

**LAPORAN PENGALAMAN LAPANGAN INDUSTRI**  
**PT. PLN (PERSERO) UIP3B SUMATERA**  
**UNIT LAYANAN TRANSMISI GARDU INDUK PADANG**  
**GARDU INDUK SOLOK**

**“SUMBER AC DAN DC SEBAGAI SUMBER TENAGA  
PENGOPERASIAN PADA GARDU INDUK SOLOK 150 KV”**

*Disampaikan untuk Memenuhi Persyaratan Penyelesaian Praktik  
Lapangan Industri Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang  
Semester Januari-Juni 2022*

Oleh :

**Rizki Karima**  
**16063098 / 2016**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**  
**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO (S1)**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

**2022**



PT. PLN (Persero)  
UIP3B Sumatera  
UPT Padang  
ULTG Padang  
GI Solok

Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Padang



## HALAMAN PENGESAHAN DARI FAKULTAS

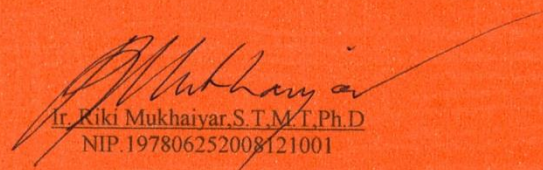
Laporan ini Disampaikan Untuk Memenuhi Sebagian Dari Persyaratan  
Penyelesaian Pengalaman Lapangan Industri FT-UNP Padang  
Semester Januari – Juli 2022

Oleh

RIZKI KARIMA  
16063098

Jurusan Teknik Elektro  
Program Studi Pendidikan Teknik Elektro

Diperiksa dan disyahkan oleh:  
Dosen Pembimbing

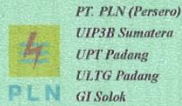
  
Ir. Riki Mukhaiyar, S.T, M.T, Ph.D  
NIP.197806252008121001

  
Dekan FT-UNP  
Kepala Unit Hubungan Industri  
  
Ir. Ali Basrah Pulungan, M.T.  
NIP.197412122003121002



PT. PLN (Persero)  
UIP3B Sumatera  
UPT Padang  
ULTG Padang  
GI Solok

Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Padang



PT. PLN (Persero)  
UIP3B Sumatera  
UPT Padang  
ULTG Padang  
GI Solok

Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Padang



## LEMBAR PENGESAHAN PERUSAHAAN

Telah Melaksanakan Pengalaman Lapangan Industri di PT. PLN (Persero) UIP3B  
Sumatera

Unit Layanan Transmisi Gardu Induk Padang

Gardu Induk Solok

**“SUMBER AC DAN DC SEBAGAI SUMBER TENAGA  
PENGOPERASIAN PADA GARDU INDUK SOLOK 150 KV”**



PLN

Disusun oleh:

**RIZKI KARIMA**

16063098

PROGRAM STUDI S1 PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

Diperiksa dan disahkan oleh :

Manager ULTG Padang

( Fatkhur Rokhman )

SPV GI Solok

( Desrifal )



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan pengalaman lapangan industri di PT PLN (Persero) Gardu Induk Solok 150 kV dengan judul “Sumber AC dan DC Sebagai Sumber Tenaga Pengoperasian Pada Gardu Induk Solok 150 kV”. Selama satu bulan menjalani pengalaman lapangan industri, banyak ilmu dan wawasan baru yang penulis dapatkan. Tidak hanya ilmu di bidang elektro, tapi juga ilmu tentang dunia kerja.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa dan ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian Laporan Pengalaman lapangan Industri ini. Untuk itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini tepat pada waktunya.
2. Kedua orang tua yang selalu memberikan doa, nasehat dan semangat yang tiada hentinya demi keselamatan dan kesuksesan anaknya.
3. Bapak Dr. Fahmi Rizal, M.Pd., MT, selaku Dekan FT-UNP.
4. Bapak Risfendra, S.Pd., M.T., Ph.d., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas Padang.
5. Bapak Hamdani, S.Pd, M.Pd, selaku Koordinator Praktik Lapangan Industri Jurusan Teknik Elektro FT UNP.
6. Bapak Riki Mukhaiyar, S.T, M.T, Ph.D., selaku dosen pembimbing dalam melaksanakan Pengalaman Lapangan Industri (PLI).
7. Bapak Ali Basrah Pulungan, S.T, M.T, selaku Kepala Unit Hubungan Industri FT-UNP.
8. Bapak Desrifal, SPV JARGI II Solok dan selaku pembimbing lapangan yang telah memberikan pengarahan dan bantuan selama penulis menjalani pengalaman lapangan industri.
9. Bapak Fatkhur Rokhman, selaku Manager ULTG Padang.
10. Seluruh karyawan / karyawanwati Gardu Induk Solok selaku rekan pengalaman lapangan industri.



