



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**DESAIN LAYOUT GARDU INDUK BERDASARKAN  
STUDI HUBUNG SINGKAT SISTEM KELISTRIKAN  
KALIMANTAN 275 KVAC**

Amalul Arifin  
NRP 0711144000009

Dosen Pembimbing  
Danar Fahmi, ST., MT.  
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

## **LAYOUT DESIGN OF SUBSTATION BASED ON SHORT CIRCUIT STUDY OF 275 KVAC KALIMANTAN ELECTRICAL SYSTEM**

Amalul Arifin  
NRP 0711144000009

Supervisors  
Danar Fahmi, ST., MT.  
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul **“Desain Layout Gardu Induk Berdasarkan Studi Hubung Singkat Sistem Kelistrikan Kalimantan 275 kVAC”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018



Amalul Arifin  
0711144000009



**DESAIN LAYOUT GARDU INDUK BERDASARKAN STUDI  
HUBUNG SINGKAT SISTEM KELISTRIKAN KALIMANTAN  
275 KVAC**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

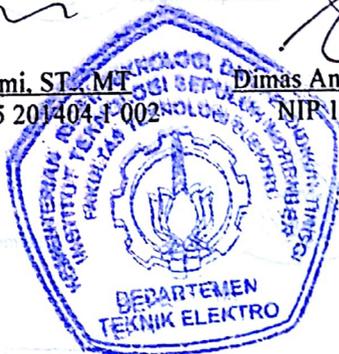


**Daniar Fahmi, ST., MT**  
NIP 19890925 201404 1 002

**Dosen Pembimbing II**



**Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.**  
NIP 19810905 200501 1 002



**SURABAYA  
JULI, 2018**



# Desain Layout Gardu Induk Berdasarkan Studi Hubung Singkat Sistem Kelistrikan Kalimantan 275 kVAC

Nama : Amalul Arifin  
Pembimbing I : Daniar Fahmi, ST., MT  
Pembimbing II : Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.

## ABSTRAK

Pada pembuatan sistem transmisi, salah satu hal yang cukup penting adalah desain *layout* gardu induk itu sendiri. Sehingga dalam tugas akhir kali ini nantinya akan ditentukan bagaimana desain dari salah satu gardu induk pada *backbone* transmisi sistem kelistrikan Kalimantan 275kVAC. Sehingga berangkat dari tujuan itu, maka kita membutuhkan studi aliran daya untuk mengetahui berapa daya yang mengalir pada gardu induk tersebut serta studi hubung singkat untuk dapat menentukan besarnya arus gangguan yang mungkin dapat terjadi. Setelah mengetahui itu, lalu kita dapat menentukan bentuk *layout* yang akan digunakan untuk mendesain sebuah gardu induk. Bentuk *layout* ini didesain sesuai dengan berbagai macam pertimbangan dan juga arah aliran daya dari gardu induk tersebut. Tujuan dari tugas akhir ini adalah mendesain *layout* gardu induk dengan level tegangan 275, dan juga penentuan komponen dalam gardu induk juga hal yang merupakan dipilih dan dipertimbangkan. Bentuk *layout* dan konfigurasi busbar yang digunakan adalah 1 ½ breaker. Penentuan komponen disesuaikan dengan level tegangan maksimum pada sistem dan juga bentuk *layout* 1 ½ breaker ini. Pemutus daya diambil dari hasil hubung singkat sistem yaitu sebesar 12 kA, sehingga dipilih *rating* 50 kA. Sakelar pemisah, transformator arus, transformator tegangan, transformator daya, busbar, dan juga konduktor serta penangkal petir adalah komponen yang wajib ada pada sebuah gardu induk dan pemilihannya berdasarkan arus nominal yang masuk dan level tegangan sistem. Pertimbangan jarak aman antar komponen dan juga pertimbangan jarak komponen dengan tanah adalah merupakan hal yang perlu dipertimbangkan dalam desain *layout* gardu induk ini.

**Kata kunci :** Aliran daya, pertimbangan peralatan, *layout* gardu induk.

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

# **Layout Design of Substation Based on Short Circuit Study of 275 kVAC Kalimantan Electrical System**

**Name** : Amalul Arifin  
**Supervisor I** : Daniar Fahmi, ST., MT  
**Supervisor II** : Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.

## **ABSTRACT**

In making the transmission system must be able to minimize the loss of power so that when it comes to the customer, not much power is wasted on the way. In making the transmission system, one of the important things is the design of the substation layout itself. In this final task will be determined how the design of one of the substations on the backbone transmission system 275kVAC Kalimantan electricity. In achieving that goal, we need a power flow study to find out how much power flows to the substation and short circuit studies to determine the amount of possible intrusion current. After knowing that, then we can determine the form of layout that will be used to design a substation. The shape of the busbar layout and configuration used is 1 ½ breaker. Determination of components adjusted to the maximum voltage level on the system also the form of this 1 ½ breaker layout. The circuit breaker is taken from the system short circuit result of 12 kA, so the selected rating is 50 kA. Disconnect switches, current transformers, voltage transformers, power transformers, busbars, as well as conductors and lightning arrester are the components that must be present in a substation and the selection is based on the nominal current entering and the voltage level of the system. The consideration of the safe distance between the components also the consideration of the distance of the components with the ground is a matter to consider in the design of this substation layout.

**Key Word:** Loadflow, short circuit, substation layout

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Desain Layout Gardu Induk Berdasarkan Studi Hubung Singkat Sistem Kelistrikan Kalimantan 275 kVAC”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Ibu dan Bapak penulis atas doa dan cinta yang tak henti pada penulis dalam keadaan apapun. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan memberi mereka tempat terbaik kelak di surgaNya.
3. Bapak Daniar Fahmi, ST., MT dan Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang luar biasa.
5. Teman-teman seperjuangan e54 yang telah menemani dan memberikan dukungan selama masa kuliah sampai penyusunan tugas akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi siapapun yang ingin mendalami ilmu mengenai *arcing* ini. Semoga bermanfaat.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

# DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Metodologi .....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
1.7 Relevansi.....	4
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....</b>	<b>5</b>
2.1 Kajian Penelitian Terkait.....	5
2.2 Desain Dasar dan Konstruksi Gardu Induk .....	6
2.3 Konfigurasi Sirkuit.....	8
2.3.1 Konfigurasi Tap Substation.....	8
2.3.2 Konfigurasi Pemutus Tunggal <i>Bus</i> Tunggal .....	9
2.3.3 Konfigurasi Operasi / Transfer <i>Bus</i> Pemutus Tunggal.....	10
2.3.4 Konfigurasi Konfigurasi 1 ½ <i>Breaker</i> .....	11
2.3.5 Konfigurasi Pemutus Ganda <i>Bus</i> Ganda .....	12
2.3.6 Konfigurasi <i>Ring Bus</i> .....	13
2.4 Komponen Peralatan di Gardu Induk.....	14
2.4.1 Pemutus Daya .....	14
2.4.2 Pelindung Tegangan Lebih .....	15
2.4.3 Sakelar Pemisah .....	16
2.4.4 Trafo Tegangan .....	17
2.4.5 Trafo Arus .....	18
2.4.6 Trafo daya .....	18
2.4.7 Isolator dan Bushing .....	19
<b>BAB III PERANCANGAN DAN PERENCANAAN SISTEM KELISTRIKAN KALIMANTAN .....</b>	<b>21</b>
3.1 Tahapan Perancangan Sistem Kelistrikan Kalimantan 275 kV .....	21
3.2 Sistem Kelistrikan Kalimantan 275 kVAC .....	22

3.3	Perancangan Diagram Satu Jalur Sistem Kelistrikan Kalimantan 275 kVAC .....	24
3.4	Karakteristik Utama Sistem Kelistrikan Kalimantan .....	32
3.5	Deskripsi Area Ketapang .....	34
<b>BAB IV</b>	<b>ANALISIS DAN PERANCANGAN DESAIN LAYOUT GARDU INDUK .....</b>	<b>37</b>
4.1	Pertimbangan Pemilihan .....	37
4.1.1	Pertimbangan Pemilihan Pemutus Daya .....	37
4.1.2	Pertimbangan Pemilihan Sakelar Pemisah.....	38
4.1.3	Pertimbangan Pemilihan Trafo Tegangan,Trafo Arus, dan Trafo daya .....	40
4.1.4	Pertimbangan Pemilihan Isolator .....	44
4.1.5	Pertimbangan Pemilihan Pelindung Tegangan Lebih .....	46
4.1.6	Pertimbangan Pemilihan Konduktor .....	48
4.1.7	Pertimbangan Pemilihan Busbar Sistem .....	49
4.1.8	Pertimbangan Pemilihan Layout dan Konfigurasi Bus .....	50
4.2	Jarak Minimum <i>Clearances</i> .....	52
4.2.1	Jarak Minimum <i>Clearances and Spacings</i> Antar Komponen ..	57
4.2.2	Jarak Minimum <i>Clearances and Spacings</i> Antara Komponen Dengan Tanah .....	51
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>55</b>
5.1	Kesimpulan .....	61
5.2	Saran .....	62
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>63</b>
	<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>65</b>
	<b>RIWAYAT HIDUP.....</b>	<b>67</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Skema sistem kelistrikan sederhana.....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Contoh rangkaian dengan konfigurasi Tap Substation ..	9
<b>Gambar 2.3</b>	Contoh rangkaian dengan konfigurasi pemutus tunggal bus tunggal.....	10
<b>Gambar 2.4</b>	Contoh rangkaian dengan konfigurasi operasi/transfer bus pemutus tunggal .....	11
<b>Gambar 2.5</b>	Contoh rangkaian dengan konfigurasi 1 1/2 Breaker....	12
<b>Gambar 2.6</b>	Contoh rangkaian dengan konfigurasi pemutus ganda bus ganda.....	13
<b>Gambar 2.7</b>	Contoh rangkaian dengan konfigurasi ring bus .....	14
<b>Gambar 2.8</b>	Trafo tegangan magnetik kutub ganda(a), trafo tegangan kapasitif(b).....	18
<b>Gambar 2.9</b>	Trafo arus pada level tegangan tinggi .....	18
<b>Gambar 2.10</b>	Contoh isolator dan bushing pada peralatan gardu induk tegangan tinggi .....	20
<b>Gambar 3.1</b>	Alur tahapan perencanaan sistem kelistrikan Kalimantan .....	21
<b>Gambar 3.2</b>	Peta Backbone Sistem Kelistrikan Kalimantan 275 kV... ..	23
<b>Gambar 3.3</b>	Tampilan diagram satu jalur sistem Kalimantan 275 kVAC melalui jalur selatan.....	25
<b>Gambar 3.4</b>	Diagram Satu Jalur sistem kelistrikan Kalimantan Barat 275 kVAC.....	26
<b>Gambar 3.5</b>	Peta pengembangan dan perencanaan Kalimantan Barat .....	27
<b>Gambar 3.6</b>	Diagram Satu Jalur sistem kelistrikan Kalimantan Tengah 275 kVAC.....	28
<b>Gambar 3.7</b>	Peta pengembangan dan perencanaan Kalimantan Tengah .....	28
<b>Gambar 3.8</b>	Diagram Satu Jalur sistem kelistrikan Kalimantan Selatan 275 kVAC.....	29
<b>Gambar 3.9</b>	Peta pengembangan dan perencanaan Kalimantan Selatan .....	29
<b>Gambar 3.10</b>	Peta pengembangan dan perencanaan Kalimantan Timur .....	30
<b>Gambar 3.11</b>	Diagram Satu Jalur sistem kelistrikan Timur dan Utara 275 kVAC.....	31

<b>Gambar 3.11</b>	Temperatur Rata-rata di Daerah Ketapang Pada Satu Tahun Terakhir .....	35
<b>Gambar 3.12</b>	Indeks Standard Pencemaran Udara Provinsi Kalimantan Barat .....	35
<b>Gambar 4.1</b>	Pemutus Daya Tegangan Tinggi .....	37
<b>Gambar 4.2</b>	Sakelar Pemisah <i>Two Column Vertical Break</i> .....	39
<b>Gambar 4.3</b>	Sakelar Pemisah <i>Pantograph</i> .....	40
<b>Gambar 4.4</b>	Transformator Tegangan Jenis Kapasitif dan Transformator Arus Tipe <i>Hairpin</i> .....	41
<b>Gambar 4.5</b>	Gambar Jarak Rambat Minimal Pada Isolator.....	46
<b>Gambar 4.6</b>	Contoh desain tipe sangkar pelindung tegangan lebih jenis <i>metal oxyde</i> .....	48
<b>Gambar 4.7</b>	Jarak Minimum antar Trafo Tegangan dan Wavetrap, serta antar wavetrap dan Trafo Arus Pada Perangkat Lunak Autocad .....	54
<b>Gambar 4.8</b>	Jarak Minimum antar Trafo Arus dan Pemutus Daya Pada Perangkat Lunak Autocad .....	54
<b>Gambar 4.9</b>	Jarak Minimum antar Sakelar Pemisah dan Trafo Arus Pada Perangkat Lunak Autocad.....	56
<b>Gambar 4.10</b>	Jarak Minimum antar Sakelar Pemisah dan Pemutus Daya Pada Perangkat Lunak Autocad.....	56
<b>Gambar 4.11</b>	Jarak Minimum Komponen Trafo Tegangan dan trafo Arus Dengan Tanah Pada Perangkat Lunak Autocad..	58
<b>Gambar 4.12</b>	Jarak Minimum Komponen Sakelar Pemisah dengan Tanah Pada Perangkat Lunak Autocad.....	59
<b>Gambar 4.13</b>	Jarak Minimum Komponen Pemutus Daya dengan Tanah Pada Perangkat Lunak Autocad.....	59

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Desain jenis utama untuk instalasi switchgear tegangan tinggi dan lokasinya.....	7
<b>Tabel 2.2</b>	Keuntungan dan Kerugian Konfigurasi Tap Substation	9
<b>Tabel 2.3</b>	Keuntungan dan Kerugian Konfigurasi pemutus tunggal bus tunggal.....	10
<b>Tabel 2.4</b>	Keuntungan dan Kerugian Konfigurasi Operasi/Transfer Bus pemutus tunggal.....	11
<b>Tabel 2.5</b>	Keuntungan dan Kerugian Konfigurasi 1 $\frac{1}{2}$ Breaker..	12
<b>Tabel 2.6</b>	Keuntungan dan Kerugian Konfigurasi Pemutus Ganda Bus Ganda.....	13
<b>Tabel 2.7</b>	Keuntungan dan Kerugian Konfigurasi ring bus .....	14
<b>Tabel 2.8</b>	Perbedaan dan persamaan sakelar pemisah dengan pemutus daya .....	16
<b>Tabel 3.1</b>	Aliran Daya Pada Gardu Induk Ketapang .....	33
<b>Tabel 3.2</b>	Hasil Simulasi Hubung Singkat Pada Gardu Induk Ketapang.....	33
<b>Tabel 4.1</b>	Rating pemutus daya.....	37
<b>Tabel 4.2</b>	Spesifikasi Transformator Tegangan Kapasitif.....	41
<b>Tabel 4.3</b>	Spesifikasi Transformator Arus Tipe <i>Hairpin</i> .....	42
<b>Tabel 4.4</b>	Data Beban Kalimantan Barat .....	43
<b>Tabel 4.5</b>	Kriteria Pemilihan untuk tipe post isolator diluar ruangan .....	45
<b>Tabel 4.6</b>	Jarak Rambat Minimal (cm) sesuai IEC 60185 dengan tingkat polusi dari 1-4 (sedikit-parah).....	45
<b>Tabel 4.7</b>	Spesifikasi Pelindung Tegangan Lebih 275 kV .....	46
<b>Tabel 4.8</b>	Spesifikasi Konduktor ACSR .....	49
<b>Tabel 4.9</b>	Spesifikasi Busbar System.....	50
<b>Tabel 4.10</b>	Aplikasi penggunaan desain <i>layout</i> gardu induk .....	50
<b>Tabel 4.11</b>	Perbandingan Setiap Konfigurasi Bus .....	52
<b>Tabel 4.12</b>	Jarak Antar Komponen Berdasarkan Level Tegangan dan BIL.....	53
<b>Tabel 4.13</b>	Jarak Aman Untuk Sakelar Pemisah.....	55
<b>Tabel 4.14</b>	Jarak Aman Antara Komponen dengan Tanah .....	57

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pertumbuhan penduduk yang semakin pesat dapat memicu pula untuk berkembangnya pertumbuhan ekonomi suatu daerah diakarenakan bertambahnya sumber daya manusianya yang semakin berkembang. Pesatnya pertumbuhan di Indonesia sudah tidak dapat dipungkiri lagi dan tidak dapat terelekan lagi. Dengan rasio elektrifikasi masing-masing daerah yang berbeda-beda, maka pihak penyedia jasa listrik suatu negara, dalam hal ini yaitu PT PLN (Persero) harus dapat mengatasi masalah tersebut. Dengan proyeksi peningkatan kebutuhan beban, maka harus ada pula proyeksi penjualan di Indonesia umumnya dan di daerah Indonesia timur khususnya. Karena untuk elektrifikasi di Indonesia sendiri lebih terpusat pada daerah Jawa-Bali saja sedangkan untuk daerah Indonesia timur khususnya di daerah Kalimantan masih kurang untuk rasio elektrifikasinya. Hal ini dapat dibuktikan bahwasannya proyeksi total penjualan listrik pada daerah Jawa-Bali pada tahun 2017 adalah 174 TWh dari berbagai kelompok pelanggan mulai dari rumah tangga, bisnis, publik, hingga industri. Sedangkan untuk daerah Kalimantan pada tahun 2017 total proyeksi penjualan listrik nya hanya sekitar 9,9 TWh saja [1].

