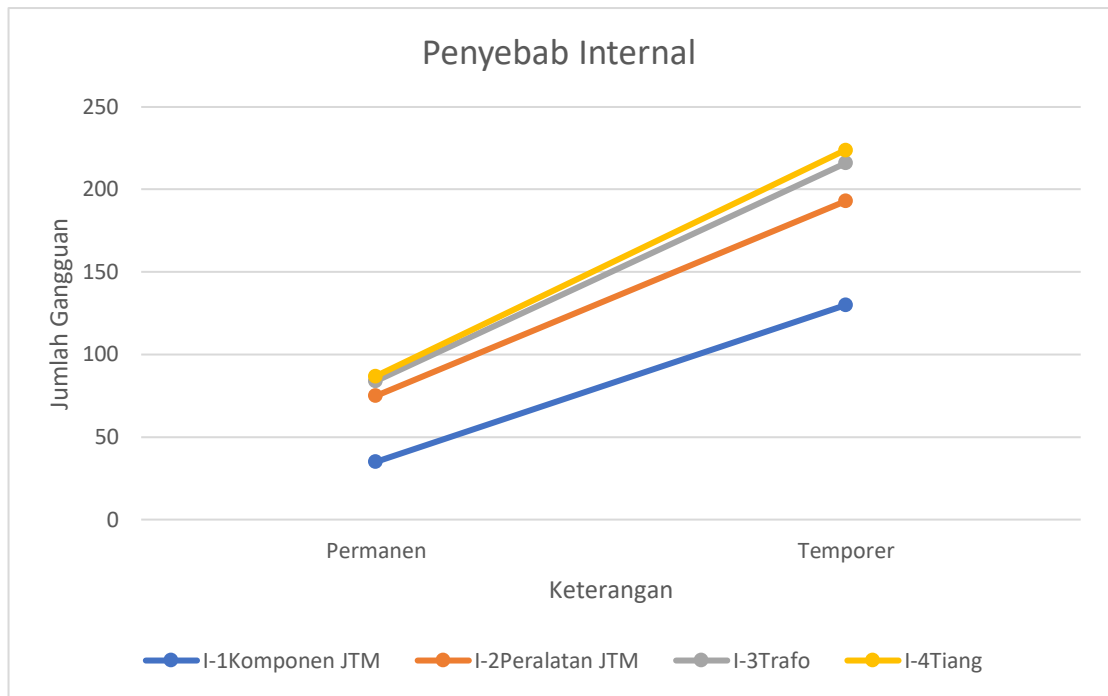
Sepanjang 2022-2024, UP3 Medan Utara memiliki jumlah gangguan terbesar. Gangguan yang terjadi juga dikarenakan beberapa faktor. Adapun tabel penyebab gangguan penyulang berdasarkan penyebab sebagai berikut:

Tabel 4.3 Penyebab Gangguan Penyulang

Penyebab		Temporer	Permanen	Total
Eksternal	E-1 Pohon	30	15	45
	E-2 Bencana Alam	45	35	80
	E-3 Pekerja Pihak III/Binatang	20	11	31
	E-4 Layang-layang /Umbul-umbul	200	60	260
Internal	I-1 Komponen JTM	130	35	165
	I-2 Peralatan JTM	63	40	103
	I-3 Trafo dan Lainnya	23	9	32
	I-4 Tiang	8	3	11

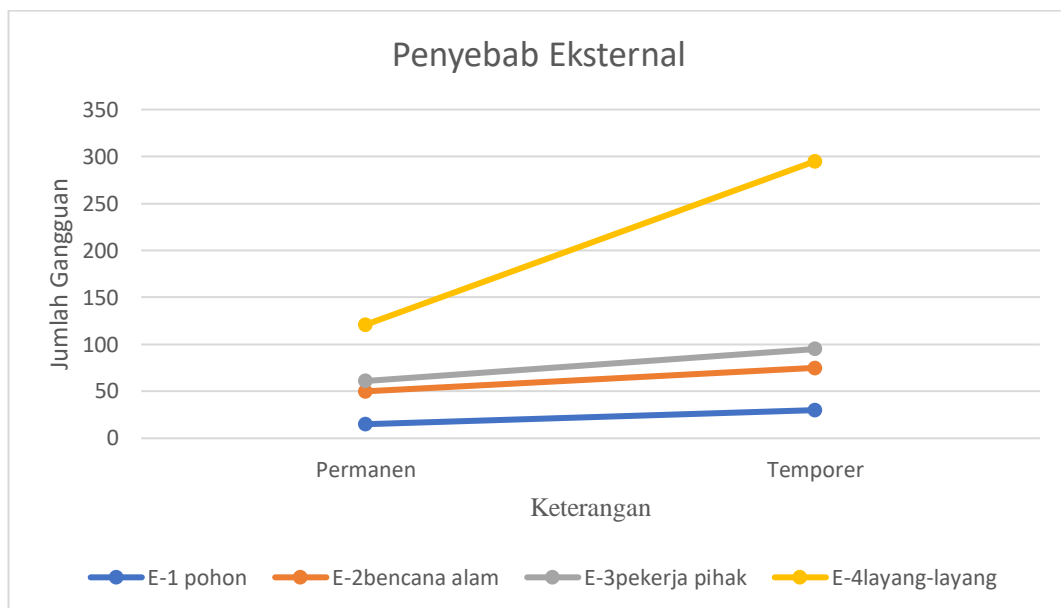
(Sumber Data Kinerja UP3 Medan Utara 2020)

Berikut ini adalah diagram penyebab gangguan penyulangan :



Gambar 4.1 Diagram Penyebab Internal gangguan penyulang

(Sumber: Data Kinerja UP3 Medan Utara 2020)



Gambar 4.2 Diagram Penyebab Eksternal Gangguan penyulang

(Sumber : Data kinerja UP3 Medan Utara 2020)

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa gangguan yang terjadi pada penyulang di tahun 2020 terdiri atas berbagai sebab dan pada gambar 4.2 penyebab Eksternal terbanyak adalah layang-layang/umbul-umbul dan lain-lain (tidak ditemukan) sebanyak dua ratus enam puluh kali, bencana alam sebanyak delapan puluh kali, pohon sebanyak empat puluh lima kali, dan gangguan pekerjaan pihak III/Binatang sebanyak tiga puluh satu kali. Sedangkan gangguan internal penyebab terbesar itu adalah komponen JTM sebesar seratus enam puluh lima kali, peralatan JTM seratus tiga puluh kali, Trafo dan lainnya sebanyak tiga puluh dua kali, dan gangguan pada tiang sebanyak sebelas kali.