11. Dan pada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan laporan pengalaman lapangan industri ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dalam penyusunan laporan pengalaman lapangan industri ini penulis telah berusaha menyelesaikannya dengan sebaik mungkin, akan tetapi penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan pengalaman lapangan industri ini. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran dari pembaca untuk menyempurnakan laporan kerja praktek ini.

Penulis berharap agar laporan Pengalaman Lapangan Industri ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca serta dapat dijadikan bahan perbandingan perkuliahan di Jurusan Teknik Elektro FT-UNP.

Solok, 02 Juli 2022

Penulis

**Rizki Karima**

16063098



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN FAKULTAS.....</b>	<b>I</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN PERUSAHAAN .....</b>	<b>II</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>III</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>IV</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>V</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>VI</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Kerja Praktik.....	2
1.2.1 Tujuan Umum.....	2
1.2.2 Tujuan Khusus .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	2
1.5 Metode Pengumpulan Data.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PURUSAHAAN. ....</b>	<b>4</b>
2.1 PT. PLN (Persero) .....	4
2.2 Struktural Organisasi Gardu Induk Solok.....	8
2.3 Tugas Pokok .....	9
<b>BAB III TINJAUAN UMUM GARDU INDUK SOLOK.....</b>	<b>10</b>
3.1 Pengertian Gardu Induk.....	10
3.2 Klasifikasi Gardu Induk.....	10
3.2.1 Menurut Pemasangan Peralatan.....	10
3.2.2 Menurut Isolasi .....	11
3.2.3 Menurut Tegangan.....	12
3.2.3 Menurut Fungsinya.....	12
3.2.3 Menurut Sistem Rel (Busbar).....	13
3.3 Sistem Kelistrikan Gardu Induk Solok. ....	15
3.4 Peralatan Utama Pada Gardu Induk Solok. ....	18
3.4.1 Transformator Daya.....	18
3.4.2 Pemutus Tenaga (PMT).....	21



3.4.3 Pemisah (PMS) .....	22
3.4.4 Transformator Instrumental .....	23
3.4.5 Lightning Arrester .....	25
3.4.6 Busbar (Rel Daya) .....	26
3.4.7 <i>Cubicle</i> .....	26
3.4.8 Panel Kontrol .....	27
3.4.9 Baterai.....	28
3.5 Pemeliharaan Gardu Induk Solok. ....	28
<b>BAB IV SUMBER AC DAN DC SEBAGAI SUMBER TENAGA</b>	
<b>PENGOPERASIAN PADA GARDU INDUK SOLOK 150 kV.....30</b>	
4.1 Gambaran Umum .....	30
4.2 Sistem AC Pada Gardu Induk. ....	30
4.2.1 Trafo Pemakaian Sendiri .....	31
4.2.1.1 Fungsi.....	31
4.2.1.2 Rangkaian Pemakaian Sendiri.....	31
4.2.1.3 Peralatan Instalasi Trafo PS (Pemakaian Sendiri).....	32
4.2.1.4 Lokasi Pemasangan.....	33
4.2.1.5 Batasan Operasi.....	33
4.2.1.6 Sistem Pengaturan Tegangan .....	33
4.2.1.7 Sistem Pengaturan Tegangan .....	33
4.2.1.8 Sistem Pendingin.....	33
4.2.2 Genset .....	34
4.2.2.1 Prinsip Kerja Genset .....	35
4.2.3 Sistem Otomatisasi .....	36
4.2.3.1 Prinsip Kerja Sistem Otomatisasi .....	37
4.3 Sistem DC Pada Gardu Induk .....	37
4.3.1 Instalasi Sistem DC 250 Volt.....	38
4.3.2 Instalasi Sistem DC 110 Volt.....	38
4.3.3 Instalasi Sistem DC 48 Volt.....	38
4.3.4 Peralatan Sistem DC .....	39
4.3.4.1 Rectifier / <i>Charger</i> .....	39
4.3.4.1.1 Prinsip Kerja Rectifier / <i>Charger</i> .....	39