Namun, dengan rasio elektrifikasi yang berbeda cukup jauh, kita tidak boleh langsung menyalahkan pemerintah yang dirasa kurang dalam perataan rasio elektrifikasi di Indonesia, justru dengan itu kita harusnya mendukung proyek pemerintah yang sedang berjalan yaitu proyek 35 GW. Maka dari itu dengan proyeksi penjualan listrik di daerah Kalimantan khususnya yang diperkirakan pada tahun 2026 itu dapat mencapai 23,4 TWh [1] ini yang harusnya kita perhatikan lebih lanjut bahwasannya dengan banyaknya kebutuhan elektrifikasi khususnya di daerah Kalimantan ini, maka pembangunan dalam bidang pembangkitan, sistem transmisi, sistem subtransmisi serta sistem distribusi inilah yang nantinya akan menjadikan titik awal dalam meratakan rasio elektrifikasi diseluruh Indonesia. Dalam pembangunan sistem transmisi khususnya diperlukan perencanaan yang matang yang nantinya dapat terus berjalan dengan optimal hingga bertahun-tahun kedepannya. Maka dari itu berbagai macam studi haruslah dilakukan agar kehandalan dari sistem transmisi ini dapat dijaga.

Desain gardu induk sistem transmisi merupakan komponen yang cukup penting dalam perencanaan pembangunan sistem transmisi. Sehingga diperlukan adanya studi terkait hubung singkat yang memiliki tujuan untuk dapat memperkirakan besarnya arus gangguan yang mungkin dapat terjadi dalam sistem transmisi yang akan direncanakan sehingga penanganan gangguan yang mungkin dapat terjadi dapat segera ditanggulangi dan juga untuk dapat memperkirakan pengaturan rele yang tepat sehingga nantinya peralatan pemutus dapat bekerja dengan optimal dan tidak mengganggu sistem transmisi.

## **1.2 Permasalahan**

Dalam sistem transmisi kalimantan yang akan dibuat, studi hubung singkat merupakan langkah yang ditempuh setelah adanya studi aliran daya daam penentuan arus, tegangan, serta daya reaktif dan daya aktif nya. Pada studi ini nantinya akan ditentukan bagaimanakah level peralatan yang akan digunakan pada sistem kelistrikan Kalimantan ini. Dari studi hubung singkat berupa data yang telah diolah dari perangkat lunak, maka hasilnya barulah dapat untuk menentukan level peralatan yang nantinya akan terpasang pada gardu induk tersebut.

Apakah peralatan yang digunakan dapat bertahan hingga beberapa tahun kedepannya hal inilah yang akan ditentukan dalam tugas akhir ini dengan mempertimbangkan penambahan beban berdasarkan studi penambahan beban untuk kedepannya. Lalu bagaimanakah *layout* gardu induk yang harusnya existing pada *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan ini juga merupakan salah satu perumusan masalah yang nantinya akan di bahas pada tugas akhir ini dan juga banyak komponen yang harus terpasang pada sebuah gardu induk.

## **1.3 Tujuan**

1. Menentukan spesifikasi peralatan berdasarkan studi analisis hubung singkat yang telah dilakukan
2. Menentukan kuantitas peralatan yang terpasang pada gardu induk
3. Mendesain *layout* gardu induk *backbone* sistem kelistrikan kalimantan

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang berlaku untuk tugas akhir ini antara lain:

1. Fokusan untuk Tugas Akhir ini adalah desain *layout* gardu induk yang menghasilkan hasil berupa *layout* gardu induk tampak atas dan tampak samping.
2. Gardu induk yang akan didesain adalah gardu induk dengan level tegangan 275kV.
3. Layout gardu induk yang akan didesain merupakan salah satu gardu induk yang terdapat pada *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan 275 kVAC.
4. Penentuan spesifikasi peralatan berdasarkan data yang diperoleh dari hasil simulasi perangkat lunak *digisilent*.
5. Pemilihan spesifikasi peralatan dilihat dari sisi *electrical* tanpa menghitung biaya peralatan dan spesifikasi mekanik(dimensi,berat,dan lainnya).
6. Simulasi hubung singkat yang dijalankan adalah hubung singkat tiga fasa dengan standar ANSI.

## 1.5 Metodologi

Pada usulan tugas akhir ini, perangkat yang akan digunakan adalah *digisilent* dan dalam penyusunan tugas akhir ini kami berfokus pada desain gardu induk untuk *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan. Pada penentuan ini yang dibutuhkan terkait studi yang akan dilakukan kedepannya adalah studi hubung singkat. Dari desain gardu induk, nantinya ada beberapa hal lagi yang akan coba dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini. Antara lain yaitu bagaimana penentuan spesifikasi level peralatan yang dapat digunakan pada sistem kelistrikan Kalimantan 275 kVAC ini. Penentuan spesifikasi level peralatan ini dapat kami lakukan setelah mengetahui beberapa hal diantaranya terkait studi aliran dayanya dan juga studi hubung singkat yang merupakan komponen utamanya.

Spesifikasi level peralatan yang ditentukan disini adalah yang dapat digunakan tidak hanya untuk satu atau sampai lima tahun saja, namun dengan pertimbangan hingga bertahun-tahun kedepannya. Maka dari itu data-data terkait prediksi kenaikan beban untuk kedepannya sangatlah diperlukan. Sehingga dengan begitu kami dapat merencanakan level peralatan yang paling optimal nantinya dapat digunakan secara jangka panjang dan lebih detail mengenai ketahanan atau lamanya peralatan yang direncanakan dapat bertahan.

Setelah melakukan hal tersebut, perlunya diadakan studi terkait berapa banyak komponen yang harus nya *terinstall* pada gardu induk tersebut dengan mempertimbangkan besarnya *incoming* dan *outgoing* daya pada salah satu gardu induk pada sistem kelistrikan 275 kVAC ini.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Pembahasan pada Tugas Akhir ini akan dibagi menjadi 5 bab yang diurutkan secara sistematis.

Bab pertama adalah pendahuluan, yang terdiri atas latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi penulisan.

Bab kedua adalah dasar teori, merupakan hasil dari studi literatur yang menjadi landasan teori dari penelitian Tugas Akhir ini. Berisi penjelasan mengenai jenis *layout* yang ada pada gardu induk, komponen-komponen yang harus *terinstall* pada gardu induk.

Bab ketiga adalah *single line diagram* yang telah dibuat dengan menggunakan perangkat lunak *digsilent*, serta data-data apa saja yang dibutuhkan guna mendesain sebuah *layout* gardu induk tersebut.

Bab keempat adalah hasil dan analisa data. Berisi sajian-sajian data dalam bentuk pertimbangan pemilihan jenis *layout*, banyak nya komponen yang akan *terinstall* pada gardu induk tersebut, *minimum clearance* yang digunakan untuk mendesain *layout* gardu induk serta hasil gambar dari perangkat lunak *autocad* berupa tampak atas dan tampak samping.

Bab kelima adalah penutup, yang berisi kesimpulan dan saran.

## 1.7 Relevansi

Desain Tugas Akhir ini diharapkan mampu berguna bagi teman-teman yang ingin menganalisa tentang gardu induk yang telah terpasang maupun yang belum terpasang pada sistem kelistrikan diseluruh Indonesia. Tugas Akhir ini juga diharapkan menjadi pertimbangan dan dapat diaplikasikan untuk digunakan pada *project* kalimantan yang akan berlangsung hingga bertahun-tahun yang akan datang

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

Pada bab ini nantinya akan dibahas terkait dasar teori dan juga studi literatur yang dapat menunjang serta membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir yang berfokus pada permasalahan untuk mendesain *layout* gardu induk 275 kV.

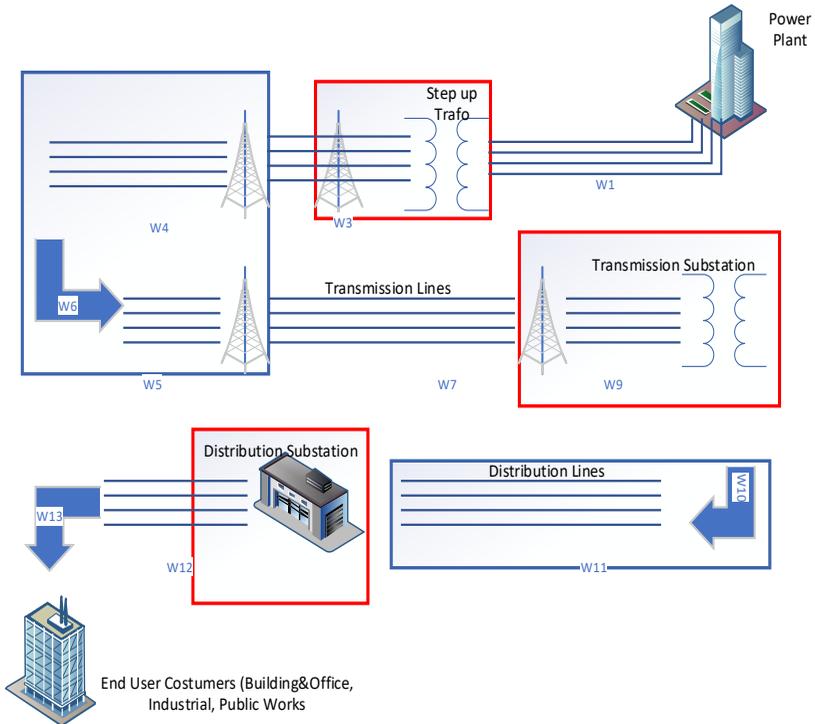
#### **2.1 Kajian Penelitian Terkait**

Analisa perancangan gardu induk merupakan pokok utama dan bahasan terkait Tugas Akhir ini. Untuk analisa terkait perancangan gardu induk yang telah *existing* pada saat ini sudah ada beberapa orang yang telah melakukannya. Seperti gardu induk yang berada di Tallasa, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan, untuk analisa mengenai rancangan gardu induk yang telah *existing* juga diperlukan adanya perhitungan yang tepat dan sesuai dengan kebutuhan serta keamanan dan juga kehandalan suatu gardu induk pun patut untuk dipertimbangkan[2].

Analisa mengenai kajian finansial untuk pemilihan lokasi gardu induk adalah hal yang tidak dapat terlupakan pula. Hal ini terkait dengan seberapa tepat kita dalam memilih lokasi yang sangat tepat dan juga dengan meminimalisir biaya pembuatan dan perancangan gardu induk, yang biasanya pemilihan lokasi nya adalah jauh dari pusat kota dengan tujuan agar mendapatkan biaya yang relatif lebih murah[3].

Namun dalam Tugas Akhir ini, yang akan difokuskan adalah pada desain *layout* gardu induk yang belum *existing* dengan mempertimbangkan faktor-faktor keselamatan dan kehandalan sebuah gardu induk dan juga menghasilkan *output* berupa *layout* gardu induk dengan level tegangan 275kV berupa tampak samping dan juga tampak atas. Gardu induk yang akan dibuat berdasarkan hasil dari studi analisa daya dan juga stdui hubung singkat pada sistem kelistrikan Kalimantan dengan memilih salah satu Gardu Induk yang ada pada *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan 275 kVAC.

## 2.2 Desain Dasar dan Konstruksi Gardu Induk



**Gambar 2.1** Skema sistem kelistrikan sederhana[4]

Pada sistem kelistrikan, terdapat dua komponen yang paling utama. Komponen utama tersebut adalah gardu induk dan juga *switching station*. Gardu induk disini merupakan kumpulan beberapan komponen peralatan yang bertujuan untuk mengurangi level tegangan dari sistem transmisi sehingga listrik dapat dialirkan menuju konsumen. Sedangkan *switching station* merupakan kumpulan beberapa komponen peralatan yang digunakan untuk menghubungkan dua atau lebih rangkaian listrik. Seperti yang ditunjukkan pada gambar diatas yang menunjukkan bahwa sketsa dengan persegi berwarna merah adalah yang disebut dengan

komponen gardu induk, sedangkan sketsa yang ditunjukkan dengan persegi berwarna biru adalah komponen *switching station*[4].

Dalam mendesain gardu induk, terdapat banyak kemungkinan serta banyak pertimbangan yang perlu di teliti dan kaji terlebih dahulu. Hal yang harus diperhatikan awalnya yaitu kita harus mengetahui karakteristik sistem kelistrikan dari gardu induk yang akan di desain. Mulai dari mengetahui nominal tegangan nya, nilai operasi tegangan maksimum, frekuensi sistem, serta data impedansi dari sistem tersebut[4].

Setelah itu hal yang wajib kita ketahui adalah karakteristik pembangkit dan juga beban yang ada pada sistem kelistrikan tersebut. Dimulai dari jenis beban nya, operasi beban maksimum, pembangkit yang telah *existing* , serta peningkatan beban di masa yang akan datang. Kita harus mengkaji beban dimasa depan untuk mengetahui jenis dan juga *level* peralatan yang akan kita gunakan dan yang akan terpasang di gardu induk tersebut.[4]

Pertimbangan dalam pemilihan peralatan dan komponen serta *switching station* dan juga jenis gardu induk yang akan dipilih, antara lain adalah bergantung pada lingkungan sekitar, kondisi konstruksi daerah sekitar, serta operasional dan juga nilai ekonomis[5]. Namun untuk pembahasan kali ini akan difokuskan pada sisi elektrikal nya saja tanpa mempertimbangkan hal yang seperti diatas. Untuk jenis gardu induk umumnya terdapa tiga jenis yaitu jenis konvensional, *gas insulated substatio(GIS)*, dan juga gabungan keduanya. Untuk jenis GIS biasanya tidak memerlukan tempat yang luas, untuk jenis konvensional justru lebih banyak memerlukan tempat yang luas. Namun dilihat dari peralatan serta komponen yang digunakan untuk tipe gardu induk GIS biasanya lebih membutuhkan harga yang lebih mahal untuk biaya awal dan juag perawatannya, sedangkan untuk jenis konvensional tidak terlalu mahal dibandingkan denga gardu induk jenis GIS tersebut[5].

**Tabel 2.1** Desain jenis utama untuk instalasi switchgear tegangan tinggi dan lokasinya[5]

Desain Dasar	Media Isolasi	Level Tegangan(kV)	Lokasi	
			<i>Outdoor</i>	<i>Indoor</i>
Konvensional	Udara	>52-123	v	v
Konvensional	Udara	123-800	v	
GIS	SF <sub>6</sub>	>52-800	v	v
<i>Hybrid</i>	Udara/ SF <sub>6</sub>	245-500	v	

Untuk jenis GIS apabila lokasinya adalah diluar ruangan biasanya ini hanya untuk kasus tertentu, karena biasanya GIS terletak didalam ruangan. Untuk jenis *hybrid* sangat bagus digunakan untuk ekspansi, pengembangan dan juga *upgrading*.