4.3 Kestabilan Tegangan Dalam Perpindahan ATS Ke Genset

Kestabilan tegangan saat terjadi gangguan dan perpindahan dari ATS (*Automatic Transfer Switch*) ke genset adalah hal penting untuk menjaga kualitas suplai listrik. Saat terjadi gangguan, ATS secara otomatis mengalihkan sumber daya ke genset. Selama proses ini, tegangan harus dijaga agar tetap stabil. Ini melibatkan beberapa faktor seperti waktu peralihan yang cepat, kualitas tegangan dari genset, dan pembagian beban yang merata. Penggunaan alat seperti *Automatic Voltage Regulator (AVR)* membantu menjaga stabilitas tegangan selama transisi ini.

Sumber Daya Listrik Dari Pembangkit Sendiri (Genset) Di PT. Pelindo Belawan terdapat dua unit genset yang terpasang. Kedua genset ini merupakan sumber cadangan yang di gunakan PT. Pelindo Belawan sebagai backup sumber daya listrik apa bila terjadi terputusnya sumber daya utama yaitu dari PLN. Adapun dua unit ini masih digunakan 1 unit sebagai cadangan utama dan 1 unit sebagai cadangan ke 2, adapun kedua genset tersebut diantaranya :

1. Genset Dorman 1250 KVA
2. Genset Deutz MWM 1100 KVA

4.3.1 Perbaikan Faktor daya

Demi memaksimalkan back-up sistem pada Telkom bagian catu daya maka perlu di lakukan upaya untuk memperbaiki faktor daya atau nilai $\cos \phi$. Nilai $\cos \phi$ sebelumnya adalah 0.8 dan nilai $\cos \phi$ yang diinginkan ialah 0.98. untuk

memperbaiki faktor daya maka dilakukan cara kompensasi daya reaktif atau memasang kapasitor bank pada panel ATS untuk mengetahui kebutuhan dari kapasitor bank tersebut maka di lakukan perhitungan pada persamaan (14) sebagai berikut :

$$Q_c = Px (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

Perbaikan Faktor Daya :

$\cos \varphi = 0.8$ maka $\tan \varphi = 36,68$ dan akan di perbaiki menjadi : $\cos \varphi = 0,98$ maka $\tan \varphi = 11,48$

- Genset dorman 1250 KVA

$$Q_c = 1000000 (\tan 36,86 - \tan 11.48)$$

$$Q_c = 1000000 (0.749 - 0.203)$$

$$Q_c = 1000000 (0.546)$$

$$Q_c = 546000 \text{ VAR}$$

$$Q_c = 546 \text{ KVAR}$$

- Genset deutz MWM 1100 KVA

$$Q_c = 880000 (\tan 36,86 - \tan 11.48)$$

$$Q_c = 880000 (0.749 - 0.203)$$

$$Q_c = 880000 (0.546)$$

$$Q_c = 480480 \text{ VAR}$$

$$Q_c = 480,480 \text{ KVAR}$$

4.3.2 Hasil perbaikan Suplai Daya Untuk Beban

Dengan perbaikan faktor daya, maka daya yang dimaksimalkan dapat dihitung dengan rumus pada persamaan (13) :

$$P = V x \sqrt{3} x I x \cos \varphi$$

- Genset dorman 1250 KVA

$$P = V x \sqrt{3} x I x \cos \varphi$$

$$P = S x \cos \varphi$$

$$P = 1250000 x 0.98$$

$$P = 1225000 \text{ Watt}$$

$$P = 1225 \text{ KW}$$

- Genset deutz MWM 1100 KVA

$$P = V \times \sqrt{3} \times I \times \cos \varphi$$

$$P = S \times \cos \varphi$$

$$P = 1100000 \times 0.98$$

$$P = 1078000 \text{ Watt}$$

$$P = 1078 \text{ KW}$$

4.3.3 Penentuan Kapasitas ACB ATS

Dalam menganalisa kualitas daya diperlukan juga data penentuan kapasitas ATS yang digunakan apakah sesuai dengan arus yang di keluarkan oleh genset atau

tidak. Untuk itu diperlukan perhitungan sebagai berikut : $I = \frac{P}{V \times \sqrt{3} \times \cos \varphi}$

- Genset dorman 1250 KVA

$$I = \frac{P}{V \times \sqrt{3} \times \cos \varphi}$$

$$I = \frac{1000000}{380 \times \sqrt{3} \times 0.98}$$

$$I = \frac{1000000}{380 \times \sqrt{3} \times 0.98}$$

$$I = \frac{1000000}{646.015}$$

$$I = 1547 \text{ A}$$

- Genset deutz MWM 1100 KVA

$$I = \frac{P}{V \times \sqrt{3} \times \cos \varphi}$$

$$I = \frac{880000}{380 \times \sqrt{3} \times 0.98}$$

$$I = \frac{880000}{380 \times \sqrt{3} \times 0.98}$$

$$I = \frac{880000}{646.015}$$

$$I = 1362 \text{ A}$$

4.3.4 Frekuensi Yang Bekerja Pada Generator

Besarnya frekuensi kerja pada generator sinkron berbanding lurus dengan kecepatan putar rotor. Rumus yang umum digunakan adalah seperti berikut :

$$f = \frac{P}{2} \times \frac{n}{60 \text{ Hz}}$$

- Genset dorman 1250 KVA

$$f = \frac{4}{2} \times \frac{1500}{60 \text{ Hz}} = 50 \text{ Hz}$$

- Genset deutz MWM 1100 KVA

$$f = \frac{4}{2} \times \frac{1500}{60 \text{ Hz}} = 50 \text{ Hz}$$

Jadi dengan kecepatan rotor 1500 rotor per menit dapat menghasilkan frekuensi stabil pada angka 50 Hz.