4.3.4.1.2	Bagian Utama Rectifier / <i>Charger</i> .....	39
4.3.4.1.3	Mode Operasi Pengisian Rectifier / <i>Charge</i> .....	42
4.3.4.2	Baterai.....	42
4.3.4.2.1	Prinsip Kerja Baterai.....	43
4.3.4.2.2	Bagian Utama Baterai .....	44
4.3.4.3	Konduktor .....	45
4.3.4.4	Terminal .....	45
4.3.5	Bentuk Rangkaian Baterai dan Rectifier / <i>Charger</i> .....	46
4.3.5.1	Sistem Sederhana ( <i>Simple System</i> ) .....	46
4.3.5.2	Sistem Cadangan ( <i>Stand by System</i> ).....	46
4.3.5.3	Sistem Ganda ( <i>Duplicate System</i> ) .....	47
4.3.6	Pola Instalasi Sistem DC .....	48
4.3.6.1	Kondisi 1.....	48
4.3.6.2	Kondisi 2.....	49
4.3.6.3	Kondisi 3.....	50
4.4	Pemeliharaan Sumber AC dan DC.....	51
4.4.1	Pengertian dan Tujuan Pemeliharaan.....	51
4.4.2	Jenis – Jenis Pemeliharaan.....	51
4.4.3	Pedoman Pemeliharaan Pada Sistem AC dan DC.....	52
4.4.3.1	Pedoman Pemeliharaan Sistem AC .....	52
4.4.3.1.1	<i>In Service Inspection</i> /Inspeksi dalam keadaan operasi Sistem AC .....	52
4.4.3.1.2	<i>Shutdown Testing Measurement</i> .....	53
4.4.3.2	Pedoman Pemeliharaan Sistem DC .....	54
4.4.3.2.1	Inspeksi Harian Sistem DC .....	54
4.4.3.2.2	Inspeksi Bulanan Sistem DC .....	55
4.4.3.2.3	<i>Shutdown Testing</i> , Pengujian dan Pengukuran Sistem DC2 Tahunan.....	55
4.5	Kegiatan Selama Kerja Praktek .....	56
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>62</b>
5.1	Kesimpulan .....	62
5.2	Saran.....	63





*PT. PLN (Persero)*  
*UIP3B Sumatera*  
*UPT Padang*  
*ULTG Padang*  
*GI Solok*

*Jurusan Teknik Elektro*  
*Fakultas Teknik*  
*Universitas Negeri Padang*



---

<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>64</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>65</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar2. 1 Struktur Organisasi Gardu Induk.....	8
Gambar3. 1 Gardu Induk Konvensional .....	11
Gambar3. 2 <i>Gas Insulated Switchgear</i> .....	12
Gambar3.3 Sistem Ring Busbar .....	13
Gambar3.4 <i>Single Line Diagram</i> Gardu Induk Single Busbar .....	14
Gambar3.5 <i>Single Line Diagram</i> Gardu Induk Double Busbar.....	14
Gambar3.6 <i>Single Line Diagram</i> Gardu Induk <i>One Half</i> Busbar .....	15
Gambar3.7 <i>Single Line Diagram</i> Gardu Induk Solok... ..	15
Gambar3.8 Transformator Daya 1 20 MVA .....	18
Gambar3.9 Transformator Daya 2 60 MVA .....	19
Gambar3.10 Pemutus Tenaga Jenis SF <sub>6</sub> .....	22
Gambar3.11 Transformator Arus Gardu Induk Solok .....	22
Gambar3.12 Transformator Tegangan .....	25
Gambar3.13 Lightning Arrester .....	26
Gambar3.14 <i>Cubicle</i> .....	26
Gambar3.15 Panel Kontrol Gardu Induk Solok .....	27
Gambar3.16 Baterai Pada Gardu Induk Solok .....	28
Gambar 4.1 Rangkaian Transformator Pemakaian Sendiri.....	31
Gambar 4.2 <i>Load Break Switch</i> .....	32
Gambar 4.3 Trafo Pemakaian Sendiri dan Panel Distribusi AC .....	32
Gambar 4.4 Pendingin Trafo Pemakaian Sendiri Gardu Induk Solok. ....	34
Gambar 4.5 Genset Pada Gardu Induk dan Panel Control Sistem Genset	34
Gambar 4.6 Prinsip Kerja Genset.....	34
Gambar 4.7 Bentuk Gelombang Tegangan .....	36
Gambar 4.8 Panel Change Over Switch.....	37
Gambar4.9 Panel Distribusi DC.....	39
Gambar 4.10 Rectifier 110 V DC .....	39
Gambar 4.11 Transformator Utama .....	40
Gambar 4.12 Diagram Penyearah Thyristor System 3 Fasa.....	40