## **2.3 Konfigurasi Sirkuit**

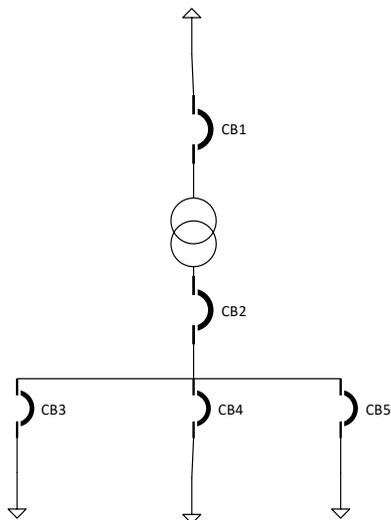
Hal yang paling awal dalam mendesain *layout* gardu induk adalah jenis atau konfigurasi *busbar* seperti apakah yang akan digunakan dengan mempertimbangkan beberapa hal diantaranya adalah, keuntungan, serta juga mempertimbangkan kerugian. Karena setiap jenis *layout* gardu induk memiliki keuntungan dan juga kekurangannya sendiri tergantung dari kebutuhan gardu induk tersebut. Terdapat banyak jenis untuk kategori konfigurasi sirkuit, namun yang biasanya dipakai diantaranya adalah jenis *tap substation*, *single breaker single bus*, *operating/transfer buses with single breaker*, *ring bus*, *breaker-and-a-half*, *double breaker double bus* [4]

### **2.3.1 Konfigurasi Tap Substation**

Konfigurasi jenis ini adalah konfigurasi sirkuit yang paling dasar dari semua jenis konfigurasi sirkuit yang ada. Untuk rangkaian yang di *tapped* merupakan sumber energi utama yang dapat diandalkan. Sehingga apabila terdapat gangguan di semua tempat maka akan berdampak keseluruhan sistem mati total. Komponen peralatan untuk proteksi pilihannya adalah opsional, namun sangat dianjurkan untuk konfigurasi ini. Peralatan proteksi yang digunakan bisa bermacam-macam tergantung *rating* tegangan dari sistem tersebut, bisa menggunakan *fuse*, *circuit breaker*, atau juga dapat memakai *circuit switcher*. Pada jenis konfigurasi sirkuit ini tidak memiliki fleksibilitas yang cukup sehingga jarang sekali untuk sistem dengan *rating* tegangan yang menengah keatas menggunakan konfigurasi sirkuit ini. Adapun keuntungan dan kerugian dari jenis konfigurasi sirkuit ini yaitu :

**Tabel 2.2** Keuntungan dan Kerugian Konfigurasi Tap Substation [4]

<b>Keuntungan</b>	<b>Kerugian</b>
- Ukuran <i>plot</i> kecil	- Pengoperasian dapat berdampak pada pemadaman total
- Biaya awal yang murah	- Banyaknya titik tunggal yang dapat menyebabkan kegagalan
- Biaya perawatan murah	- Titik kegagalan tersusun seri



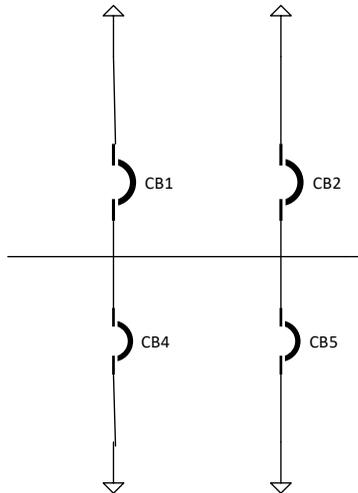
**Gambar 2.2** Contoh rangkaian dengan konfigurasi Tap Substation[4]

### 2.3.2 Konfigurasi Pemutus Tunggal Bus Tunggal

Jenis konfigurasi yang ini adalah jenis konfigurasi yang sudah cukup umum dan banyak digunakan. Pada jenis konfigurasi ini memiliki satu pemutus per satu sirkit. Namun pada jenis ini juga hampir sama dengan jenis yang sebelumnya yakni tidak memiliki fleksibilitas. Konfigurasi pemutus tunggal dan bus tunggal sangat lah terbatas penggunaannya apabila dipalिकासikan pada *level* jaringan dengan *level* tegangan tinggi dan biasanya digunakan pada jaringan distribusi.

**Tabel 2.3** Keuntungan dan Kerugian Konfigurasi pemutus tunggal bus tunggal [4]

Keuntungan	Kerugian
- Setiap sirkit memiliki alat proteksi	- Pemeliharaan rangkaian butuh pemadaman total
- Desain yang sederhana	- Kegagalan <i>breaker</i> dan <i>bus</i> membuat semua sirkit padam
- Hanya membutuhkan satu pasang <i>Voltage Transformer</i>	- Ekspansi membutuhkan pemadaman total



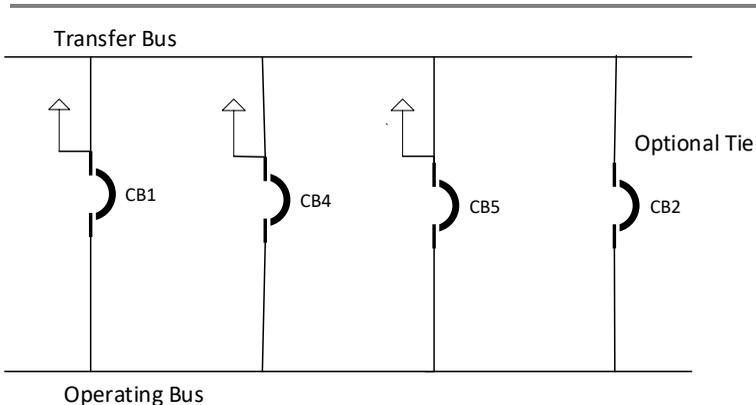
**Gambar 2.3** Contoh rangkaian dengan konfigurasi pemutus tunggal bus tunggal[4]

### 2.3.3 Konfigurasi Operasi / Transfer Bus Pemutus Tunggal

Konfigurasi sirkit jenis ini merupakan konfigurasi yang hampir serupa dengan jenis konfigurasi pemutus tunggal bus tunggal, namun perbedaannya disini terdapat tambahan berupa transfer bus dimana switch yang terdapat pada transfer bus disini bersifat *normally open*. Jenis konfigurasi sirkit ini biasanya sering digunakan dan diaplikasikan pada sistem distribusi yang terletak diluar ruangan(*outdoor*).

**Tabel 2.4** Keuntungan dan Kerugian Konfigurasi Operasi/Transfer Bus pemutus tunggal [4]

<b>Keuntungan</b>	<b>Kerugian</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perawatan alat proteksi dilakukan tanpa adanya interupsi pada sistem</li> <li>- Hanya membutuhkan satu set transformator tegangan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lebih mahal karena tambahan trasfer <i>bus</i></li> <li>- Pola operasi normalnya pemutus tunggal <i>bus</i> tunggal</li> <li>- Butuh alat proteksi yang bisa beradaptasi secara otomatis.</li> </ul>



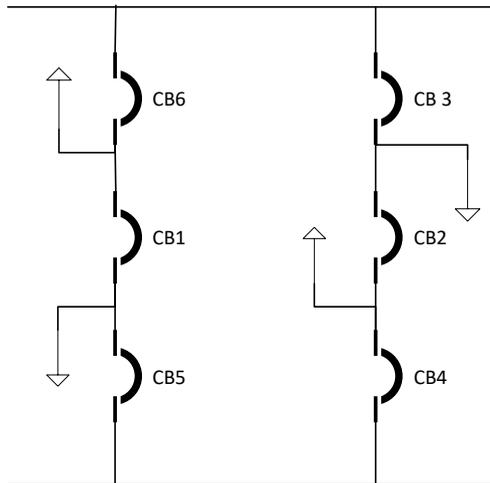
**Gambar 2.4** Contoh rangkaian dengan konfigurasi operasi/transfer bus pemutus tunggal[4]

### 2.3.4 Konfigurasi 1 1/2 Breaker

Konfigurasi sirkit jenis ini merupakan salah satu yang paling fleksibel dibanding dengan konfigurasi jenis *ring*. Jenis konfigurasi 1 1/2 Breaker merupakan jenis konfigurasi yang cukup sering digunakan pada sistem dengan *rating* tegangan yang tinggi terutama dimana terdapat banyak sirkit yang *terinstall* pada sistem tersebut. Untuk jenis 1 1/2 Breaker membutuhkan 3 alat pemutus untuk setiap 2 rangkaian.

**Tabel 2.5** Keuntungan dan Kerugian Konfigurasi 1 1/2 Breaker[4]

Keuntungan	Kerugian
<ul style="list-style-type: none"><li>- Konfigurasi sistem yang kuat</li><li>- Dapat dengan mudah diekspansi</li><li>- Kegagalan pemutus di sisi busbar hanya menyebabkan kegagalan pada satu sirkit</li><li>- <i>Maintenance</i> pemutus dilakukan tanpa mengganggu rangkaian</li><li>- Availabilitas yang tinggi</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Butuh biaya besar</li><li>- Butuh lahan yang luas</li><li>- Kegagalan pada pemutus utama dapat menghasilkan kegagalan pada 2 rangkaian.</li></ul>



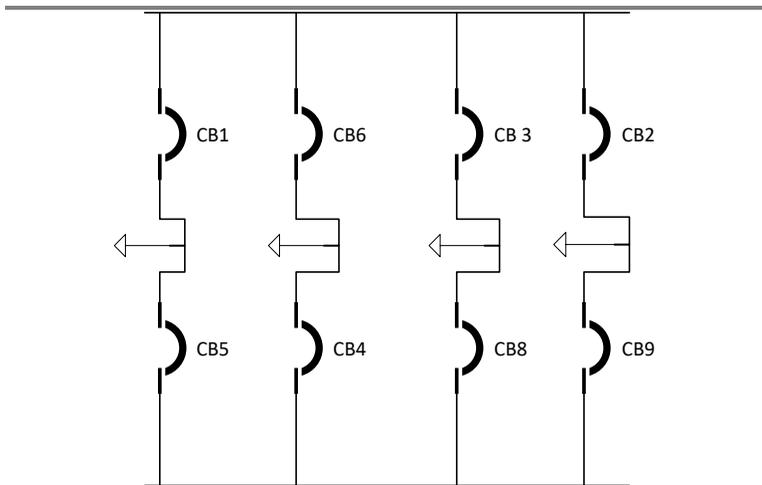
**Gambar 2.5** Contoh rangkaian dengan konfigurasi 1 1/2 Breaker[4]

### 2.3.5 Konfigurasi Pemutus Ganda Bus Ganda

Konfigurasi pemutus ganda bus ganda ini merupakan konfigurasi dengan susunan dengan tingkat fleksibilitas yang tinggi. Konfigurasi jenis ini memiliki 2 bus dan tiap bus nya di pisahkan dengan 2 pemutus sehingga terdapat 2 alat pemutus disetiap rangkaiannya. Pemutus pada konfigurasi ini beroperasi dengan *normally closed*.

**Tabel 2.6** Keuntungan dan Kerugian Konfigurasi Pemutus Ganda *Bus* Ganda [4]

Keuntungan	Kerugian
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kegagalan pada <i>bus</i> tidak mengganggu sistem yang lain</li> <li>- Kegagalan di satu rangkaian tidak mengganggu <i>bus</i>/rangkaian lain.</li> <li>- Mudah untuk diekspansi</li> <li>- Mudahnya perawatan komponen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Butuh biaya yang cukup besar 2 pemutus dan 4 <i>switch</i> tiap rangkaian</li> <li>- Butuh lahan yang luas</li> </ul>



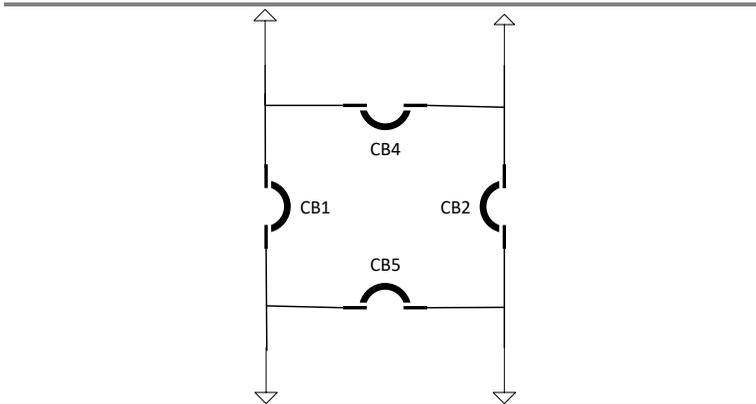
**Gambar 2.6** Contoh rangkaian dengan konfigurasi pemutus ganda *bus* ganda [4]

### 2.3.6 Konfigurasi *Ring Bus*

Konfigurasi jenis ini memiliki alat proteksi yang berbentuk seperti melingkar (*ring*). Tujuannya adalah agar menghemat pemakaian komponen proteksi tersebut, dikarenakan pada konfigurasi ini hanya membutuhkan 1 alat proteksi pada setiap *bus*nya.

**Tabel 2.7** Keuntungan dan Kerugian Konfigurasi *ring bus* [4]

Keuntungan	Kerugian
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fleksibilitas tinggi karena alat proteksi yang minimum.</li> <li>- Kegagalan di satu rangkaian tidak mengganggu <i>bus</i>/rangkainya lain.</li> <li>- Mudahnya perawatan komponen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kegagalan alat pemutus dapat menyebabkan rangkainya lain terganggu.</li> <li>- Butuh lahan luas dengan jumlah rangkainya 6 atau lebih.</li> </ul>



**Gambar 2.7** Contoh rangkaian dengan konfigurasi *ring bus*[4]

## 2.4 Komponen Peralatan di Gardu Induk

Komponen serta peralatan yang terpasang di gardu induk terdapat banyak macam dan juga jenisnya. Pada pembahasan di dasar teori ini akan dijelaskan komponen-komponen pada gardu induk yang dianggap cukup krusial dan sangat penting sehingga harus diperhatikan betul agar pada desain *layout* gardu induk untuk kedepannya tidak ada kesalahan satu pun. Karena langkah selanjutnya dalam mendesain *layout* gardu induk 275 kV ini setelah menentukan konfigurasi sirkuit nya, lalu dilanjutkan dengan mendesain dan juga memilih *rating* peralatan yang nanti nya akan terpasang pada gardu induk.

### 2.4.1 Pemutus Daya

Untuk dapat mempertahankan keberlangsungan dalam menyalurkan dayanya dan mempertahankan sistem kelistrikannya, setiap

gardu induk pastilah memerlukan sebuah alat proteksi yang mumpuni agar kestabilan dan juga agar saat terjadi kesalahan pada sistem tersebut dapat dicegah dan juga dapat diatasi dengan segera. Pada saat terjadi gangguan hubung singkat, maka pada sistem terjadi gejala yang tiba-tiba, kinerja dari generator sistem pun dapat melonjak naik secara tiba-tiba yang dapat menyebabkan ketidakstabilan pada sistem tersebut. Apabila pemutus daya dapat bekerja dan membuka sebelum waktu kritisnya terlampaui maka kestabilan dapat dipertahankan[6].

Salah satu komponen proteksi yang sangat penting dalam pemutus daya adalah relai. Dalam setiap pemutus daya terdapat otak yang memerintahkan agar pemutus daya dapat bekerja dan membuka apabila terjadi arus gangguan. Hubungan antara relai dan pemutus daya dalam hal ini dapat diibaratkan seperti otak dan juga sakelar. Otak disini adalah merepresentasikan relai dan juga sakelar disini merepresentasikan pemutus daya tersebut. Sehingga apabila terdapat arus gangguan yang melebihi dari batas relai itu bekerja maka relai tersebut akan memerintahkan pemutus daya tersebut untuk dapat membuka.

#### **2.4.2 Pelindung Tegangan Lebih**

Untuk dapat mempertahankan keberlangsungan dalam menyalurkan daya, tegangan maksimum, tegangan puncak maksimum, dan juga tegangan lebih. Tegangan nominal bisa juga disebut tegangan pengenal sistem. Dalam kehidupan sehari-hari, tegangan pada suatu sistem kelistrikan tidak hanya selalu dalam tegangan nominalnya. Namun terkadang tegangan nominal sistem bisa saja melebihi batasnya sehingga dapat mencapai nilai tegangan lebih. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka diperlukan peralatan pelindung tegangan lebih agar peralatan dan komponen pada sistem tidak rusak apabila terjadi hal tersebut[6].

Letak dari alat pelindung tegangan lebih ini, biasanya diletakkan sebelum peralatan lainnya, sehingga tegangan impuls dapat melalui pelindung tegangan lebih ini terlebih dahulu sebelum melalui peralatan dan komponen lainnya. Biasanya alat pelindung lebih ini dipasang paralel dengan alat dan peralatan yang ingin dilindunginya. Suatu alat pelindung tegangan lebih ini mengalirkan arus petir ke tanah, sehingga harus diperhatikan pemasangannya agar alat pelindung tegangan lebih tidak mengalami kerusakan saat mengalirkan arus petir ke tanah.

$$X_s = \frac{\left(\frac{LIWV}{1.15}\right) - V_{pl}}{2 \cdot s} \times v_{tw} \dots\dots\dots(2.1)$$

- Dimana :  $X_s$  = protective distance (m)  
 $LIWV$  = standard rated lightning impulse withstand voltage (kV)  
 $V_{pl}$  = LI Protection level of arrester (kV)  
 $S$  = front stepness of the overvoltage (kV/ $\mu s$ ) (range of 1000 kV/ $\mu s$ )  
 $V_{tw}$  = Propagation speed of travelling wave (300 m/ $\mu s$  for overhead line)

### 2.4.3 Sakelar Pemisah

Dalam pelayanan, penyediaan, serta penyaluran sistem tenaga listriknya, komponen serta peralatan di gardu induk sangat membutuhkan pemeliharaan yang berkala serta terjadwal agar kapabilitas serta ketahanan dari peralatan lainnya dapat terjaga dari awal hingga jangka waktu yang lama. Saat menjalankan pemeliharaan tersebut, maka semua komponen dal peralatan haruslah dipisahkan dari sistem sehingga keberlangsungan dari proses pemeliharaan dapat terjaga dengan baik dan juga orang-orang yang melakukan pemeliharaan dapat aman dari bahaya. Hal tersebut dapat dilakukan karena adanya suatu peralatan yang dinamakan sakelar pemisah. Terdapat beberapa perbedaan yang signifikan antara komponen pemutus daya dengan sakelar pemisah.