4.4 Peralihan Beban

Penelitian ini dilakukan menggunakan simulasi, simulasi dilakukan dengan menggunakan Genset dorman 1250 KVA dan sumber PLN dengan Standart Nasional Indonesia. Sebelum simulasi di lakukan panel ATS di setting untuk batas masing-masing parameter untuk persiapan genset masuk beban yaitu: untuk tegangan batas bawahnya adalah 196 V pre-alarm dan 184 V genset *shutdown*, dan batas atasnya adalah 265 V pre-alarm dan 277 genset shutdown, untuk frekuensi batas bawahnya adalah 42 Hz pre-alarm dan 40 Hz genset *shutdown*, dan batas atasnya 55 Hz prealarm dan 57 Hz genset shutdown, dan untuk arus lebih dari 1500 A di bebani *breaker trip*. Settingan ini sama untuk kondisi PLN siap di bebani.

Ketika PLN di padamkan secara manual, 10 detik sumber dinyatakan putus, secara bersamaan ATS memerintahkan Genset untuk start awal 10 detik, 10 detik berikutnya safety on delay dan 10 detik untuk warming up kemudian genset siap dibebani, 5 detik berikutnya beban dari PLN pindah ke Genset, memerlukan 1 sampai 2 menit untuk seluruh beban di PT. Pelindo Belawan di tangani oleh genset. Kemudian ketika PLN dihidupkan manual 30 detik waktu dibutuhkan return delay

untuk melepas beban, setelah beban lepas dari genset di saat yang sama 5 detik beban pindah ke PLN dan 2 menit waktu untuk genset melakukan cooling down dan beban sudah di tanggung oleh PLN sepenuhnya. Setelah cooling down berhasil kemudian genset memerlukan 30 detik untuk kondisi off.

4.5 Analisis

Pada perbaikan faktor daya dimaksudkan agar daya yang digunakan pada genset bisa di maksimalkan dan dari perbaikan tersebut dapat menentukan berapa kapasitas kapasitor yang dapat direkomendasikan, pada genset dorman 1250 KVA daya yang digunakan dari 1000000 Watt dapat dimaksimalkan menjadi 1225000 Watt dengan perubahan faktor daya dari 0,8 menjadi 0,98 dengan merekomendasikan penggunaan kapasitor bank berjumlah 12 buah dengan kapasitas 50 KVAR, akan tetapi PT. Pelindo Belawan menggunakan kapasitor bank berjumlah 12 buah dengan kapasitas 20 KVAR yang juga tidak digunakan lagi. Begitu juga dengan genset deutz 1100 KVA daya yang dimaksimalkan dari 880000 Watt menjadi 1078000 Watt dengan melakukan perubahan faktor daya dari 0,8 menjadi 0,98, dengan begitu pada penelitian ini dapat merekomendasikan penggunaan kapasitor bank berjumlah 10 buah dengan kapasitas 50 KVAR, pada genset ini PT. Pelindo Belawan juga menggunakan kapasitor bank berjumlah 12 buah dengan kapasitas 20 KVAR yang saat ini tidak digunakan lagi.

Pada penentuan ACB menurut perhitungan masing-masing genset ke ATS di rekomendasikan menggunakan 1600 A dan 1400 A, sedangkan pada PT. Pelindo Belawan menggunakan ACB dengan kapasitas 1600 A untuk kedua ATS, hal ini dimaksudkan untuk perkiraan jangka panjang kedepannya dikarenakan PT. Pelindo Belawan pasti akan menambah beban kedepannya karena penambahan-penambahan prangkat, dan di lihat dari sisi biaya, pengadaan untuk ACB itu sendiri dinilai cukup besar biayanya.

Berdasarkan perhitungan besar beban daat ini PT. Pelindo Belawan pada beban Fleksi adalah 45,56 A dengan presentase jatuh tegangan yang kecil yaitu 0,011% maka kapasitas MCCB yang disarankan adalah MCCB dengan kapasitas

50 A untuk pemasangan pada ATS, tetapi PT. Pelindo Belawan menggunakan ACB dengan kapasitas 1250 A dinilai terlalu jauh dan sangat tidak efisien. Juga pada beban Centrum memiliki beban sebesar 782.66 A dengan presentase jatuh tegangan 0,19% maka kapasitas MCCB yang disarankan adalah ACB dengan kapasitas 800 A, di sini PT. Pelindo Belawan juga menggunakan ACB dengan kapasitas 1250 A yang tidak sesuai atau dinilai tidak efisien.

Kualitas daya juga termasuk melihat frekuensi yang bekerja pada genset, pada penelitian ini pengamatan pada frekuensi dilakukan melihat pada panel dan menghitung, pada hasilnya biasa dikatakan sama, namun pada settingan modul *Deep Sea Electronics DSE7320* memiliki batas atas dan bawah yang cukup lebar yaitu untuk frekuensi batas bawahnya adalah 42 Hz pre-alarm dan 40 Hz genset shutdown, dan batas atasnya 55 Hz pre-alarm dan 57 Hz genset *shutdown*, padahal pada referensi SPLN frekuensi memiliki batas bawah 49.5 Hz dan batas atas 50,5 Hz, berhasil starting genset hingga dapat dibebani. Dinilai tidak sesuai dengan ketentuan SPLN.

Pada penelitian ini menggunakan Genset dorman 1250 KVA dan sumber PLN. Simulasi di lakukan pada panel ATS di setting untuk batas atas dan bawah masing-masing parameter untuk persiapan genset masuk beban yaitu: untuk tegangan batas bawahnya adalah 196 V pre-alarm dan 184 V genset *shutdown*, dan batas atasnya adalah 265 V pre-alarm dan 277 genset shutdown, dan untuk arus, lebih dari 1500 A *breaker trip* tetapi genset tidak *shutdown*. Settingan ini sama untuk kondisi PLN siap di bebani. Yang dimana sudah sesuai dengan referensi SPLN 198 V untuk batas bawah tegangan dan 231 V untuk batas tegangan, pada frekuensi memiliki batas bawah 49.5 Hz dan batas atas 50,5 Hz, berhasil starting genset hingga dapat dibebani.