---

Gambar 4.13 Rangkaian Filter (Penyaring).....	41
Gambar 4.14 Modul Elektronik AVR.....	41
Gambar 4.15 Diagram <i>Voltage Dropper</i> .....	42
Gambar 4.16 Reaksi Elektrokimia Pada Sel Baterai .....	43
Gambar 4.17 Reaksi Elektrokimia Pada Sel Baterai ( <i>Charger</i> ).....	43
Gambar 4.18 a) Plat Grid, b) Material Aktif c) Grid Rangka Besi d) Terakit Dalam Plastic Container.....	44
Gambar 4.19 Pastic Container dan Steel Container.....	45
Gambar 4.20 Terminal Penghubung Baterai .....	45
Gambar 4.21 Sistem Sederhana ( <i>Simple System</i> ) .....	46
Gambar 4.22 Sistem Cadangan ( <i>Stand by System</i> ).....	46
Gambar 4.23 Sistem Ganda ( <i>Duplicate System</i> ).....	47
Gambar 4.24 Kondisi Satu.....	48
Gambar 4.25 Kondisi Dua .....	49
Gambar 4.26 Kondisi Tiga.....	50
Gambar 4.27 Pembagian Kurva Beban.....	60



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Inspeksi Mingguan Trafo PS (Pemakaian Sendiri) .....	52
Tabel 4.2 Inspeksi Mingguan Genset .....	53
Tabel 4.3 Periode Tahunan 1 Genset (500 jam kerja) .....	53
Tabel 4.4 Tabel 4.4 Periode Tahunan 2 Trafo PS .....	53
Tabel 4.5 Tabel 4.5 Inspeksi Harian Rectifier .....	54
Tabel 4.6 Inspeksi Harian Baterai .....	54
Tabel 4.7 Inspeksi Harian DC Panel <i>Distribusi Board</i> .....	54
Tabel 4.8 Inspeksi Harian Ruang Baterai .....	54
Tabel 4.9 Inspeksi Bulanan Rectifier .....	55
Tabel 4.10 Inspeksi Bulanan Baterai .....	55
Tabel 4.11 Inspeksi Bulanan DC Panel <i>Distribution Board</i> .....	55
Tabel 4.12 Inspeksi Bulanan Ruang Baterai .....	55
Tabel 4.13 Pengujian dan Pengukuran 2 Tahunan Rectifier .....	56
Tabel 4.14 Pengujian dan Pengukuran 2 Tahunan Baterai .....	56

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Pelaksanaan Pengalaman Lapangan Industri FT UNP Padang

Tujuan utama pendidikan Nasional sebagaimana dirumuskan dalam UU Sub Diknas, diarahkan pada pengembangan dan peningkatan sumber daya manusia (SDM), yakni manusia Indonesia seutuhnya yang memiliki wawasan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK), memiliki keterampilan dan bertaqwa kepada Tuhan Yang Maha Esa, untuk mencapai tujuan tersebut, perlu dilaksanakan suatu program pendidikan dan pelatihan secara berkesinambungan. Yakni dengan adanya Praktek Lapangan Industri (PLI) di FT UNP khususnya di jurusan Teknik Elektro yang bertujuan untuk mempersiapkan mahasiswa atau lulusan yang siap untuk menghadapi dunia kerja dibidang energi listrik.

Energi merupakan hal yang penting bagi kehidupan manusia, karena seluruh aktivitas manusia memerlukan energi. Energi listrik merupakan salah satu energi yang penting dan sering digunakan oleh manusia untuk mempermudah pekerjaan dalam kehidupan. Semakin pesat perkembangan teknologi maka semakin tinggi tingkat pemakaian energi listrik. Hal ini di sebabkan karena banyaknya teknologi yang diciptakan semakin bergantung dengan energi listrik, Industri dan perumahan penduduk merupakan contoh konsumen yang bergantung dengan kelangsungan pelayanan akan energi listrik.