**Tabel 2.8** Perbedaan dan persamaan sakelar pemisah dengan pemutus daya [6]

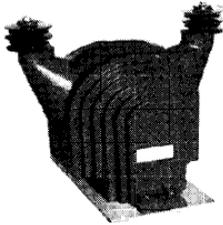
<b>Sakelar Pemisah</b>	<b>Pemutus Daya</b>
Memisahkan rangkaian	Memisahkan rangkaian
Dapat memikul beban sistem	Dapat memikul beban sistem
Hanya dapat memutus atus beban $\pm 5A$	Dapat memutus arus beban
Tidak dapat memutus arus hubung singkat	Dapat memutus arus hubung singkat
Tidak dapat menghubungkan sumber dengan jaringan yang sedang terhubung singkat	Dapat menghubungkan sumber dengan jaringan yang sedang terhubung singkat
Operasi penutupan dan pembukaan berlangsung lambat	Operasi penutupan dan pembukaan berlangsung cepat

Saat membuka timbul busur api energi rendah sehingga busur api padam sendiri	Saat membuka timbul busur api energi besar sehingga butuh usaha pemadaman busur api
Saat membuka rangkaian beda tegangan antar kedua kutub tidak tinggi	Saat membuka rangkaian beda tegangan antar kedua kutub cukup tinggi
Tidak dapat menghubungkan beban besar pada rangkaian	Dapat menghubungkan beban besar pada rangkaian

#### 2.4.4 Trafo Tegangan

Untuk mengukur tegangan tinggi, sangatlah rentan dan berbahaya sekaligus sangatlah merepotkan untuk dilakukan. Biasanya dalam pengukuran tinggi tidak dapat dilakukan secara langsung, karena selain berbahaya juga sangatlah sulit untuk membuat peralatan *voltmeter* yang dapat mengukur secara langsung. Dalam praktiknya, pada sebuah gardu induk pun diperlukan alat untuk memonitor, serta alat indikator dan juga relai proteksi, dimana semua peralatan tersebut tidaklah mungkin dapat beroperasi pada level tegangan yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan sebuah alat yang dapat digunakan untuk keduanya pada sebuah gardu induk yaitu trafo tegangan untuk mengubah nilai tegangan tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah untuk keperluan pengukuran dan juga kebutuhan alat indikator serta relai proteksi tersebut.

Dalam praktiknya, terdapat dua jenis trafo tegangan. Jenis yang pertama adalah trafo tegangan magnetik. Komponen utama dari trafo tegangan ini adalah kumparan primer, kumparan sekunder, dan inti baja silikon. Kurang lebih prinsip kerja dari trafo tegangan magnetik hampir sama dengan trafo daya pada umumnya. Untuk konstruksinya sendiri dari segi pemakaian tempat, lebih baik menggunakan jenis tabung isolasi karena ukurannya lebih kecil dibanding dengan jenis tangki logam dengan tabung porselen. Untuk jenis trafo tegangan kapasitif adalah jenis yang biasanya dipakai di gardu induk sistem transmisi karena bisa berfungsi sebagai pengirim sinyal komunikasi, dan pada level tegangan lebih dari 110 kV lebih ekonomis menggunakan jenis kapasitif dibanding magnetik.



(a)



(b)

**Gambar 2.8** Trafo tegangan magnetik kutub ganda(a), trafo tegangan kapasitif(b).[6]

#### 2.4.5 Trafo Arus



**Gambar 2.9** Trafo arus pada level tegangan tinggi.[6]

Hampir sama seperti trafo tegangan, trafo arus pun juga dibutuhkan pada sebuah sistem kelistrikan guna membantu pembacaan arus bertegangan tinggi dan juga untuk alat indikator serta relai proteksi di sebuah gardu induk.

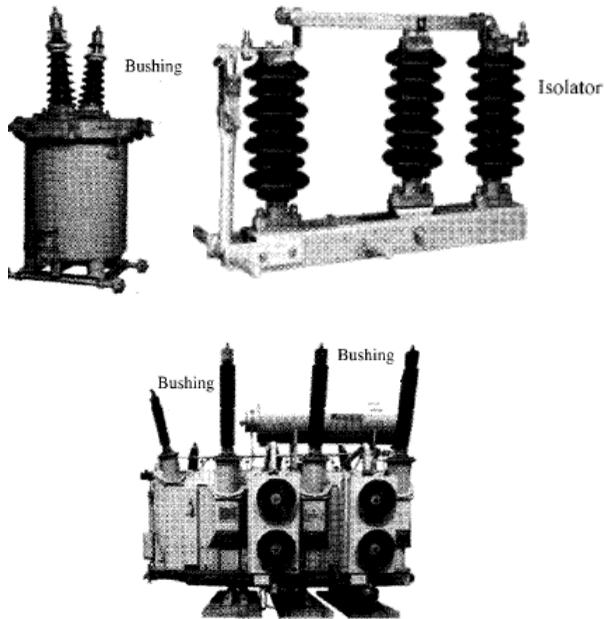
#### 2.4.6 Trafo Daya

Pada gardu induk sistem transmisi, memiliki peranan sangat penting dalam menyalurkan daya listrik menuju sistem distribusi tegangan menengah. Sehingga komponen dan peralatan yang sangat

dibutuhkan pada suatu gardu induk adalah trafo daya. Bagian dari trafo daya yang paling penting adalah inti, dua set atau lebih kumparan dan juga isolasi. Bahan isolasi suatu trafo daya biasanya gabungan dari bahan dielektrik padat dan cair, sedangkan bahan kumparan suatu trafo daya biasanya adalah tembaga, sedangkan bahan inti trafo daya adalah terdiri dari lembaran-lembaran baja silikon, yang disatukan dengan pernis.

#### **2.4.7 Isolator dan Bushing**

Salah satu fungsi dari isolator adalah memisahkan bagian konduktor dengan bagian yang tidak memiliki tegangan. Pada sistem transmisi hantaran udara, isolator yang digunakan adalah berupa hantaran udara, sedangkan menara dan juga tiang pendukung biasanya digunakan isolator. Pada gardu induk transmisi juga digunakan isolator pada bagian pendukung sakelar pemisah, dan penopang konduktor. Bushing merupakan bagian isolator yang bertujuan untuk memisahkan antara bagian konduktor dengan badan peralatan pada sebuah gardu induk, misalnya pada pemutus daya, sakelar pemisah, trafo daya, dan trafo ukur[6].



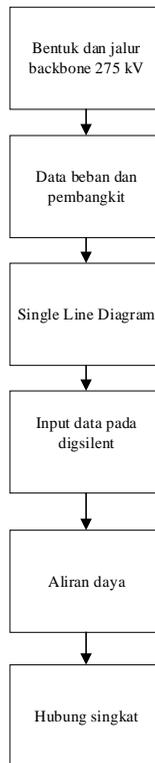
**Gambar 2.10** Contoh isolator dan bushing pada peralatan gardu induk tegangan tinggi.[6]

# BAB III

## Perancangan dan Perencanaan Sistem Kelistrikan Kalimantan

Pada bab ini akan diceritakan mengenai langkah-langkah awal dalam mendesain *layout* gardu induk 275 kV. Pada bagian ini terdapat beberapa parameter awal yang nantinya dapat digunakan untuk merancang *layout* gardu induk serta komponen dan peralatan yang ada didalamnya.

### 3.1 Tahapan Perancangan Sistem Kelistrikan Kalimantan 275 kVAC

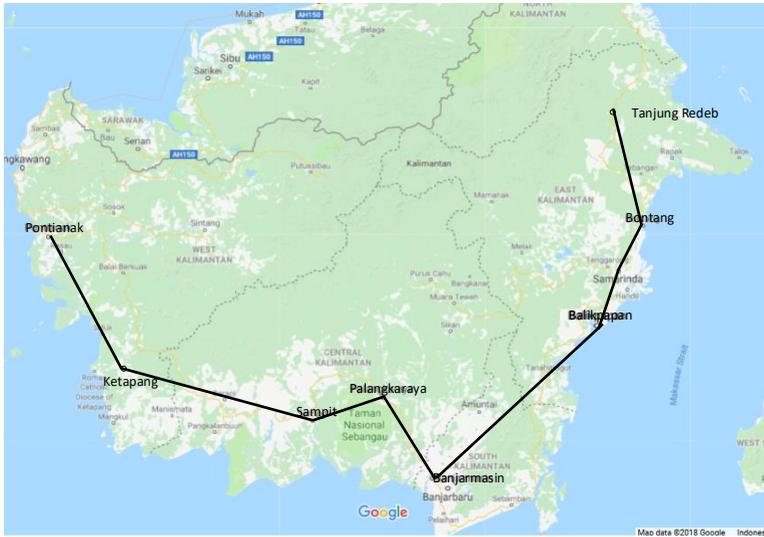


**Gambar 3.1** Alur tahapan perencanaan sistem kelistrikan Kalimantan

Tahapan awal dari mendesain *layout* gardu induk adalah dengan mengetahui karakteristik kelistrikan sebuah sistem. Cara tersebut dapat dilakukan dengan tahapan perancangan sebuah sistem kelistrikan yang nantinya akan digunakan datanya pada desain *layout* gardu induk. Tahapan yang pertama adalah mengetahui bentuk asli serta jalur yang ada pada sebuah sistem kelistrikan, lalu tahapan yang selanjutnya adalah mengetahui data beban dan juga pembangkit yang ada dan juga pertumbuhan beban serta kapasitas pembangkit yang direncanakan hingga pada tahun 2028. Langkah selanjutnya adalah dengan menggambar *single line diagram* sistem tersebut dengan perangkat lunak dan lalu memasukkan data beban, pembangkit dan yang lainnya pada perangkat yang digunakan. Langkah terakhir adalah dengan menjalankan aliran daya dan mengetahui besarnya arus hubung singkat pada area calon gardu induk yang akan didesain. Apabila terdapat kesalahan ataupun perangkat lunak tersebut tidak mau menjalankan aliran dayanya, maka periksa kembali data-data yang diinput seperti data pembangkit dan beban yang dan juga operasi pembangkit yang digunakan serta *line* dan juga data transformator yang digunakan.

### **3.2 Sistem Kelistrikan Kalimantan 275 kVAC**

Pada sistem kelistrikan Kalimantan 275 kVAC didalamnya terdapat berbagai macam jalur. Secara keseluruhan jalur yang telah direncanakan untuk ekspansi sistem kelistrikan hingga puluhan tahun kedepannya yakni terdapat tiga jalur. Secara keseluruhan, seluruh provinsi di pulau Kalimantan dibagi dengan tiga bagian, bagian yang pertama adalah KALTIMRA atau gabungan dari provinsi Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara. Selanjutnya adalah bagian Kalimantan Barat, dan bagian yang ketiga adalah KALSELTENG atau merupakan gabungan dari Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah.



**Gambar 3.2** Peta Backbone Sistem Kelistrikan Kalimantan 275 kV

Jalur transmisi dari pulau Kalimantan ini, berfokus pada tiga jalur yang telah disebutkan diawal. Pembagian jalur ini menghubungkan antara ketiga bagian KALTIMRA, KALSELTENG, dan KALBAR. Jalur pertama adalah jalur *ring*. Jalur ini merupakan jalur yang paling panjang diantara dua jalur lainnya, diakrenakan jalur ini adalah gabungan dari kedua jalur lainnya. Jalur *ring* ini membentang dari Tanjung Redep di bagian KALTIMRA, hingga melingkar kebawah melewati gardu induk yang terdapat pada jalur selatan yaitu melewati kota Bontang dan melingkar keatas jalur pada bagian utara melwati gardu induk yang terdapat di Kayan Hulu, hingga menuju ke Pontianak.

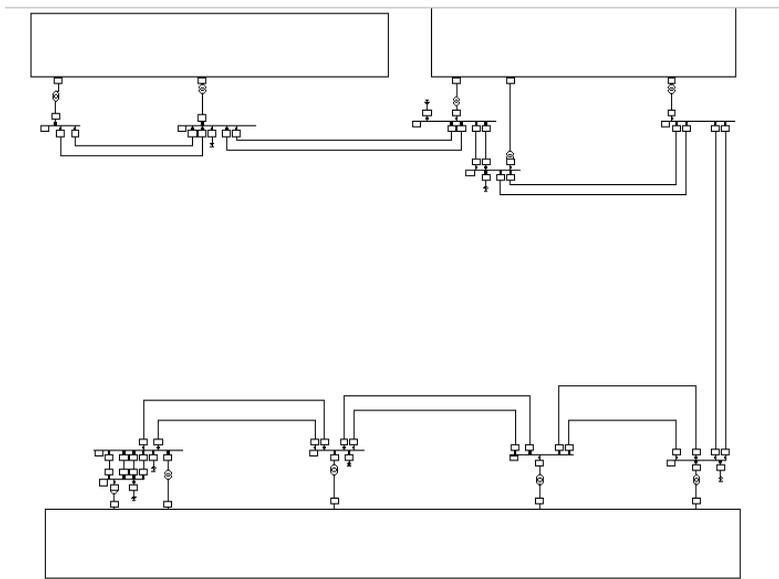
Jalur selanjutnya adalah jalur selatan yang melingkar melalui gardu induk yang terletak di Tanjung Redep lalu melingkar kebawah melalui keseluruhan bagian KALTIMRA dan juga melewati KALSELTENG hingga menuju ke bagian KALBAR dan berakhir di gardu induk pada kota Pontianak. Untuk jalur yang terakhir adalah jalur utara yang melingkar melalui gardu induk yang terdapat di daerah Bontang dan melewati bagian KALTIMRA hingga menuju bagian KALSELTENG melalui daerah Kayu Hulun dan berakhir di bagian KALBAR yakni di gardu induk pada kota Pontianak.

### 3.3 Perancangan Diagram Satu Jalur Sistem Kelistrikan Kalimantan 275 kVAC

Pada pembahasan kali ini, akan dibahas mengenai perancangan sistem kelistrikan Kalimantan dengan level tegangan 275 kVAC dengan menggunakan perangkat lunak *disgsilent* yang nantinya data yang didapat berupa hasil ataupun *output* dari perangkat lunak ini, akan diimplementasikan dan sebagai parameter awal untuk dapat mendesain serta menjadi tolak ukur kelayakan sebuah gardu induk. Maka dari itu, proses awal inilah yang sangat menentukan untuk kedepannya apakah desain *layout* gardu induk dapat sesuai dengan apa yang diinginkan atau justru sebaliknya.

Untuk dapat merancang sistem kelistrikan Kalimantan 275 kVAC pada perangkat lunak *disgsilent* ini terdapat beberapa data dan juga nilai-nilai yang dibutuhkan. Salah satu hal yang paling penting yang dibutuhkan untuk dapat mengolah dan merancang sistem kelistrikan ini adalah data beban serta pembangkit yang ada. Kebutuhan akan sistem kelistrikan di Kalimantan tidak hanya berhenti untuk satu tahun atau dua tahun kedepannya. Maka dari itu dibutuhkan penelitian mengenai perkiraan kebutuhan dan kenaikan beban pada sistem kelistrikan Kalimantan serta kebutuhan pembangkit di masa yang akan datang juga merupakan hal yang sangat krusial untuk diteliti. Namun pada bab ini, hal seperti itu tidak akan dibahas, melainkan hanya akan ditampilkan berupa data yang sudah diolah dan telah diteliti oleh rekan-rekan kami sebelumnya mengenai kebutuhan dan perkiraan kenaikan beban dan juga kebutuhan pembangkit pada sistem kelistrikan Kalimantan di masa depan.

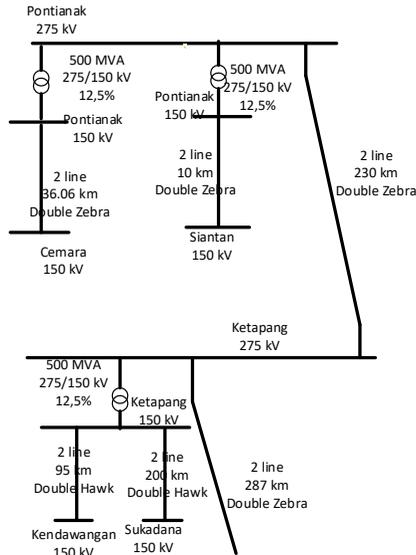
Untuk data beban dan pembangkit yang akan ditampilkan, merupakan data yang ada dari awal tahun 2017 hingga akhir batas kemampuan dari sistem kelistrikan Kalimantan 275 kVAC. Untuk mendapatkan hasil seberapa lama dan seberapa kuat dari sistem kelistrikan Kalimantan 275 kVAC ini dapat bertahan dibutuhkan analisis kontingensi, dimana analisis ini meneliti terkait kemampuan sistem dilihat dari apabila terdapat gangguan hingga menyebabkan salah satu *line* yang menghubungkan antara satu daerah dengan daerah lainnya diasumsikan putus. Sehingga didapatkan lah hasil dari kemungkinan yang paling buruk dari sebuah sistem kelistrikan. Data hasil analisis kontingensi disini diperoleh dari rekan-rekan kami juga yang telah meneliti dan mempelajari hal tersebut.