4.6 Perhitungan *Load Factor* Pada Penyulang Pelanggan Potensial PLN UP3 Medan Utara

Perhitungan *Load Factor* pada penyulang dilakukan untuk mengetahui beberapa besar faktor beban pada tiap penyulang di GI Belawan, dengan acuan ini maka dapat ditentukan penyulang yang akan di pergunakan dalam *cubicle double incoming*. Data yang diambil berdasarkan perhitungan beban puncak rata-rata dan beban puncak tertinggi yang diambil pada bulan Desember 2021. Berikut contoh perhitungan untuk penyulang di PT. Pelindo Belawan:

WBP = (Waktu Beban Puncak). WBP rata-rata terjadi pada pukul 17.00-22.00 dengan pengukuran dilakukan selama 7 hari.

$$WBP = 297+297+297+154+175+260+220 = 1700$$

$$\text{Average WBP} = \frac{1700}{7} = 242,857$$

Peak Demand (puncak kebutuhan) beban diambil dari beban puncak tertinggi yang diambil dari data 7 hari. *Peak Demand* = 297

Load Factor (faktor beban) adalah perbandingan beban rata-rata terhitung dengan puncak beban terhitung.

$$\text{Load Factor} = \frac{\text{Average WBP}}{\text{Peak Demand}} = \frac{242,857}{297} = 0,817$$

Load Factor tersebut adalah persentase faktor beban terhadap penyulang dari beban rata-rata di bagi dengan beban puncak, dalam *cubicle double incoming* akan terjadi perpindahan LBS penyulang normal ke LBS penyulang standby jika terjadi gangguan atau pemadaman. Pengaruh besar *Load Factor* pada *cubicle* terhubung dengan beban 2 penyulang yang dipasang di kedua *incoming*, jika *Load Factor* pada penyulang 1 dan penyulang 2 sudah mencapai 0,9 atau lebih, maka pemakaian ATS di penyulang 1 dan penyulang 2 sudah tidak optimal lagi. Berikut adalah data dari pelanggan dengan daya kontrak 1 MVA pada PLN UP3 Medan Utara yang di suplai dari Gardu Induk PT Pelindo 150 kV.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan *Load Factor* pada seluruh penyulang GI Belawan.

BEBAN PUNCAK PENYULANG UP3 MEDAN UTARA			
Tanggal	Penyulang GI Belawan		
	PT. SMART Tbk Bulking	PT. Tangki Sawit Terminal	PT. Prima Terminal Petikemas
1	85	122	97
2	85	137	94
3	115	168	85
4	118	179	243
5	118	157	125
6	110	52	158
7	106	50	156
8	104	48	145
9	104	48	94
10	105	51	80
11	111	51	147
12	118	54	144
13	110	52	145
14	118	50	156
15	118	135	138
16	106	134	103
17	104	126	90
18	107	131	142
19	100	144	140
20	102	134	132
21	102	138	136
22	118	139	116
23	107	156	101
24	106	162	75

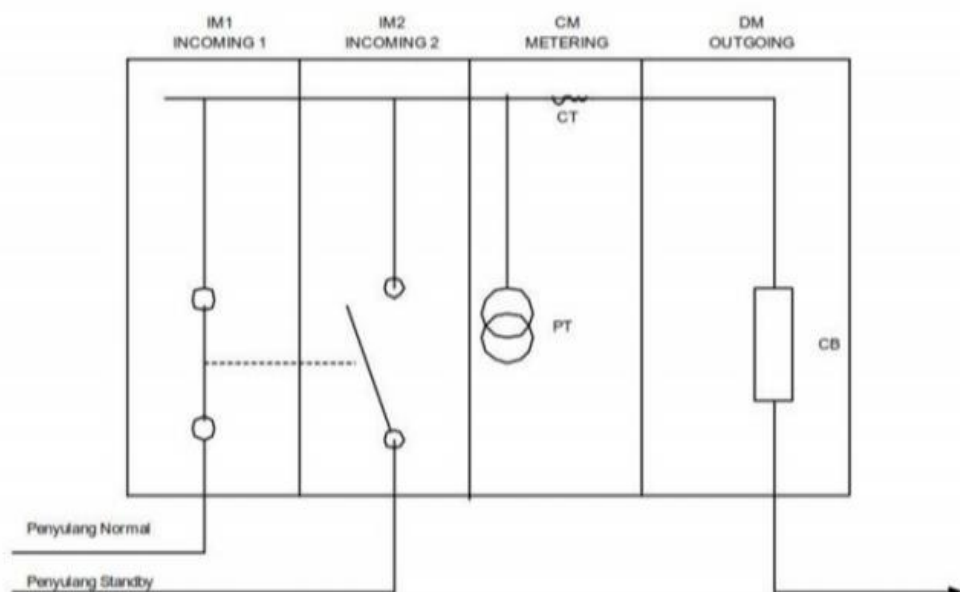
25	115	167	83
26	107	173	100
27	118	163	134
28	115	153	139
29	108	168	131
30	110	50	100
31	106	48	76
Jumlah	3.356	3.532	3.805
B Puncak	118	179	243
<i>Load Factor</i>	0,917441	0,636511	0,505110

Tabel 4.7 Data pelanggan PLN UP3 Medan Utara dengan daya kontak yang diatas 1 MVA di bulan Mei 2024 di Penyulang PT. Pelindo Belawan

No	Nama Pelanggan	Alamat	Tarif	Daya (kVA)	Faktor Kali	UP3
1	PT. Pelindo Belawan	Belawan 1, Medan Kota Belawan, Kota Medan	B3	49.569 (kVA)	1.432 A	Medan Utara
2	PT. Prima Terminal Petikemas	Belawan 1, Medan Kota Belawan, Kota Medan	B3	8.660 (kVA)	250 A	Medan Utara

Untuk pelanggan dengan daya kontrak diatas 201 kVA di kategorikan sebagai pelanggan Tegangan Menengah (TM). Pelanggan dengan daya kontrak kurang dari 1 MVA di defenisikan adalah pelanggan yang menggunakan *Cubicle Single Incoming* sedangkan untuk pelanggan dengan daya kontrak diatas 1 MVA menggunakan *Cubicle Double Incoming*, hal ini dikarenakan pada pelanggan 1 MVA keatas membutuhkan keandalan suplai daya yang tinggi.

4.7 Penggunaan *Cubicle 20 kV Double Incoming* Untuk Penyulangan 20 kV PT. Pelindo Belawan



Gambar 4.4 Skema Listrik ATS untuk penyulang 1 dan penyulang 2 *Cubicle 20 kV Double Incoming*

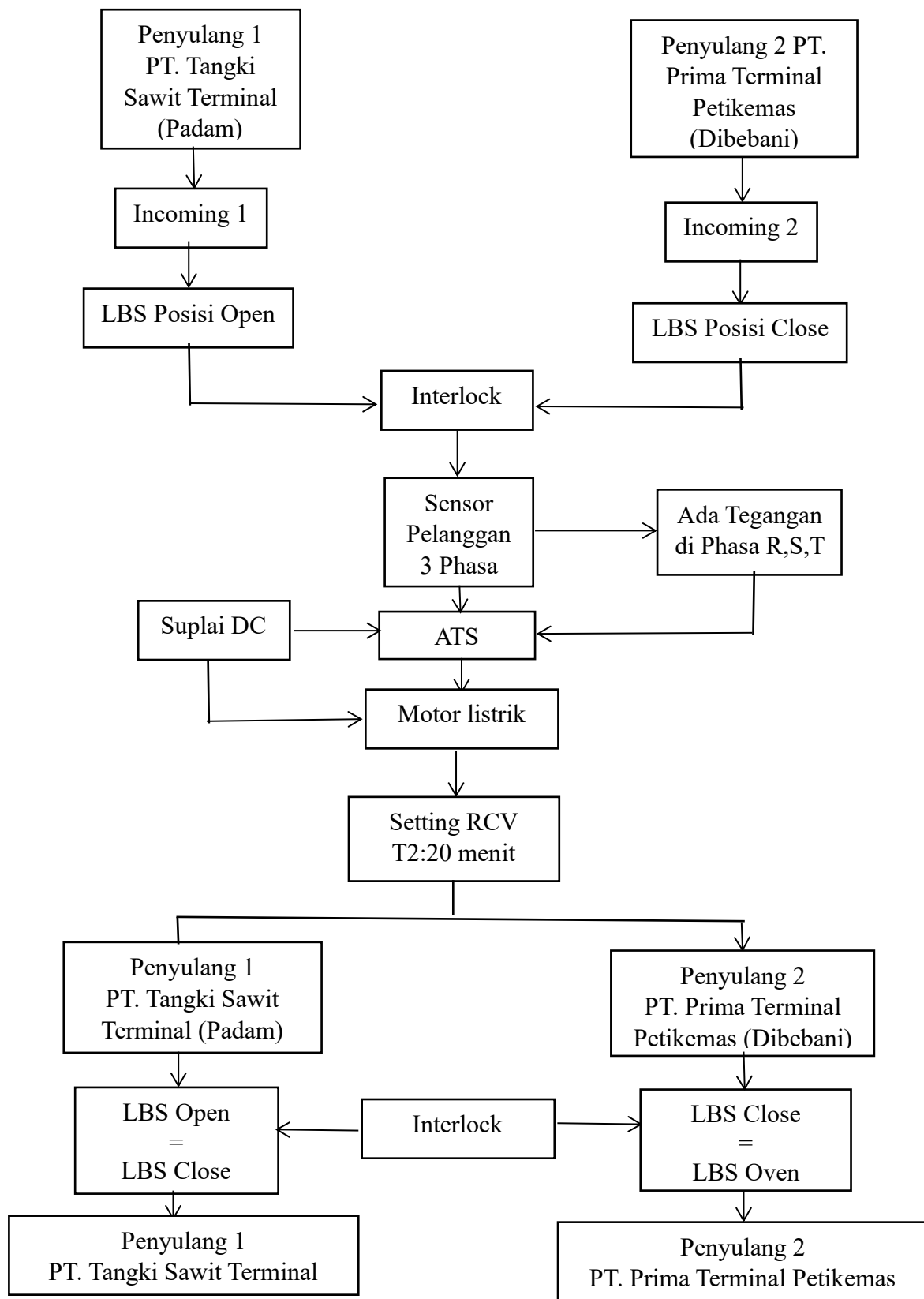
Dilihat dari gambar atau skema terdiri dari *cubicle double incoming* terdiri dari tiga unit *cubicle* yaitu *cubicle incoming* tipe NSM, *cubicle metering*, dan *cubicle outgoing* yang masing-masing terhubung dengan bus 20 kV. Dimana jika terjadi gangguan dari penyulang utama, maka ATS akan bekerja dengan pindah dari

incoming 1 (penyulang normal) ke *incoming* 2 (penyulang stanby). Terdapat perangkat pengaman berupa relay sebagai pengatur pembatas untuk arus lebih dan sebagai proteksi terhadap gangguan hubung singkat antar fasa ke tanah. Kecepatan ATS untuk pindah dari *incoming* 1 ke *incoming* 2 dapat diatur dengan waktu 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 10; 1; 1,5; 2 detik dengan menggunakan RCV yang berupa *change over relay*. Dalam perencanaan ini ATS untuk pindah dari *incoming* 1 ke *incoming* 2 akan disetting dengan waktu 10 detik. Dengan waktu di setting 10 detik di harapkan saat terjadi perpindahan suplai dari *incoming* 1 ke *incoming* 2 tidak akan menimbulkan kedipan listrik (*voltage sag*) yang besar terhadap beban penerangan, tetapi untuk mesin-mesin industry yang memerlukan tingkat persisi yang tinggi dalam waktu 10 detik.

Cubicle Incoming tipe NSM terdapat ATS yang dilengkapi dengan sistem interlock yang dimana kedua *incoming* akan saling mengunci dan tidak akan terparalel. *Cubicle double incoming* memerlukan dua penyulang sebagai suplai daya. Sensor tegangan pada ATS menggunakan *Capasitor Voltage Divider (CVD)* yang dipasang sebelum LBS di samping trafo tegangan. Untuk pengukuran digunakan *Cubicle Metering (CM)*. Di dalam *cubicle metering* terdapat *breaker* dan trafo tegangan (PT). Sensor yang digunakan adalah sensor 3 fasa di fasa *R,S,T* *Cubicle Outgoing (DM)* terdapat trafo arus (CT) dan *Air Circuit Breaker (ACB)* yang digunakan sebagai pengaman. Apabila ditinjau dari segi pelanggan yang berdaya kontrak diatas 1 MVA adalah adanya rasa aman kepada pelanggan. Pelanggan dapat merasa nyaman karena tersedianya suplai daya dari dua penyulang bila ada gangguan pada penyulang normal.