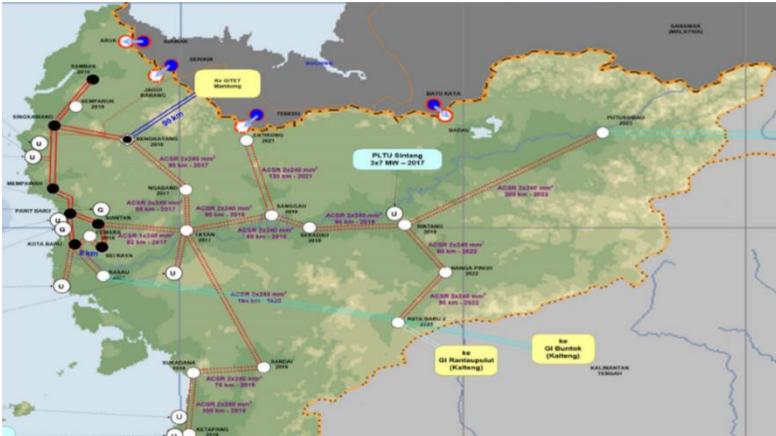
**Gambar 3.3** Tampilan diagram satu jalur sistem Kalimantan 275 kVAC melalui jalur selatan

Setelah mengetahui tampilan *interface* dari perangkat yang akan digunakan, berikut akan ditampilkan ketiga bagian dari sistem kelistrikan Kalimantan 275 kVAC yang telah dibuat menggunakan perangkat lunak *digsilent* tersebut. Bagian yang paling atas sebelah kiri adalah bagian Kalimantan Barat untuk bagian yang sebelahnyanya adalah bagian KALSELTENG, dan yang paling bawah adalah bagian KALTIMRA. Pada gambar yang tertera diatas adalah gambar yang mewakili sistem kelistrikan Kalimantan melalui jalur selatan. Pada simulasi untuk menentukan paramter yang akan digunakan untuk membuat desain *layout* pada gardu induk 275 kV ini menggunakan jalur sistem kelistrikan Kalimantan dengan jalur selatan. Sehingga pembahasan mengenai diagram satu jalur dari sistem kelistrikan Kalimantan 275 kVAC selanjutnya akan berfokus pada jalur selatan saja, untuk jalur yang lainnya data beban serta pembangkit dan yang lainnya tidak akan disertakan dan diabaikan.

Pada subbab ini akan dijasikan data-data pembangkit,beban serta peralatan yang terdapat pada sistem kelistrikan Kalimantan 275 kVAC. Apabila pada subbab sebelumnya hanya dijelaskan tentang gambarang umum tentang bagaimana langkah-langkah untuk merancang suatu diagram satu jalur sistem kelistrikan, namun pada subbab ini akan fokus pada bagaimana nilai dan hasil yang keluar pada perangkat lunak *digsilent* didapat. Maka dari itu beberapa tabel disajikan berupa data dari seluruh bagian Kalimantan yaitu KALBAR,KALSELTENG, dan KALTIMRA.



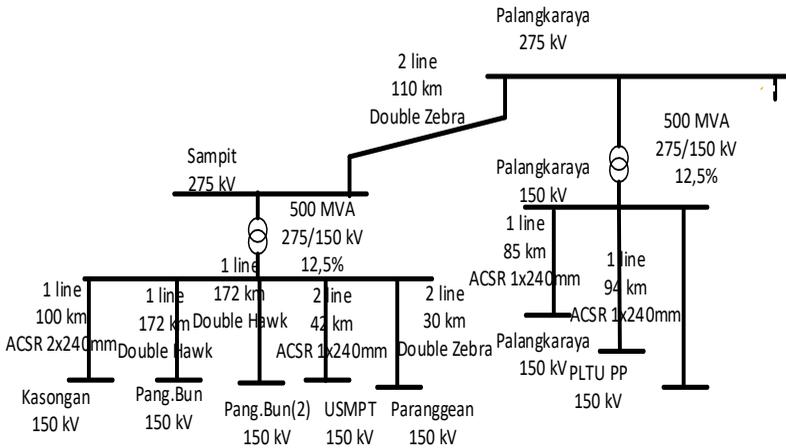
**Gambar 3.4** Diagram Satu Jalur sistem kelistrikan Kalimantan Barat 275 kVAC



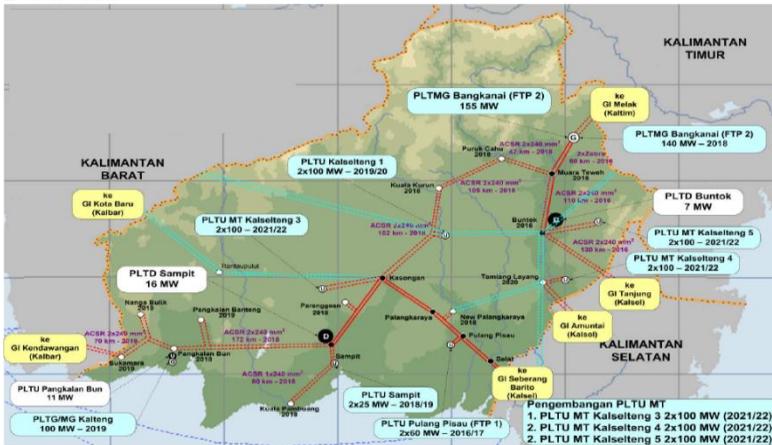
**Gambar 3.5** Peta pengembangan dan perencanaan Kalimantan Barat[1]

Pada sistem kelistrikan Kalimantan Barat, sistem transmisi yang sudah terpasang adalah sistem transmisi dengan level tegangan 150 kV. Sistem ini menghubungkan kota-kota yang ada di Kalimantan Barat seperti Sei Raya, Siantan, Mempawah, Singkawang dan Sambas. Sistem kalbar ini belum terhubung sistem kelistrikan kaltimra dan kalselteng. Dengan adanya rencana penambahan pembangkit, akan ada penambahan saluran transmisi 150 kv dan akan dihubungkan dengan sistem kalselteng lewat jalur bawah. Pada bagian Kalimantan Barat, gardu induk 275 kV yang terdapat pada sistem kelistrikan tersebut adalah terdapat didaerah Pontianak tepatnya di Sei Raya dan juga satu lagi terdapat didaerah Ketapang.

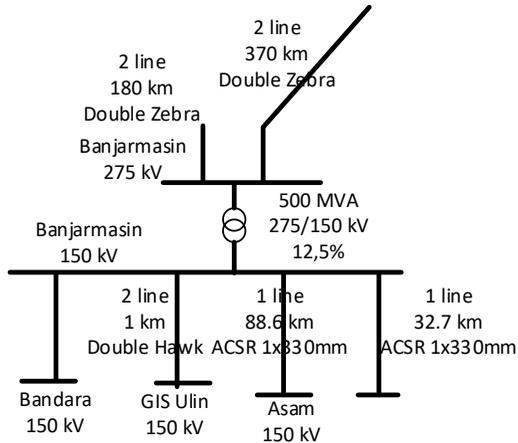
Untuk bagian dalam Kalimantan Barat dengan level tegangan 150 kV, daerah yang terhubung langsung dengan sistem kelistrikan dengan level 275 kV adalah daerah Pontianak 150 kV dan juga daerah Cemara serta daerah Sukadana. Pada tahun 2028, bagian Kalimantan Barat ini butuh daya pasokan dari sistem yang lainnya sehingga, *backbone* sistem transmisi ini bertujuan agar hingga 2028 bagian Kalimantan Barat mendapat pasokan daya yang cukup. Pada daerah Ketapang, dibangun 2 level tegangan juga seperti daerah Pontianak, yaitu level tegangan 275 kV dan juga ada yang berlevel tegangan 150 kV.



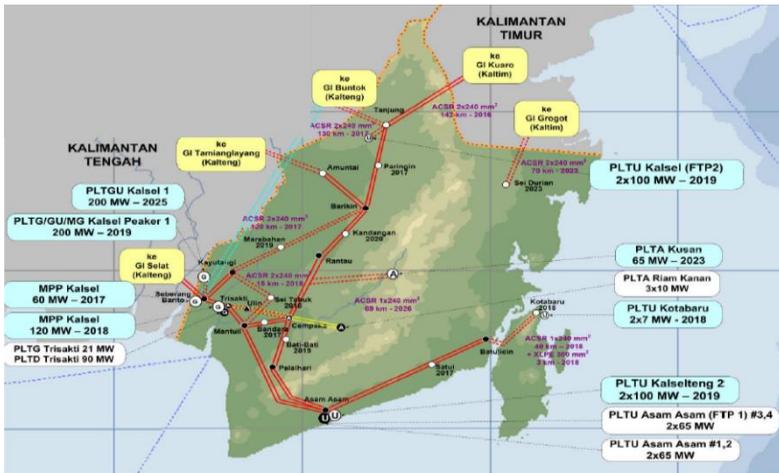
**Gambar 3.6** Diagram Satu Jalur sistem kelistrikan Kalimantan Tengah 275 kVAC



**Gambar 3.7** Peta pengembangan dan perencanaan Kalimantan Tengah[1]



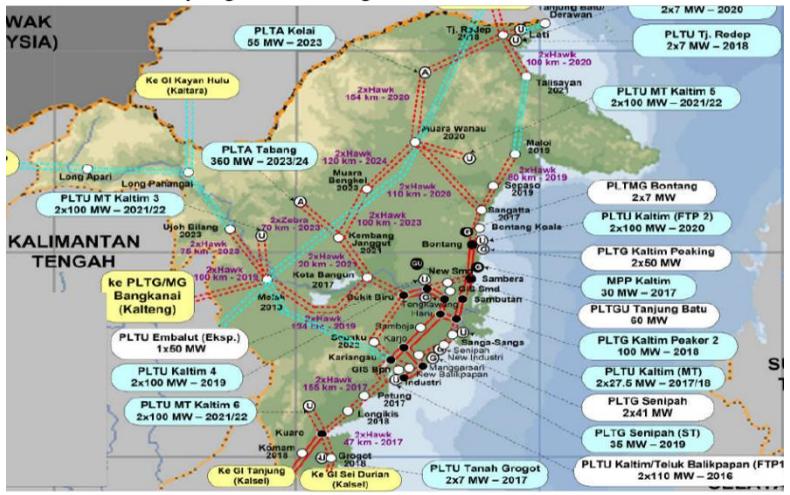
**Gambar 3.8** Diagram Satu Jalur sistem kelistrikan Kalimantan Selatan 275 kVAC



**Gambar 3.9** Peta pengembangan dan perencanaan Kalimantan Selatan[1]

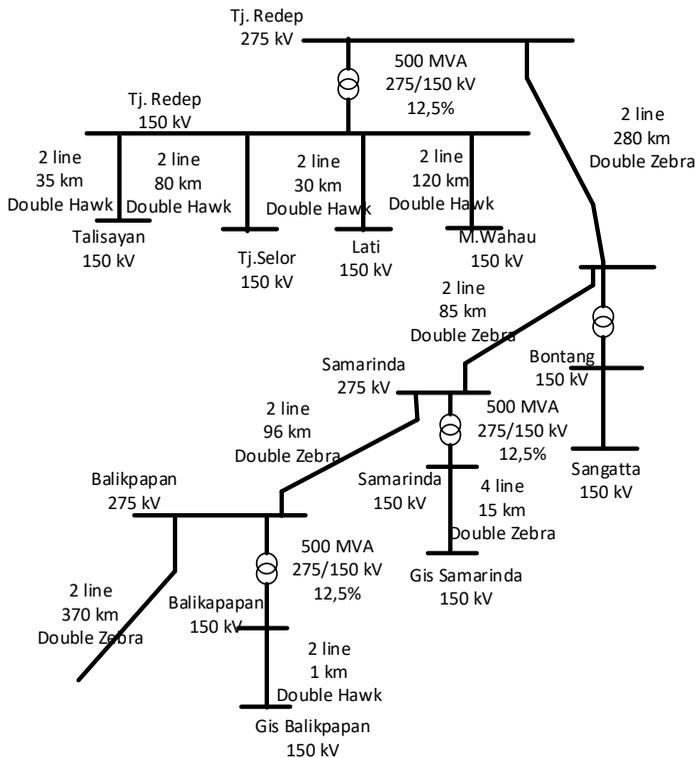
Pada bagian Tengah, terdapat dua buah gardu induk 275 kV yang terletak didaerah Palangkaraya dan Sampit. Dan pada bagian Kalimantan Selatan terdapat satu gardu induk 275 kV yang terletak

didaerah Banjarmasin. Untuk daerah Kalimantan tengah, yaitu pada gardu induk Sampit dan Palangkaraya, dua gardu induk 275 kV ini menerima daya dari aliran sistem 150 kV lalu dialirkan untuk bagian Kalimantan Barat, sedangkan pada daerah Banjarmasin, gardu induk ini mengalirkan daya dari sistem transmisi 275 kV menuju sistem transmisi 150 kV. Pada bagian Kalimantan Selatan cukup banyak daerah yang disuplai dari bagian Kalimantan Tengah dan bagian Kalimantan Timur dan Utara seperti daerah Banjarmasin, Bandara, Ulin, Asam, serta daerah Pelaihari. Pada sistem kelistrikan Kalimantan Selatan, sistem transmisi yang sudah ada adalah transmisi dengan level tegangan 150 kv. Sistem ini menghubungkan kota-kota yang ada di Kalimantan Selatan seperti Barikin, Rantau, Asam Asam, Batulicin dan Seberang Barito. Sistem ini juga terhubung dengan sistem kelistrikan Kalimantan Timur dan Kalimantan Tengah. Pada sistem kelistrikan Kalimantan Tengah juga sudah terpasang transmisi dengan tegangan 150 kV. Transmisi di Kalimantan Tengah ini menghubungkan kota-kota seperti Selat, Pulang Pisau, Palangkaraya, Kasongan, dan Sampit. Dengan adanya rencana penambahan pembangkit, akan ada penambahan saluran transmisi 150 kv di sistem kalselteng ini. Pada gambar 3.8 , garis merah adalah sistem transmisi yang terpasang hingga tahun 2017. Sedangkan garis putus-putus menandakan rencana sistem transmisi yang akan dibangun.



**Gambar 3.10** Peta pengembangan dan perencanaan Kalimantan Timur[1]

Pada sistem kelistrikan Kalimantan Timur, sistem transmisi yang sudah ada adalah transmisi dengan level tegangan 150 kV. Sistem ini memasok listrik untuk kota Balikpapan, Samarinda, Bontang dan Tenggarong. Sedangkan di Kaltimantan Utara belum ada sistem transmisi yang terpasang hingga tahun 2017 . Dengan adanya rencana penambahan pembangkit, akan ada penambahan saluran transmisi 150 kv di sistem kaltimra ini. Pada gambar 3.9, garis merah adalah sistem transmisi yang terpasang hingga tahun 2017. Sedangkan garis putus-putus menandakan rencana sistem transmisi yang akan dibangun.



**Gambar 3.11** Diagram Satu Jalur sistem kelistrikan Timur dan Utara 275 kVAC

Pada bagian Kalimantan Timur dan Utara, sistem kelistrikan pada level tegangan 275 kV diwakili oleh beberapa gardu induk yang terdapat pada bagian Kalimantan Timur. Gardu induk 275 kV pada sistem *backbone* yakni terdapat 4 gardu induk yakni terletak didaerah Tanjung Redep, Samarinda, Bontang, dan juga didaerah Balikpapan. Pada sistem dengan beban hingga pada tahun 2028 bagian Kalimantan Timur dan Utara, sangatlah berperan penting bagi semua bagian Kalimantan, dikarenakan pada daerah Kalimantan timur dan Utara ini menyumbang daya yang paling banyak bagi daerah lainnya. Dengan beban yang tidak terlalu besar dan juga kapasitas pembangkit yang cukup banyak didaerah Kalimantan Timur dan Utara ini, membuat daerah ini menjadi bagian yang cukup vital. Sehingga, optimasi pembangkitan dan juga optimalisasi aliran daya pada daerah ini harus sangatlah diutamakan.

### **3.4 Karakteristik Utama Sistem Kelistrikan Kalimantan**

Setelah mengetahui diagram jalur sistem kelistrikan Kalimantan 275 kV, langkah selanjutnya untuk dapat mendesain *layout* gardu induk 275 kV adalah menjalankan program serta mengolah data nya menggunakan perangkat lunak *digdsilent* tersebut. Untuk dapat menjalankan serta mendapat data yang kita inginkan, kita harus memastikan bahwa tidak ada kesalahan ataupun *error* pada perangkat lunak tersebut. Hal yang paling penting yang dibutuhkan untuk merencanakan dan mendesain *layout* gardu induk tersebut adalah mengetahui arah aliran daya dari diagram satu jalur sistem kelistrikan Kalimantan dan juga mengetahui daya yang mengalir pada gardu induk yang ingin kita desain serta nilai hubung singkat untuk mengetahui dan menentukan *rating* peralatan yang terpasang pada gardu induk tersebut. Karena kita telah mengetahui pertumbuhan beban dan juga kenaikan yang akan terjadi pada tahun-tahun berikutnya maka yang perlu kita lakukan selanjutnya adalah memastikan bahwa penentuan beban dan juga penentuan pembangkit yang telah direncanakan telah sesuai serta tidak terjadi keasalahan. Cara nya untuk mengetahui nya adalah menjalankan perangkat lunak dengan beban dan juga pembangkit yang akan dibutuhkan hingga tahun 2028.