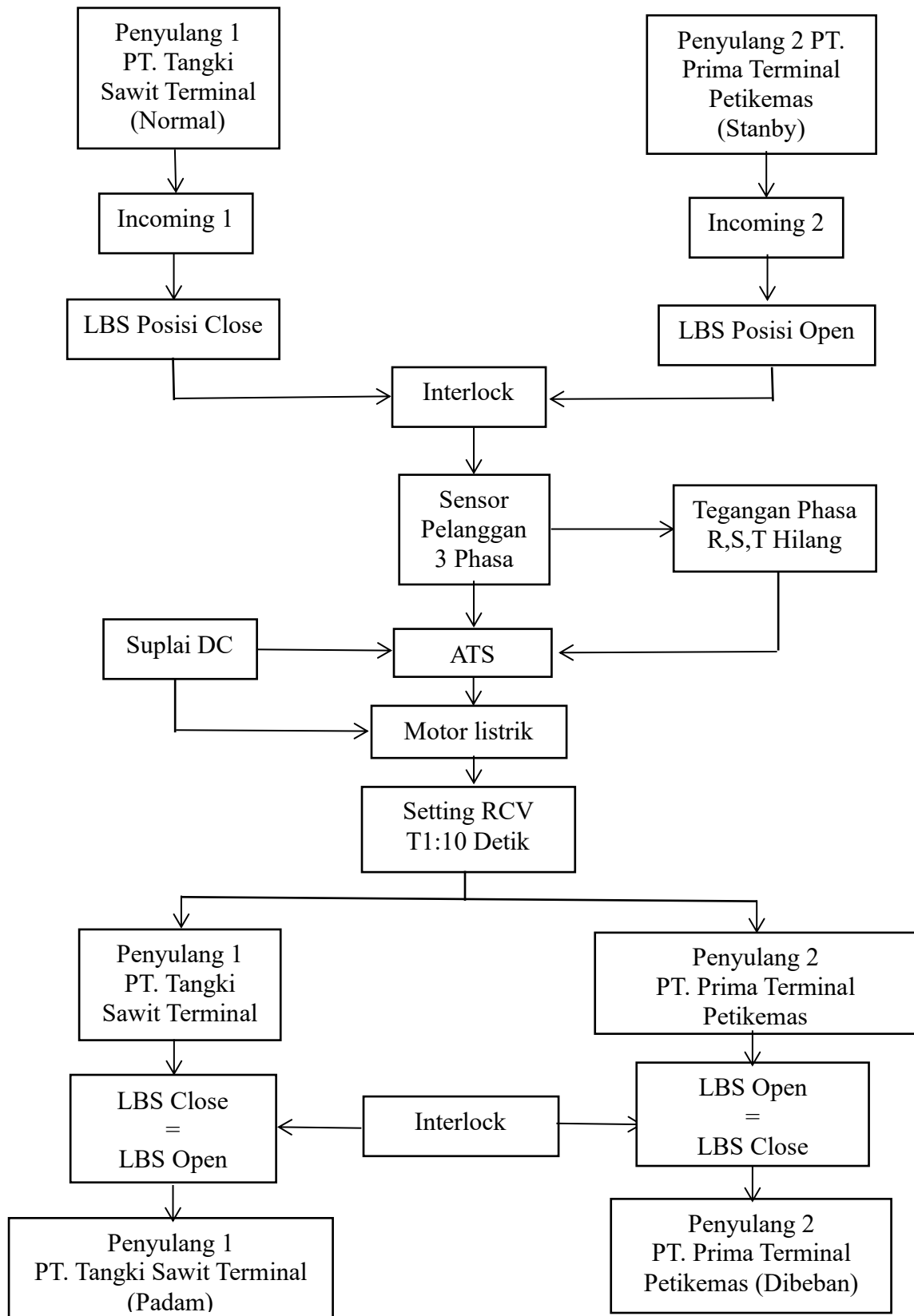
4.8 Perencanaan Setting ATS Kondisi Normal dan Gangguan Pada Penyulang 20 kV PT. Pelindo Belawan

Perencanaan setting ATS yang akan diterapkan pada penyulang PT. Tangki Sawit Terminal dan PT. Prima Terminal Petikemas terlebih dahulu mempertimbangkan data besar beban pelanggan dan *load factor* pada seluruh penyulang di GI Belawan. Pelanggan PLN yang akan diterapkan dalam ini adalah 2 pelanggan di PT. Pelindo Belawan, yaitu PT. Pelindo Belawan dengan daya 49.569 kVA dan PT. Prima Terminal Petikemas dengan daya 8.660 kVA. Apabila penyulang yang mensuplai ke pelanggan ada gangguan maka tidak akan langsung padam tetapi akan padam hanya selama 10 detik untuk pindah dari penyulang PT. Tangki Sawit Terminal ke penyulang PT. Prima Terminal Petikemas.



Gambar 4.5 Blok Diagram Setting ATS Saat Penyulangan Normal Mengenai Gangguan

Pada saat kondisi awal tidak terjadi gangguan, catu daya dari penyulang PT. Tangki Sawit Terminal masuk ke *incoming* 1 dan penyulang PT. Prima Terminal Petikemas masuk ke *incoming* 2. Posisi awal ATS adalah LBS *close* pada *incoming* 1. Karena penyulang PT. Tangki Sawit Terminal mencatu daya ke *incoming* 1 dengan setting normal dan penyulangan PT. Prima Terminal Petikemas mencatu daya ke *incoming* 2 sebagai penyulang standby, maka penyulang PT. Tangki Sawit Terminal akan bekerja dahulu, sedangkan penyulang PT. Prima Terminal Petikemas akan bekerja apabila penyulang PT. Tangki Sawit Terminal terjadi gangguan. Apabila penyulang PT. Tangki Sawit Terminal ada gangguan, maka penyulang PT. Prima Terminal Petikemas sebagai penyulang standby akan bekerja untuk mensuplai daya pelanggan di PT. Pelindo Belawan. PT. Pelindo Belawan disuplai tidak hanya dari penyulang PT. Tangki Sawit Terminal saja, tetapi juga disuplai dari penyulang PT. Prima Terminal Petikemas yang berasal dari GI Belawan.



Gambar 4.6 Blok Diagram Setting ATS Saat Salah Satu Penyulang Tenggangu
Kembali Normal

Jika penyulang PT. Tangki Sawit Terminal ada gangguan pada fasa R atau S atau T maka sensor tegangan pada *incoming* 1 akan mendeteksi adanya gangguan dengan tidak terdeteksinya tegangan pada fasa tersebut. Sensor tegangan dipasang pada fasa R,S,T (sensor tiga fasa), dimana sensor ini akan bekerja pada saat awal pengoperasian, saat penyulang PT. Tangki Sawit Terminal pada gangguan pada salah satu fasa hingga trip penyulang PT. Prima Terminal Petikemas yang sebagai penyulang standby akan mensuplai daya yang dibutuhkan pelanggan penyulang PT. Tangki Sawit Terminal, jika penyulang PT. Tangki Sawit Terminal sudah tidak ada lagi gangguan selama 20 menit, maka sensor tegangan bekerja berdasarkan pendeteksian tegangan pada *Capasitor Voltage Divider (CVD)* di fasa yang terdapat gangguan.

ATS akan di setting $T1=10$ detik dan $T2=20$ menit, pada saat pegas makan akan terlepas LBS *incoming* 1, LBS pada *incoming* 2 tersebut akan close atau terbuka karena adanya interlock antara LBS pada *incoming* 1 dan *incoming* 2. Ketika sensor tegangan mendeteksi ada tegangan maka motor listrik untuk *incoming* 2 yang dicatu oleh battery akan berputar untuk mengencangkan pegas. Pegas ini berfungsi untuk melepaskan LBS yang *close* pada *incoming* 2. ATS siap untuk melepas LBS yang *close* pada *incoming* 2. Jika penyulang di PT. Tangki Sawit Terminal sudah Kembali normal selama 20 menit maka penyulang akan bekerja Kembali dan penyulang PT. Prima Terminal Petikemas pada posisi *standby*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan Analisa penggunaan cubicle double incoming di PT. Pelindo Belawan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan Load Factor pada penyulang PT. Tangki Sawit Terminal sebesar 0,636511 dan pada penyulang PT. Prima Terminal Petikemas sebesar 0,505110 sehingga kedua penyulang masih layak untuk diterapkan sebagai penyulang normal dan penyulang standby pada *cubicle double incoming*.
2. Penggunaan *cubicle double incoming* di fungsikan untuk peningkatan kualitas pelayan distribusi listrik kepada pelanggan potensial diatas 1 MVA di area pelayanan PLN UP3 Medan Utara sehingga meminimalisir pemadaman daya listrik akibat faktor gangguan alam maupun pemeliharaan dari PLN.
3. Penggunaan *cubicle double incoming* dapat meningkatkan efektivitas pendistribusian energi listrik dari PT. PLN. Hal itu dapat dilihat dari frekuensi pemadaman yang akan berkurang kepada pelanggan dengan adanya penyulungan standby.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

1. Penulisan menyarankan kepada pihak PT. PLN (Persero) UP3 Medan Utara bahwa *Automatic Transfer Switch (ATS)* agar penggunaannya dengan sesuai perhitungan daya pelanggan dengan settingan *Automatic Transfer Switch (ATS)* sehingga dapat bekerja dengan baik dan maksimal.
2. Tulisan ini dapat dijadikan sebagai informasi pada system 20kV PT. Pelindo Belawan di PT. PLN (persero) UP3 Medan Utara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Lestari, H. Suwanto, and R. Gunawan, "SISTEM PEMANTAUAN KUBIKEL TEGANGAN MENENGAH," vol. 5, no. 1, pp. 37–42, 2020, doi: 10.32897/infotronik.2020.5.1.5.
- [2] S. Sriyadi, A. Pangestu, S. Wilyanti, R. R. Al Hakim, and D. J. Vresdian, "Prototipe Alat Pendeteksi Korona Sebagai Proteksi Kubikel Keluaran 20 KV Pelanggan Tegangan Menengah," *J. Sos. Teknol.*, vol. 1, no. 5, pp. 366–375, 2021, doi: 10.59188/jurnalsostech.v1i5.96.
- [3] P. D. I. Jenepono, "PERANCANGAN PANEL ATS (AUTOMATIC TRANSFER SWITCH) PLN KE GENERATOR GUDANG," vol. 14, 2022.
- [4] A. Muzammil and S. Thaha, "Analisis Peningkatan Pelayanan Suplai Rumah Sakit Hermina Makassar dengan Dua Penyulang Incoming," no. 1, pp. 366–371, 2022.
- [5] J. Akuntansi and D. A. N. Bisnis, "Jurnal Program Studi Akuntansi EVALUASI EFEKTIVITAS PENGENDALIAN INTERNAL AKUNTANSI ATAS JARINGAN DISTRIBUSI LISTRIK OLEH PT PLN (PERSERO) : STUDI KASUS DI SUMATERA UTARA," vol. 4, no. November, pp. 24–30, 2018.
- [6] J. M. Siburian, T. Siahaan, J. Sinaga, and U. D. Agung, "DENGAN METODE THERMOVISI JARINGAN PT . PLN (PERSERO)," vol. 9, pp. 8–19, 2020.
- [7] R. B. Binilang, H. Tumaliang, F. Lisi, and J. T. Elektro-ft, "Studi Analisa Rugi Daya Pada Saluran Distribusi Primer 20 kV Di Kota Tahuna," vol. 6, no. 2, pp. 69–78, 2017.