Setelah kita menggambar diagram satu jalur kemudian memasukkan data-data pada perangkat lunak tersebut langkah selanjutnya adalah mengetahui aliran daya dan juga banyaknya daya yang mengalir melalui gardu induk tersebut, baik yang masuk ataupun yang keluar. Pada tugas akhir ini, difokuskan untuk mendesain *layout* gardu induk pada

bagian Kalimantan Barat yaitu di daerah Ketapang. Untuk gardu induk yang lain seharusnya sama saja hanya berbeda aliran daya yang masuk dan yang keluar dan juga banyaknya daya yang masuk dan keluar pada gardu induk tersebut.

**Tabel 3.1** Aliran Daya Pada Gardu Induk Ketapang

<b>Arah Aliran Daya</b>	<b>Daya Aktif(MW)</b>	<b>Daya Reaktif(Mvar)</b>	<b>Arus (kA)</b>
Sampit-Ketapang 1	77,9	28,1	0,177
Sampit-Ketapang 2	77,9	28,1	0,177
Ketapang-Sei Raya 1	31,7	38,5	0,106
Ketapang-Sei Raya 2	31,7	38,5	0,106
Ketapang 275 kV– Ketapang 150 kV	92,4	12,2	0,199

Pada aliran daya yang telah disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *digilent* diatas, dapat dilihat bahwa terdapat 2 *line* yang masuk pada gardu induk Ketapang dan 2 *line* tersebut berasal dari gardu induk Sampit 275 kV, yang berarti pada desain gardu induk selanjutnya aliran daya yang masuk totalnya ada 2 sehingga dapat diperkirakan bagaimana *layout* yang akan terbentuk pada gardu induk Ketapang 275 kV tersebut. Jumlah *line* yang keluar melalui gardu induk Ketapang adalah 3 dan dua diantaranya mengalir ke arah gardu induk Sei Raya yang berada di daerah Pontianak dan satu lagi mengalir kearah Sistem transmisi 150 kV di bagian Kalimantan Barat tepatnya mengarah langsung ke daerah Ketapang dengan level tegangan 150 kV. Sehingga satu *outgoing* membutuhkan transformator untuk menurunkan level tegangan sehingga daya dapat disalurkan dengan tepat hingga ke pelanggan. Jumlah daya yang masuk dan daya yang keluar pada gardu induk Ketapang ini adalah sekitar 153.4 MW dengan level tegangan sekitar 270.5 kV sesuai dengan hasil simulasi dengan perangkat lunak diatas.

**Tabel 3.2** Hasil Simulasi Hubung Singkat Pada Gardu Induk Ketapang

<b>Bus</b>	<b>I Sym (kA)</b>	<b>I Asym (kA)</b>	<b>I Peak (kA)</b>
GI Ketapang 275 kV	4,983	7,1	12,104

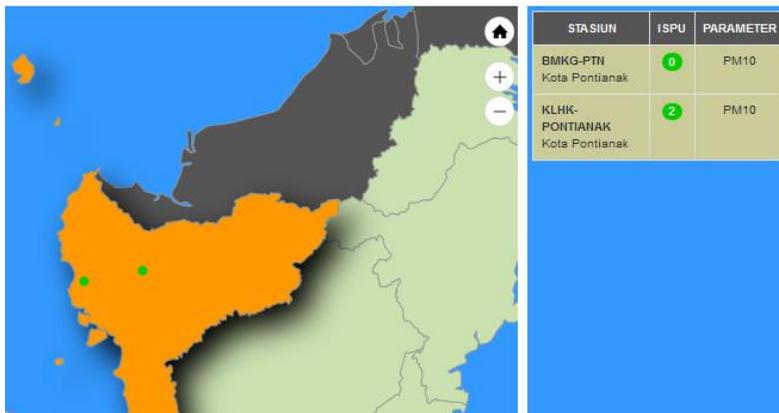
Data diatas menggunakan standard perhitungan ANSI sehingga dapat memunculkan tiga buah nilai yaitu yang pertama adalah nilai arus simetris yang muncul pada gardu induk ketapang adalah sebesar 4,8 kA. Kedua nilai arus asimetris RMS yakni diperoleh sekitar 7 kA, dan yang terakhir adalah nilai arus puncak asimetris dengan hasil sekitar 12 kA. Dapat dikatakan bahwa ketiga nilai ini yang nantinya dapat menentukan parameter peralatan dan level peralatan yang akan dipakai kedepannya pada gardu induk Ketapang 275 kV tersebut. Dari ketiga hasil simulasi diatas, nilai hasil hubung singkat pada gardu induk Ketapang 275 kV terbilang sangatlah kecil sehingga nantinya dapat ditentukan level peralatan yang tidak terlalu mahal karena level hubung singkat yang terjadi pada gardu induk diatas tidaklah terlalu besar.

### **3.5 Deskripsi Area Ketapang**

Ketapang merupakan daerah kota atau kabupaten yang terdapat di Provinsi Kalimantan Barat. Daerah ini cukup berdekatan dengan permukaan air laut. Kondisi dari pencemaran udara atau polusi daerah ini masih terbilang sangatlah kecil. Dari data BMKG didapatkan indeks standar pencemaran udara (ISP) pada kota Pontianak sangatlah kecil, sehingga dapat kita asumsikan, Kota Ketapang juga memiliki indeks yang sama dikarenakan daerahnya yang cukup berdekatan. Hasil Indeks Standard Pencemaran Udara (ISPU) dapat dilihat pada gambar dibawah ini, data tersebut diambil dari *website* kementerian lingkungan hidup dan kehutanan. Dari dagambar tersebut terdapat dua titik yang berada di kota Pontianak yang berwarna hijau yang berarti indeks pencemarannya berarti sangatlah sedikit. Kota Ketapang memiliki suhu maksimal hingga 35° C dan suhu minimum dapat mencapai 26° C berdasarkan data yang diperoleh dari satu tahun terakhir dari website worlweathersonline. Kota Ketapang dapat dikatakan memiliki iklim tropis.



**Gambar 3.11** Temperatur Rata-rata di Daerah Ketapang Pada Satu Tahun Terakhir



**Gambar 3.12** Indeks Standard Pencemaran Udara Provinsi Kalimantan Barat

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV

### ANALISIS DAN PERANCANGAN DESAIN *LAYOUT* GARDU INDUK

#### 4.1 Pertimbangan Pemilihan

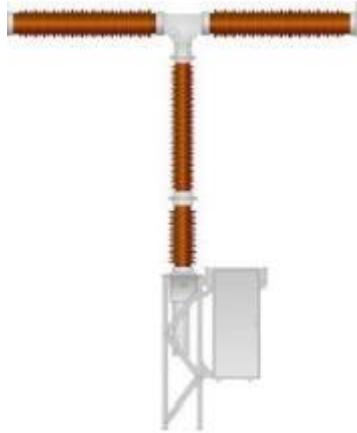
##### 4.1.1 Pertimbangan Pemilihan Pemutus Daya

Untuk pembahasan kali ini, akan dibahas mengenai bagaimana pemilihan *rating* peralatan yang tepat guna menunjang desain *layout* gardu induk Ketapang 275 kV. Untuk pertama kita akan membahas peralatan apa saja yang nantinya cukup penting dan krusial yang harus ada pada setiap gardu induk, kemudian level peralatan yang bagaimana yang cocok pada desain gardu induk Ketapang ini sesuai dengan studi aliran daya dan studi hubung singkat yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Peralatan-peralatan yang harus terdapat di sebuah gardu induk adalah linetrap, pemutus daya, pelindung tegangan lebih, sakelar pemisah, trafo tegangan, trafo arus, trafo daya, serta isolator dan bushing.

Untuk peralatan yang pertama mari kita bahas mengenai pemutus daya terlebih dahulu. Pemutus daya yang akan digunakan kali ini adalah pemutus daya dengan level tegangan yang cukup tinggi yakni 275 kV. Sehingga kita harus tepat dan akurat sesuai dengan level tegangan yang dibutuhkan pada gardu induk Ketapang tersebut. Dengan level tegangan yang telah diketahui. Pada pemilihan kali ini digunakan pemutus daya SF6 dengan level tegangan dapat mencapai 300 kV dengan *rating* sebagai berikut.

**Tabel 4.1** Rating pemutus daya[7]

Rated Voltage	362-550 kV
Rating normal current, up to	4000 A
Rating sc breaking current, up to	50 kA
Insulation Type	SF6
Ambient Temperature	-30 - +40° C
Insulator	Composite/Porselen
Creepage Distance	25mm/kV (longer on request)



**Gambar 4.1** Pemutus Daya Tegangan Tinggi[7]

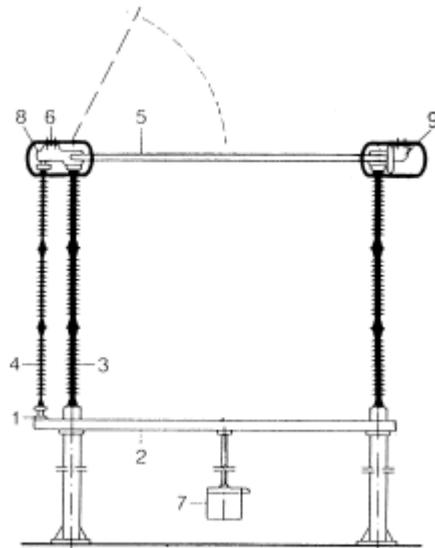
Pemutus diatas merupakan jenis dengan *low operating energy* dikarenakan setelah melihat hasil aliran daya pada bab sebelumnya, hasil arus hubung singkat dan aliran dayanya tidak terlalu besar, sehingga dipilihlah jenis ini dengan *rating* peralatan yang tidak terlalu besar dan masih mampu untuk menahan apabila terdapat arus hubung singkat yang terjadi di gardu induk Ketapang tersebut.

Pertimbangan dalam memilih jenis diatas adalah karena kebanyakan dari pemutus daya untuk instalasi tegangan tinggi atau diatas 52 kV adalah menggunakan pemutus daya SF6. Jenis diatas juga lebih murah dan juga tidak memerlukan ruang terbuka yang lebih besar, berbeda dibandingkan jenis lainnya yaitu pemutus daya berjenis *dead tank*. Dibandingkan jenis tersebut keuntungan yang dimiliki oleh pemutus daya jenis diatas lebih banyak dibandingkan dengan jenis pemutus daya jenis *dead tank* tersebut walaupun sama-sama menggunakan SF6.

#### **4.1.2 Pertimbangan Pemilihan Sakelar Pemisah**

Kemudian setelah pemutus daya mari kita menuju pembahasan mengenai *rating* peralatan selanjutnya yaitu sakelar pemisah. Untuk jenis sakelar pemisah level tegangan tinggi digunakan jenis *two column vertical break*. Sakelar pemisah jenis ini biasanya digunakan pada level tegangan tinggi diatas 170 kV. Berbeda dari jenis sakelar pemisah lengan

berputar, karena memiliki jarak fasa yang lebih kecil dan juga beban mekanik yang lebih besar. Pertimbangan pemilihan jenis ini adalah karena jenis ini lebih dapat menahan gangguan yang besar terhadap tegangan level tinggi dan juga apabila terdapat gangguan hubung singkat yang besar ataupun dalam cuaca yang sangat ekstrim sekalipun.



**Gambar 4.2** Sakelar Pemisah *Two Column Vertical Break*[5]

Sakelar pemisah jenis ini biasanya digunakan untuk pemutus *feeder* ataupun pemutus cabang pada konstruksi desain *layout* gardu induk dengan jenis *layout* 1 ½ pemutus daya. Dalam keadaan ruang terbuka, sakelar pemisah jenis ini memiliki jarak isolasi horizontal dengan kontak terbuka keatas. Bagian yang ditunjukkan pada nomor satu adalah *rotary bearing*, bagian yang ditunjukkan nomor dua adalah penyangganya, untuk isolator ditunjukkan pada nomor tiga untuk jenis *post* isolator dan nomor empat adalah isolator berputarnya. Terminal tegangan tinggi ditunjukkan pada nomor 6, dan lengan kontak ditunjukkan nomor 5. *Gearbox* dan kontak tetap ditunjukkan oleh nomor delapan dan



**Gambar 4.3** Sakelar Pemisah *Pantograph*[8]

sembilan. Untuk peralatan sakelar pemisah pada *busbar system* digunakan jenis *single column disconnect* karena untuk menghemat pemakaian ruangan dan juga dapat menghemat biaya untuk investasi peralatan.

#### **4.1.3 Pertimbangan Pemilihan Trafo Tegangan, Trafo Arus, Trafo Daya**

Setelah pertimbangan pemilihan peralatan sakelar pemisah dan pemutus daya, selanjutnya adalah pertimbangan dalam menentukan transformator arus dan juga transformator tegangan. Kedua bagian ini sangatlah vital pada komponen gardu induk tidak kalah pentingnya dibandingkan dengan sakelar pemisah dan juga pemutus daya diatas. Pada sistem transmisi gardu induk sangatlah potensial untuk dapat digunakan selain untuk penyaluran energi listrik, dapat juga memungkinkan untuk menyalurkan sinyal komunikasi. Untuk trafo tegangan dipilih jenis trafo tegangan kapasitif. Jenis ini merupakan jenis yang cukup ekonomis dibanding jenis magnetik untuk ukuran level tegangan tinggi. Dan juga pertimbangan lainnya dalam pemilihan jenis kapasitif ini adalah dikarenakan jenis kapasitif juga dapat digunakan untuk membawa sinyal

komunikasi sehingga sangatlah tepat dilakukan pemilihan jenis ini untuk gardu induk transmisi 275 kV. Untuk level tegangan yang dipilih adalah 275 kV atau dengan nominal tegangan primer yang ada di atasnya. Setelah mempertimbangkan berbagai hal seperti di atas, maka dapat kita simpulkan inilah jenis transformator tegangan yang cukup tepat yang akan dipasang pada gardu induk transmisi Ketapang 275 kV tersebut.

**Tabel 4.2** Spesifikasi Transformator Tegangan Kapasitif[9]

Installation		Outdoor
Design		Capacitor type,complies with IEC
Insulation		Aluminium-foil/paper/polypropylen-film, synthetic-oil
CVD		Paper-mineral oil
EMU		
Highest voltage for equipment	kV	72-800
Voltage factor		Up to 1.9/8hours
Insulators		Porcelain / silicon rubber
Creepage distance	mm/kV	>25 (longer on request)
Ambient temperatur	°C	-40 to +40 (others on request)
Design altitude	m	Maximum 1000 (others on request)



**Gambar 4.4** Transformator Tegangan Jenis Kapasitif dan Transformator Arus Tipe *Hairpin*[9]

Untuk pemilihan transformator arus, kita harus melihat *line* yang masuk dan *line* yang keluar dari sistem transmisi tersebut. Berdasarkan dari pembahasan pada bab sebelumnya, terdapat dua *incoming line* dan arus yang mengalir pada masing-masing *line* nya sebesar 170 ampere. Pada *outgoing line* terdapat dua jalur yang mengalir kearah sistem transmisi 275 kV dan juga satu jalur yang mengalir kearah 150 kV. Untuk jalur yang mengalir pada sistem transmisi 275 kV, besarnya arus yang mengalir adalah masing-masing sebesar 105 ampere, untuk jalur *outgoing* yang menuju kearah sistem 150 kV mengalir arus sebesar 190 ampere. Sehingga dari hasil simulasi disini dapat dipastikan besarnya *rating* untuk transformator arus yang akan digunakan pada gardu induk Ketapang 275 kV adalah 200 : 5. Sehingga keseluruhan jalur baik yang mengalir masuk ataupun keluar dari gardu induk Ketapang ini semuanya dapat terbaca dengan menggunakan transformator arus dengan *rating* seperti diatas. Jenis *Tank* atau biasa disebut jenis *hairpin* ini memiliki keuntungan dari jenis *top core* karena memiliki desain yang lebih kecil dan ukurannya lebih kecil.

**Tabel 4.3** Spesifikasi Transformator Arus Tipe *Hairpin*[9]

Design		Tank(Hairpin) type
Insulation		Oil-Paper
Highest voltage for equipment	kV	36-765 kV
Insulators		Porcelain / silicon rubber
Creepage distance	mm/kV	>25 (longer on request)
Ambient temperatur	°C	-40 to +40 (others on request)
Design altitude	m	Maximum 1000 (others on request)
Installation		Outdoor

Untuk perhitungan daya transformer dilihat dengan mempertimbangkan beban yang dibutuhkan pada sisi Kalimantan barat. Karena terdapat dua buah gardu induk yang mensuplai daerah 150 kV di Kalimantan Barat adalah dua buah gardu induk 275 kV dari Ketapang dan juga gardu induk 275 kV dari Pontianak.