- [8] R. A. Duyo, P. Studi, F. Teknik, and U. Muhammadiyah, “ANALISIS PENYEBAB GANGGUAN JARINGAN PADA DISTRIBUSI LISTRIK MENGGUNAKAN METODE FAULT TREE ANALYSIS DI PT . PLN (PERSERO) RAYON DAYA MAKASSAR PENDAHULUAN Latar Belakang Listrik merupakan salah satu komoditi strategis dalam perekonomian Indonesia , karena,” vol. 12, no. 02, 2020.
- [9] N. Dan, L. Pada, T. Distribusi, D. I. Pt, and P. A. Sorong, “Issn:2527-4724, eissn:2597-4467,” pp. 1–10, 2018.
- [10] P. Raflesia *et al.*, “PENYULANG MUARA AMAN PT . PLN (PERSERO),” vol. I, no. 1, 2021.
- [11] A. Rahmadani, N. A. Windarko, L. Pradigta, and S. Raharja, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan serta Kendali Dua Heater pada Kubikel 20 kV Berbasis Sistem Informasi Geografis,” vol. 21, no. 2, 2022.
- [12] H. M. Setiawan, P. A. Yohana, J. T. Elektro, and P. N. Banjarmasin, “Metode pengoperasian kubikel 24 kv tipe sm6 pada laboratorium proteksi dan distribusi di politeknik negeri banjarmasin,” vol. 07, no. 02, pp. 68–79, 2019.
- [13] Y. Apriani, D. Dipociala, Z. Saleh, and W. Oktaviani, “Automatic Transfer Switch (ATS) Berbasis Sensor Tegangan Baterai Untuk PLTS,” *Electr. J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 1, pp. 44–51, 2023, doi: 10.23960/elc.v17n1.2420.
- [14] A. T. Ramadhan, “Perancangan Automatic Transfer Switch Berbasis Zelio (Aplikasi Pada PLTS Pematang Johar),” pp. 7–12, 2021.
- [15] O. Suhu, P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. B. Surabaya, “Revitalisasi Sistem ATS : Integrasi Smart Relay dan Teknologi,” pp. 56–63, 2023.
- [16] Rafly Dirgantara Putra, Perencanaan Back-Up Sistem Menggunakan Automatic Main Failure Di Taman Wisata Matahari, Fakultas Teknik Universitas Pakuan Bogor, 2018.



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
(UMSU)

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
TUGAS AKHIR

Jalan Kapt. Muchtar Basri No.03 Telp (061) 6625474 Medan 20223

NAMA : SUKRI ILHAM FAZRI DALIMUNTHE
NPM : 2007220001

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1.	Rabu 21/24	Pelajari sistem perulangan kebabisa format 8 dan Bab 11 kebabisa	f
2.	Jumat 23/24	Setrap yang kebabisa Inggris harus kebabisa Inggris	f
3.	Kamis 24/24	Mana gambar APP dan jelaskan fungsi kerjanya	f
4.	Kamis 7/24	Perbaiki gambar dan perambaan kebabisa Inggris	f
5.	Sabtu 12/24	Pelajari PLC dan Perambaan	f
6.	Sabtu 14/24	Pelajari fungsi kerja ATS	f
7.	Jumat 20/24	Acc. Untuk Seminar proposal Kordinasi dgn Prodi	f

Dosen Pembimbing

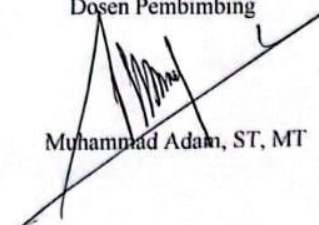
Muhammad Adam, S.T, M.T

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nama : SUKRI ILHAM FAZRI DALIMUNTHE
 NPM : 2007220001
 Judul : Analisa Penggunaan Cubikel 20 kV Double Incoming Dengan Automatic Transfer Switch (ATS) Terhadap Stabilitas Dan Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV
 Dosen Pembimbing : Muhammad Adam, ST, MT

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1	Rabu 8/24 5	Lanjutkan perbaikan materi sesuai hasil Senpro	
2	Kamis 23/24 5	Perbaiki Spesi Judul dan Logo Universitas	
3	Senin 24/24 6	Perjelas fungsi kerja ATS.	
4	Rabu 26/24 6	fahami Diagram ATS dan fungsinya	
5	Rabu 27/24 7	Perbaiki rumus perhitungan	
6	Rabu 28/24 9	Pelajari Materi bab IV	
7	Kamis 15/24 18	Acc. untuk Demnas Sikelon Kondisi alga Prodi	

Dosen Pembimbing


 Muhammad Adam, ST, MT

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nama : Sukri Ilham Fazri Dalimunthe

NPM : 2007220001

Judul : Analisa Penggunaan Cubikel 20kV *Double Incoming* Dengan *Automatic Transfer Switch* (ATS) Terhadap Stabilitas Dan Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20kV Di PT. Pelindo Belawan

Dosen Pembimbing : MUHAMMAD ADAM, ST, MT

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1	Sabtu 10/24 8	Lanjutan Perbaikan Perbaikan Saat Semmas	f
2	Selasa 13/24 8	Angka di tambah kata kens	f
3	Kamis 15/24 8	Perbaikan format penulisan	f
4	Rabu 20/24 8	Revisi masalah along at koreksi	f
5	Kamis 29/24 8	Flocat harus sesuai 18	f
6	Sabtu 31/24 8	Koreksi Bab IV	f
7	Jenin 2/24 9	Ace untuk sistang Akhir. Keahlian dgn Koprod	f

Dosen Pembimbing

MUHAMMAD ADAM, ST, MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Sukri Ilham Fazri Dalimunthe
 Alamat : Dusun Karang Sari
 NPM : 2007220001
 Tempat/Tanggal Lahir : Karang Sari, 17 Agustus 2000
 Jenis Kelamin : Laki-Laki
 Agama : Islam
 Status : Belum Kawin
 No. Telepon/Whatsap : 082274326678
 Tinggi /Berat Badan : 169 Cm/60 Kg
 Kewarganegaraan : WNI

ORANG TUA

Nama Ayah : Zuhri Dalimunthe
 Agama : Islam
 Nama Ibu : Latifah Rambe
 Agama : Islam
 Alamat : Dusun Karang Sari

RIWAYAT PENDIDIKAN

2008-2013 : SDN 114364 Sabungan
 2013-2016 : MTsN Sei Kanan
 2016-2019 : SMKN 1 Sei Kanan
 2020-2024 : S1 Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah
 Sumatera Utara