**Tabel 4.4** Data Beban Kalimantan Barat

<b>Beban Kalimantan Barat</b>	<b>Daya Semu(MVA)</b>
Beban Air Upas	29,41176
Beban Bengkayang	21,97647
Beban Cemara	73,18823
Beban Entikong	13,91765
Beban Kendawangan	9,97647
Beban Ketapang	42,57647
Beban Kotabaru	89,63528
Beban Kotabaru2	12,55294
Beban NangaPinoh	22,14118
Beban Ngabang	18,67059
Beban Parit Baru	67,57647
Beban Putussiabu	20,77647
Beban Rasau	58,82353
Beban Sambas	55,02353
Beban Sandai	10,12941
Beban Sei Raya	212,0588
Beban Senggiring	40,52941
Beban Siantan	115,5294
Beban Singkawang	101,4706
Beban Sintang	56,38823
Beban Sukadana	25,31765
Beban Tayan	35,14118
Beban sekadau	24,56471
Beban-Sanggau	65,94118
<b>TOTAL</b>	<b>1157,37643</b>

Karena total daya yang dibutuhkan pada Kalimantan Barat adalah sebesar 1157,4 MVA, sehingga rating peralatan transformator daya yang dibutuhkan pada daerah Ketapang 275 kV adalah:

$$\frac{1157,4}{2} = 578.7 \text{ MVA}$$

Pada transformator daya disini, digunakan jenis transformator daya sebagai transformator penurun tegangan (*step down*). Dikarenakan setelah mengetahui analisis aliran daya pada bab sebelumnya, arah aliran daya pada sistem diagram satu jalur menunjukkan pada tahun 2028 bagian Kalimantan Barat membutuhkan daya sehingga dari sistem transmisi Kalimantan 275 kV mengalirkan daya nya menuju bagian Kalimantan Barat 150 kV. Sehingga daya yang dibutuhkan pada transformator daya pada gardu induk daerah Ketapang adalah 600 MVA.

#### **4.1.4 Pertimbangan Pemilihan Isolator**

Selanjutnya setelah pemilihan transformator daya, hal yang tidak kalah pentingnya untuk dibahas adalah mengenai pemilihan bushing dan isolator. Pada level tegangan tertentu, isolator dan bushing memiliki beberapa standar yang harus dicapai dan harus dipenuhi terkait dalam mendesain *layout* sebuah gardu induk. Untuk lebih jelasnya dibawah ini akan disediakan tabel dengan beberapa level tegangan dan juga standar yang ada sesuai dengan kepentingan penggunaannya. Pada tabel dibawah ini akan disajikan data untuk level tegangan tinggi (>52 kV) karena gardu induk yang dibuat adalah level tegangan tinggi. Pada tabel dibawah ini diunjukkan bagaimana kriteria yang baik untuk memilih jenis isolator tipe post yang digunakan untuk instalasi pada luar ruangan. Kebanyakan peralatan yang terpasang pada gardu induk Ketapang ini sudah dijelaskan sebelumnya adalah menggunakan tipe post, maka dari itu kita harus berfokus pada level tegangan 362 kV sesuai dengan standar IEC 60273 seperti dibawah ini. Sehingga apabila terdapat sambaran petir maka tegangan berlebih yang dapat ditahan oleh isolator jenis post ini dapat mencapai 1050 kV. Dan begitu pula apabila terdapat *switching impulse* yang berlebih pada sistem, isolator jenis ini dapat melindungi peralatannya hingga level tegangan 950 kV.

**Tabel 4.5** Kriteria Pemilihan untuk tipe post isolator diluar ruangan[4]

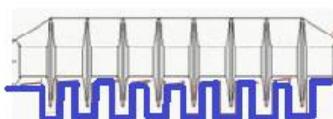
Relevant Standard	Max. Permitted Service Voltage (kV)	Rated Lightning Impulse Withstand Voltage(kV)	Rated Switching Impulse Withstand Voltage (kV)	Insulator Height (mm)
IEC 60273	72.5	325	-	770
	123	550	-	1220
	145	650	-	1500
	170	750	-	1700
	245	1175	-	2650
DIN 48119	72.5	325	-	770
DIN 48120	123	550	-	1215
DIN 48123	245	1050	-	2624
<b>IEC 60273</b>	<b>362</b>	<b>1050</b>	<b>950</b>	<b>2900</b>
	420	1300	1050	3650
	525	1425	1175	4000

**Tabel 4.6** Jarak Rambat Minimal (cm) sesuai IEC 60185 dengan tingkat polusi dari 1-4 (sedikit-parah)[4]

Tegangan maksimum yang diijinkan(kV)	1	2	3	4
72.5	116	145	181	225
123	197	246	307	381
145	232	290	362	449
170	272	340	425	527
245	392	490	612	759
<b>362</b>	<b>579</b>	<b>724</b>	<b>905</b>	<b>1122</b>
420	672	840	1050	1432
525	840	1050	1312	1627

Pada tabel diatas ditunjukkan jarak rambat minimal sebuah isolator jenis post, dapat dilihat bahwa jarak minimal dengan level tegangan 362 kV adalah seperti diatas. Tingkat polusi yang ditunjukkan seperti tabel diatas dapat diartikan bila tingkatan nomor satu adalah

daerah dengan sedikitnya bangunan untuk industri minimal 10-20 km dari laut, untuk tingkat nomor 2 adalah daerah yang dikelilingi industri dengan polusi gas yang sedikit. Untuk tingkatan polusi nomor tiga adalah daerah dengan banyaknya industri dan didekat perkotaan dengan polusi udara yang besar. Dan untuk tingkat polusi yang terakhir adalah daerah yang paling parah yakni daerah pusat industri dan juga pusat perkotaan besar. Jarak rambat minimal sebuah isolator adalah jarak sepanjang permukaan bahan isolasi padat diantara dua bagian konduktif atau dapat dibalang jarak antara satu isolator dengan bagian isolator lainnya. Seperti gambar dibawah ini, jarak yang ditandai dengan warna biru yang paling bawah adalah yang dinamakan jarak rambat minimal.



**Gambar 4.5** Gambar Jarak Rambat Minimal Pada Isolator

#### 4.1.5 Pertimbangan Pemilihan Pelindung Tegangan Lebih

Berikut spesifikasi pelindung tegangan lebih dengan bahan *metal oxide* produk dari siemens dan dapat dilihat pada katalog siemens untuk pelindung tegangan lebih dengan level tegangan tinggi.

**Tabel 4.7** Spesifikasi Pelindung Tegangan Lebih 275 kV [10]

Rating Tegangan (kV)	276
Tegangan Tertinggi Sistem (kV)	362
Ketahanan Arus selama 2 ms (A)	1100
Ketahanan Impulse Petir (kV)	1247
Ketahanan Impulse Switching (kV)	903
Lightning Impulse Protective Level ( $V_{10kA, 8/20/\mu S}$ )	649
Ketahanan Power-Frequency selama 1 min (kV)	581
Jarak Flashover (mm)	1905
Jarak Creepage (mm)	8315
Berat (kg)	63.6
Tinggi (mm)	2302

Setelah mengetahui komponen isolator dan bushing yang ada pada peralatan untuk menjaga peralatan khususnya bagian yang bertegangan maka selanjutnya mari kita bahas mengenai pertimbangan pemilihan pelindung tegangan surja atau tegangan lebih atau yang lebih dikenal dengan *surge arrester*. Peralatan ini biasanya diletakkan didekat sebuah transformator. Pada daerah area Kota Ketapang dari data BMKG disebutkan bahwa daerah Kalimantan Barat adalah daerah yang rawa sering sekali terjadinya sambaran petir. Banyaknya sambaran petir menurut BMKG dapat terjadi sebanyak 45.000 hingga 60.000 kali pada bulan Maret 2018. Sehingga pelindung petir dengan jenis metal oxide sangatlah cocok digunakan didaerah ini karena responnya yang cepat terhadap sambaran petir sehingga sangat cocok apabila pada gardu induk digunakan pelindung tegangan lebih jenis MO atau *metal oxyde*. Jenis ini adalah jenis yang paling sering digunakan untuk menahan tegangan impuls lebih baik karena sambaran petir, ataupun karena *switching impulse*. Ciri khas dari pelindung tegangan lebih jenis ini adalah desain yang sederhana, lebih mudah apabila ada perawatan, umurnya yang panjang, respon yang cepat apabila terdapat tegangan lebih dan juga memiliki karakteristik kurva V-I yang sangat non linier. Untuk jenis *metal oxyde* ini cukup beragam dalam desainnya, ada yang memiliki desain tabung yang biasanya digunakan pada level tegangan diatas 300 kV, dan untuk level tegangan rendah hingga medium biasanya digunakan jenis *wrapped design* dan ada juga desain dengan jenis sangkar. Untuk kali ini, digunakan desain sangkar yang lebih baik dan dapat digunakan untuk level tegangan hingga 300 kV. Desain sangkar ini lebih ekonomis dan lebih murah harganya dibanding jenis tabung. Dan karena level tegangan dari gardu induk Ketapang ini dapat mencapai 270 kV atau lebih, sehingga jenis ini cocok digunakan pada sistem tersebut dikarenakan jenis ini memiliki ketahanan mekanis yang mumpuni serta jenis sangkar ini juga lebih handal dalam segi performanya dibanding jenis *wrapped design*. Desain dari pelindung tegangan lebih juga biasanya terdapat beberapa standar dan kegunaan, yakni terdapat *grading ring* yang digunakan untuk mengatur tegangan distribusi sepanjang sumbu dari pelindung tegangan lebih ini yang berjarak 1,5m hingga 2m.



**Gambar 4.6** Contoh desain tipe sangkar pelindung tegangan lebih jenis *metal oxyde*[10]

Pada pelindung tegangan lebih harusnya terdapat jarak maksimal antara pelindung tegangan lebih dengan peralatan (trafo daya). Semakin kecil jarak yang diambil maka semakin bagus pula untuk pelindung tegangan lebih agar dapat maksimal melindungi peralatan dari sambaran petir. Terdapat persamaan berikut bersumber dari makalah seorang professor [13] yaitu persamaan jarak maksimal pelindung tegangan lebih apabila diketahui spesifikasi dari pelindung tegangan tersebut. Berdasarkan persamaan (2.1) maka diperoleh perhitungan sebagai berikut

Sehingga hasil perhitungan berdasarkan rating peralatan diatas adalah sebagai berikut:

$$X_s = \frac{\left(\frac{1247}{1.15}\right) - 649}{2.1000} \times 300 = 65.3 \text{ m}$$

Sehingga jarak minimal peletakkan pelindung tegangan lebih terhadap alat transformator daya adalah maksimal 65,3 m .

#### 4.1.6 Pertimbangan Pemilihan Konduktor

Pada pemilihan konduktor ini, didasarkan pada besarnya arus yang masuk melalui sistem transmisi *backbone* 275 kV. Dengan mempertimbangkan besarnya arus yang masuk maka konduktor dapat dipilih sesuai dengan kapasitasnya. Pada bab sebelumnya telah dibahas mengenai aliran daya dan hasil aliran daya pada gardu induk Ketapang 275 kV.

**Tabel 4.8** Spesifikasi Konduktor ACSR[11]

Nama Kode	Racoon
Rating Arus (A) @65C	200
Rating Arus (A) @75C	244
Resistansi @20C (Ohm/Km) Max	0,3712
Total Luasan Sectional (Sq.mm)	91.97
Diameter Stranded Al/STL (mm)	4.09/4.09
Rating Berat (Kg/Km)	1621
Kemampuan Breaking Load (Kn)	130.32

Pada pemilihan konduktor ini, jenis konduktor dapat disesuaikan agar lebih ekonomis. Pemilihan jenis konduktor untuk setiap konduktor yang menghubungkan antar peralatan dan apparatus, dipilih jenis konduktor jenis *stranded conductor*. Alasan lain selain lebih ekonomis dikarenakan untuk jenis konfigurasi 1 ½ *breaker* ini, antara tiang pendukung satu dan lainnya jaraknya tidak terlalu jauh sehingga arus hubung singkat yang cukup besar hanya dapat memberikan tekanan yang tidak begitu besar pada peralatan.

#### 4.1.7 Pertimbangan Pemilihan Busbar System

Pada hasil simulasi pada bab sebelumnya telah ditampilkan beberapa arus yang mengalir baik dari gardu induk Ketapang ataupun menuju ke arah gardu induk Ketapang. Hasil simulasi yang telah ditampilkan untuk rating arus yang mengalir dari gardu induk Ketapang adalah sebesar 0.2 kA sehingga rating pemilihan busbar system menjadi seperti dibawah ini . Spesifikasi peralatan ini didapatkan dari produk Bruker Hydrosatatic Extrusions Limited, “*Cuponal Busbar Technical Data : AC/DC Current Rating*”.

Jenis busbar system pada konfigurasi 1 ½ *breaker* ini dipilih jenis *double busbar* dengan busbar yang dipasang diatas dan menggantung diudara. Jenis *busbar* dapat disesuaikan baik *tube* maupun jenis *wire* untuk konfigurasi 1 ½ *breaker*.

**Tabel 4.9** Spesifikasi Busbar System[12]

Rating Arus AC (A)	249
Rating Arus DC (A)	249
Ukuran (mm)	10 x 3
Corner Radius (mm)	0.5
Area (mm <sup>2</sup> )	29.79
Berat (kg/m)	0.108
DC resistance 20°C $\mu$ Ohm/m	890
DC resistance 85°C $\mu$ Ohm/m	1122
Jumlah Bar	2

#### 4.1.8 Pertimbangan Pemilihan *Layout* dan Konfigurasi Bus

Dalam kasus ini, terdapat beberapa pertimbangan yang akan dibahas mengenai pemilihan konfigurasi *layout* gardu induk. Mengapa memilih 1 ½ *breaker* dan mengapa tidak memilih konfigurasi jenis yang lain ataupun susunan konfigurasi yang lainnya. Pembahasan pertama akan dijelaskan terkait dengan kesesuaian level tegangan yang digunakan dalam pemilihan desain *layout* gardu induk Ketapang 275 kV tersebut. Pemilihan ini didasarkan dan bersumber dari referensi buku yang terdapat di daftar pustaka yakni dari ABB *switchgear*. Pada level tegangan 275 kV ini hanya terdapat dua pilihan untuk desain *layout* gardu induk ini.

**Tabel 4.10** Aplikasi penggunaan desain *layout* gardu induk[5]

Layout	≤145 kV	245 kV	420 kV	≥525 kV
Classical layout	v	v		
In-line layout	v			
Transverse layout	v	v		
High-rise layout	v			
Diagonal layout		v	v	
1 ½ <i>breaker</i> layout		v	v	v

Dari tabel diatas, dapat disimpulkan bahwa penggunaan yang paling untuk gardu induk Ketapang yang memiliki level tegangan 275 kV adalah menggunakan desain *layout* jenis diagonal ataupun 1 ½ *breaker*.

Dari pertimbangan pertama ini dipilihlah jenis  $1\frac{1}{2}$  breaker. Jenis  $1\frac{1}{2}$  breaker ini adalah jenis *layout* yang sangat sering digunakan pada daerah-daerah termasuk di Indonesia ini, yang biasanya digunakan untuk level tegangan diatas 110 kV. Karena susunan dan bentuk *busbar* dapat dipilih sesuai dengan keinginan masing-masing, dan biasanya peletakan *busbar* diletakkan diatas dan dapat berbentuk baik tabung maupun *wire*. Untuk mendapatkan biaya yang paling ekonomis dan minimalis, biasanya digunakan konduktor berpilin untuk menghubungkan antara peralatan yang ada pada gardu induk tersebut. Kelebihan dari jenis *layout* ini adalah selain dari sisi peralatan biaya yang ekonomis, yaitu sebelum semua peralatan dan *switchgear* dipasang dan terinstall, *station* masih dapat beroperasi dengan menggunakan sistem *ring bus*.

Setelah melihat pertimbangan jenis *layout*  $1\frac{1}{2}$  breaker dari sisi level tegangan dan juga konstruksinya, maka pertimbangan selanjutnya adalah dari sisi investasi keseluruhan untuk pembuatan dan juga perancangan gardu induk 275 kV tersebut. Adapun dari hasil beberapa penelitian dan perancangan, jenis  $1\frac{1}{2}$  breaker ini dapat lebih unggul dibanding dengan jenis *bus* ganda pemutus ganda dilihat dari biaya operasi serta biaya investasi dalam pembuatannya. Tabel dibawah menunjukkan hubungan antara harga dan juga luas tanah yang harus di penuhi dalam mendesain dan merencanakan serta membangun gardu induk dengan berbagai macam tipe konfigurasi bus. Harga terkait investasi dibawah di ilustrasikan sebagai hubungan antara satu konfigurasi dengan konfigurasi yang lainnya dalam pemilihan dan penentuan desain *layout* gardu induk dengan desain susunan pemutus tunggal bus tunggal sebagai dasar konfigurasi bus dalam pertimbangan penentuan harga investasi dan juga luas tanah yang dibutuhkan. Dapat dilihat bahwa harga investasi dan tanah yang dibutuhkan dalam mendesain *layout* jenis  $1\frac{1}{2}$  breaker lebih murah dan juga hanya butuh lahan yang lebih sedikit dibanding dengan konfigurasi pemutus ganda bus ganda dan juga pemutus tunggal bus ganda. Data tabel dibawah ini berdasarkan standar IEEE Std 605 2008 tentang desain bus gardu induk.

**Tabel 4.11** Perbandingan Setiap Konfigurasi Bus

Susunan konfigurasi Bus	Biaya (%)	Luas Tanah (m <sup>2</sup> )
Pemutus tunggal bus tunggal	100%	3160
Pemutus tunggal bus ganda	175%	9290
<b>1 ½ breaker</b>	<b>145%</b>	<b>4600</b>
Pemutus ganda bus ganda	190%	5810

Dari pertimbangan yang pertama mengenai level tegangan yang sesuai dengan susunan *layout* gardu induk yang sesuai dan juga pertimbangan kedua berdasarkan IEEE std 605 2008 mengenai desain penentuan konfigurasi *bus* untuk gardu induk dengan isolasi udara sudah dapat memperkuat pertimbangan pemilihan jenis konfigurasi, susunan dan juga *layout* dalam perancangan desain gardu induk dengan level tegangan 275 kV tersebut.

## 4.2 Jarak Minimum *Clearences*

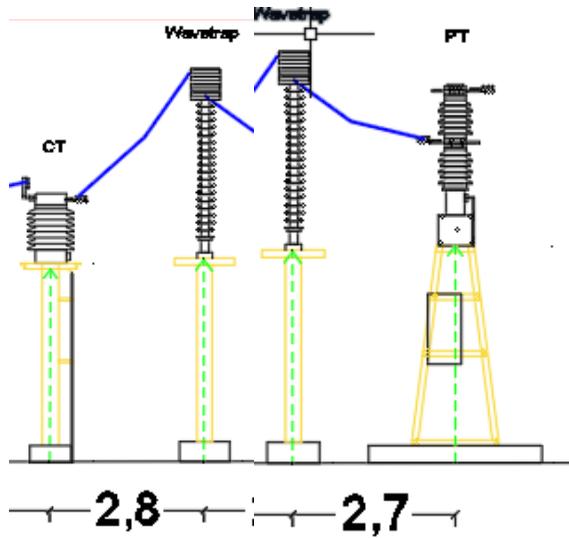
### 4.2.1 Jarak Minimum *Clearences and Spacings* Antar Komponen

Pada pembahasan subbab ini, akan di jelaskan mengenai data-data terkait jarak minimum pemasangan instalasi dan apparatus yang akan didesain untuk kedepannya. Dari pembahasan ini kita akan mengetahui bagaimana seharusnya pemasangan dan jarak yang aman pada tiap komponen di gardu induk dengan mempertimbangkan dari berbagai aspek. Terkait dengan hal ini, kita akan membahasnya dari dengan menampilkan beberapa data berupa tabel sesuai dengan standar dan prosedur yang telah ada dan juga telah digunakan oleh banyak orang. Untuk setiap level tegangan pada gardu induk sudah dijelaskan diatas bahwa terdapat standar BIL atau *Basic Insulation Level* dan dipilihlah untuk BIL nya adalah 1050 kV. Untuk jarak antar komponen ini juga ditentukan berdasarkan BIL nya dan masing-masing level tegangan dengan BIL yang berbeda juga memiliki standar jarak amannya masing-masing.

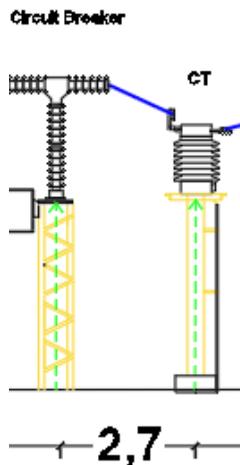
**Tabel 4.12** Jarak Antar Komponen Berdasarkan Level Tegangan dan BIL

Maximum system voltage(kV)	Basic BIL(kV)	Minimum metal-to-metal distance	
		mm	in
145	650	1600	63
170	750	1830	72
245	900	2260	89
245	1050	2670	105
<b>362</b>	<b>1050</b>	<b>2670</b>	<b>109</b>
362	1300	3020	119

Pada tabel diatas, dapat ditemukan dengan jelas bahwa untuk gardu induk dengan level tegangan 275 kV seperti di sistem transmisi Ketapang ini, dan dengan mempertimbangkan batas insulasi minimum sebuah peralatan dengan level BIL adalah 1050 kV dapat dilihat bahwa jarak minimum antar komponennya adalah sekitar 2.67 m atau sekitar 2670mm. Jadi dari pertimbangan diatas, desain yang kami gambar adalah dengan mempertimbangkan hal ini sehingga keamanan dari orang-orang yang bekerja serta peralatan yang ada di dalam gardu induk dapat terjaga dengan baik. Dibawah ini akan ditampilkan gambar desain teknik menggunakan perangkat lunak *autocad* hasil dari pertimbangan dari beberapa subbab diatas, termasuk dari pertimbangan pemilihan perlatan dan juga jarak aman antar komponen yang sudah dibahas diatas.



**Gambar 4.7** Jarak Minimum antar Trafo Tegangan dan Wavetrap, serta antar wavetrap dan Trafo Arus Pada Perangkat Lunak Autocad



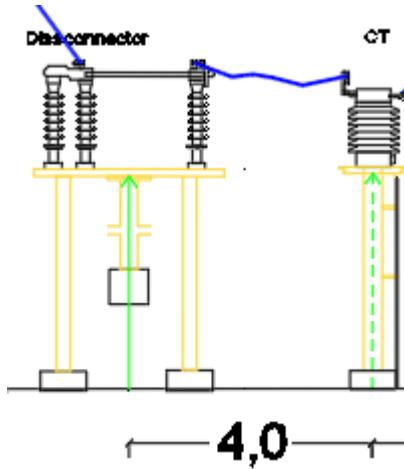
**Gambar 4.8** Jarak Minimum antar Trafo Arus dan Pemutus Daya Pada Perangkat Lunak Autocad

Selain dari pertimbangan jarak minimum yang telah disebutkan diatas, terdapat beberapa pertimbangan lainnya terkait peralatan khusus seperti peralatan *switching device* seperti sakelar pemisah dan lainnya. Pada pembahasan ini akan dibahas khusus mengenai jarak minimum terkait sakelar pemisah yang nantinya akan dipasang pada sebuah gardu induk. Standar ini diambil dari standar ANSI Std. C37 .32-1995. Standar ini juga haruslah mempertimbangkan BIL isolasi sebuah peralatan yang akan digunakan, karena setiap berbeda nilai BIL nya maka standar untuk jarak amannya pun nantinya akan berbedea.

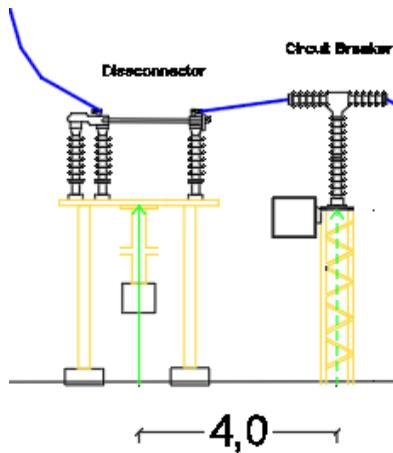
**Tabel 4.13** Jarak Aman Untuk Sakelar Pemisah

Nominal phase to phase voltage(kV)	Maximum phase to phase voltage(kV)	BIL (kV)	Center to center phase spacing in meters(inches)	
			Vertical Break Disconnecter	Horizontal Break Disconnecter
230	242	900	3.35(132)	4.87(192)
230	242	1050	3.96(156)	5.50(216)
<b>345</b>	<b>362</b>	<b>1050</b>	<b>3.96(156)</b>	5.49(216)
345	362	1300	4.43(174)	-

Dari pembahasan pada subbab sebelumnya telah dijelaskan terkait pertimbangan pemilihan peralatan. Untuk desain *layout* gardu induk ini, peralatan sakelar pemisah yang digunakan adalah jenis *vertical break disconnecter* dengan tipe yang memiliki 2 kolom. Sehingga dari pertimbangan tersebut dan dari tabel diatas dapat dipastikan bahwa jarak aman yang digunakan adalah dengan level teganagn nominal 345 kV dan level BIL adalah 1050 kV serta sakelar pemisah yang digunakan adalah *vertical break* sehingga jarak aman yang diperlukan adalah skitar 4 meter. Dibawah ini akan ditampilkan hasil gambar teknik menggunakan autocad terkait jarak antar komponen sakelar pemisah *vertical break*.



**Gambar 4.9** Jarak Minimum antar Sakelar Pemisah dan Trafo Arus Pada Perangkat Lunak Autocad



**Gambar 4.10** Jarak Minimum antar Sakelar Pemisah dan Pemutus Daya Pada Perangkat Lunak Autocad

#### 4.2.2 Jarak Minimum *Clearences and Spacing* Antara Komponen dengan Tanah

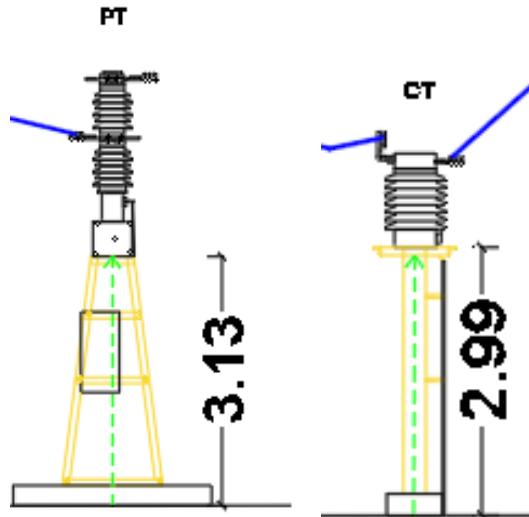
Setelah mengetahui hal mengenai jarak aman untuk antar komponen seperti yang telah dijelaskan di subbab diatas, maka dari itu pertimbangan selanjutnya yang akan dibahas pada subbab ini adalah mengenai jarak aman antara komponen dengan tanah yang akan dipasang pada sebuah gardu induk. Setiap peralatan yang ada dan akan dipasang pada sebuah gardu induk pastinya tidak akan diletakkan begitu saja diatas permukaan tanah, karenanya akan terdapat bangunan pendukung yang harus terpasang pada sebuah gardu induk untuk menopang berdirinya peralatan-peralatan pada sebuah gardu induk tersebut. Adapaun jarak aman antara komponen dengan tanah ini dikutip dari standar IEEE dan juga seperti yang dijelaskan pada subbab sebelumnya bahwasannya standar ini mengikuti level tegangan peralatan yang terpasang juga terdapat standar untuk level dasar isolasi sebuah peralatannya(BIL). Untuk lebih jelasnya akan dijelaskan pada tabel berikut ini.

**Tabel 4.14** Jarak Aman Antara Komponen dengan Tanah

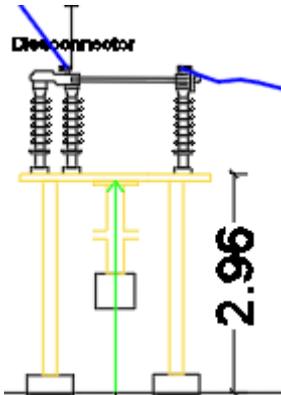
Maximum system voltage(kV)	Basic BIL(kV)	Minimum phase-to-ground clearances	
		mm	in
242	650	1235	49
	750	1425	56
	825	1570	62
	900	1710	67
	975	1855	73
	1050	2000	79
362	900	1710	67
	975	1855	73
	1050	2000	79
	1175	2235	88
	1300	2470	97

Dari hasil tabel data diatas, terlihat jelas dengan perbedaan level tegangan setiap sistemnya memiliki jarak antar komponen dengan tanah yang berbeda-beda. Semakin besar level tegangan yang terdapat dalam sistem tersebut, maka jarak antar komponen dengan tanahnya pun jelas akan semakin lebih besar nilainya. Dengan level tegangan nominal

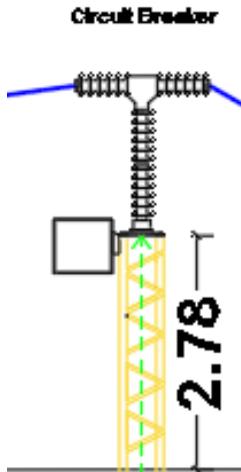
275 kV pada gardu induk Ketapang yang nantinya akan didesain, maka merujuk pada data dan tabel diatas, untuk level tegangan sistem 362 kV memiliki jarak antar komponen dengan tanah sebesar 2000 mm atau sekitar 2 meter. Sehingga melihat dari hasil tersebut, berikut akan ditampilkan hasil desain gambar teknik menggunakan perangkat lunak autocad terkait dengan jarak antar komponen dengan pentanahannya.



**Gambar 4.11** Jarak Minimum Komponen Trafo Tegangan dan trafo Arus Dengan Tanah Pada Perangkat Lunak Autocad



**Gambar 4.12** Jarak Minimum Komponen Sakelar Pemisah dengan tanah Pada Perangkat Lunak Autocad



**Gambar 4.13** Jarak Minimum Komponen Pemutus Daya dengan Tanah Pada Perangkat Lunak Autocad



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Desain *layout* gardu induk Ketapang 275 kV memiliki dua saluran *incoming* dan tiga saluran *outgoing*
2. Jenis *layout* yang digunakan pada desain gardu induk ini adalah jenis 1 ½ *breaker*.
3. Pertimbangan pemilihan peralatan didasarkan pada level tegangan dan juga *rating* peralatan yang diambil dari hasil simulasi aliran daya dan hubung singkat.
4. Pertimbangan pemilihan *layout* dan konfigurasi *bus* didasarkan pada level tegangan, jenis gardu induk (*outdoor* atau *indoor*) dan juga biaya serta luas tanah yang dibutuhkan.
5. Level isolasi dasar yang digunakan (BIL) adalah sebesar 1050 kV.
6. Jarak minimum antar komponen dan juga jarak aman minimum antara komponen dengan tanah dipilih sesuai level tegangan dan level isolasi dasar.
7. Semakin kecil arus hubung singkat yang terjadi maka desain *layout* gardu induk menjadi lebih *compact* begitu juga sebaliknya.
8. Arus hubung singkat asimetris yang diperoleh dari hasil simulasi adalah sebesar 7,1 kA dan arus *peak* nya mencapai 12,104 kA. Sehingga *rating* pemutus daya yang digunakan pada gardu induk Ketapang adalah 50 kA, dikarenakan *rating* minimal untuk produk pemutus daya dengan level tegangan 275 kV adalah sebesar 50 kA.

## 5.2 Saran

1. Untuk jenis  $1\frac{1}{2}$  *breaker* perlu lebih dicari solusinya untuk mengurangi lahan pemakaian agar biaya investasi untuk merancang dan membangun gardu induk ini dapat lebih efisien.
2. Peralatan yang dirancang tidak harus menggunakan peralatan yang konvensional, namun juga perlu dicari peralatan dengan desain yang lebih *compact* dan harga yang dapat lebih terjangkau.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, “Rupl Pln 2016-2025.” .
- [2] S. M. Gunawan and J. Sentosa, “Analisa Perancangan Gardu Induk Sistem Outdoor 150 kV di Tallasa, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan,” *Dimens. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 37–42, 2013.
- [3] P. Pengembangan, “Kajian finansial pemilihan lokasi gardu induk,” vol. 7982035, no. 2, 2004.
- [4] D. Pieniasek, “HV Substation Design: Applications and Considerations,” 2012.
- [5] ABB, *ABB Switchgear Manual*. 2011.
- [6] Bonggas L. T. "Peralatan Tegangan Tinggi" 2012
- [7] “Live Tank Circuit Breakers Buyer ’ s Guide Table of contents.”
- [8] “Pantograph disconnectors upto 550kV – GW54,” 2000.
- [9] A. Guide, “Outdoor Instrument Transformers.”
- [10] Siemens, “High-voltage surge arresters Product Guide,” p. 112, 2014.
- [11] "ACSR Conductor" //www.luminoindustries.com/acsr-conductor/.
- [12] C. Rod, “Cuponal Busbar Technical Data : AC / DC Current Ratings,” vol. 44, no. 0, pp. 1–4.
- [13] P. V. Hinrichsen, “Metal Oxide Surge Arresters,” 1977.



## **LAMPIRAN**



## RIWAYAT HIDUP



**Amalul Arifin**, adalah anak terakhir dari dua bersaudara. Lahir pada tanggal 25 Juni 1996 di Jakarta. Penulis tinggal di Bekasi dan bersekolah di Bekasi hingga lulus Sekolah Dasar. Pendidikan SMP penulis hingga SMA ditempuh di Kota Jakarta. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SD Harapan Baru III Bekasi, SMP N 193 Jakarta, dan SMA 61 Jakarta. Penulis masuk ITS melalui jalur Undangan atau SNMPTN kemudian diterima sebagai salah satu mahasiswa di jurusan S1 Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Selama masa kuliah, penulis aktif di beberapa kegiatan kepanitiaan event tingkat jurusan maupun tingkat institut, seminar, juga cukup aktif selama dua tahun di HIMATEKTRO Departemen Pengabdian Masyarakat dan mengikuti beberapa pelatihan yang diadakan oleh laboratorium PSSL. Penulis dapat dihubungi via email [arifinamalul@gmail.com](mailto:arifinamalul@gmail.com).