Untuk menjaga ketersediaan energi listrik, maka dibutuhkan suatu perusahaan listrik yang akan mengelola penyediaan listrik tersebut. Di Indonesia, PT. PLN (Persero) merupakan perusahaan milik negara yang membidangi penyaluran dan pendistribusian energi listrik kemasyarakat dan industri. PT. PLN (Persero) beroperasi dengan tujuan kontinuitas pelayanan akan energi listrik. Berbagai sumber potensial sebagai pembangkit energi listrik yang ada di Pulau Sumatera dan juga Gardu Induk yang tersebar di seluruh Pulau Sumatera telah terinter koneksi satu sama lain dalam jaringan 150 kV. Salah satunya yang tergabung dalam jaringan tersebut adalah Gardu Induk Solok.

Gardu Induk (GI) merupakan tempat terhubungnya berbagai peralatan listrik tegangan tinggi yang satu sama lain saling terkait sehingga penyaluran energi listrik dapat terlaksana dengan baik. Dalam pengoperasian tenaga listrik terdapat dua macam sumber

tenaga untuk kontrol di dalam Gardu Induk, ialah sumber arus searah (DC) dan sumber arus bolak balik (AC). Sumber tenaga untuk control selalu harus mempunyai keandalan dan stabilitas yang tinggi. Karena persyaratan inilah dipakai baterai sebagai sumber arus searah. Catu daya sumber DC digunakan untuk kebutuhan operasi relay proteksi, kontrol dan scadatael.

Oleh sebab itu, untuk menjaga kontinuitas ketersediaan sumber energi listrik pada Gardu Induk dibutuhkan adanya sistem AC dan DC karena fungsinya sangat penting dalam sistem tenaga untuk pengoperasian Gardu Induk Selanjutnya dalam kesempatan kali ini akan dibahas secara rinci tentang Sumber AC dan DC Sebagai Sumber Tenaga Pengoperasian Pada Gardu Induk Solok 150 kV

## **1.2 Tujuan Pengalaman Lapangan Industri**

Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang (FT UNP) memiliki program yang secara implementasi mampu mendekatkan dunia kampus dengan dunia industri yaitu dengan mata kuliah PLI. Dengan tujuan sebagai kegiatan memperoleh pengalaman kerja secara langsung, yang nantinya dijadikan sebagai acuan dunia kerja yang nyata pada lapangan. Mata kuliah ini merupakan program kurikuler yang harus ditempuh oleh seluruh mahasiswa FT UNP.

Mengetahui sumber AC dan DC serta skema kelistrikannya sebagai sumber tenaga pengoperasian pada gardu induk.

## **1.3 Batasan Masalah**

Pada pelaksanaan pengalaman lapangan industri ini, penulis membatasi pembahasan masalah yaitu mengenai Sumber AC dan DC Sebagai Sumber Tenaga Pengoperasian Pada Gardu Induk Solok 150 kV.

## **1.4 Waktu dan Tempat Pelaksanaan**

Pengalaman Lapangan Industri dilaksanakan tanggal 24 Mei 2022 sampai dengan 06 Juli 2022 di PT. PLN (Persero) P3B Sumatera Unit Pelayanan Transmisi Padang Tragi dan Gardu Induk iolok.

## **1.5 Metode Pengumpulan Data**

Selama pelaksanaan dan penulisan laporan pengalaman lapangan industri, penulis berusaha mendapatkan informasi dan data yang diinginkan menggunakan metode:

- **Observasi**

Penyusun melakukan peninjauan langsung kelapangan bersama pembimbing. Dimana bertujuan untuk mengetahui jenis peralatan, kegunaan dan sistem kerja dari peralatan yang ada pada unit pembangkit terutama yang berhubungan dengan permasalahan yang diangkat.

- **Wawancara**

Wawancara yang penulis lakukan berupa diskusi dengan pembimbing dan staf-staf perusahaan sehingga menambah masukan ilmu secara praktis di lapangan dan dapat dibandingkan dengan ilmu perkuliahan yang teoritis. Serta diskusi dengan sesama mahasiswa Pengalaman Lapangan Industri.

- **Partisipasi**

Penulis mencoba berpartisipasi dengan melibatkan diri secara langsung dalam kegiatan-kegiatan yang berlangsung di bawah bimbingan pembimbing yang sedang bekerja di lapangan.

- **Studi Literatur**

Studi literature dengan membaca buku-buku referensi, buku-buku manual operasional, manual *design* pada ruangan pembimbing yang berguna untuk melengkapi analisis teori.

- **Sistematika Penulisan**

Dalam penulisan laporan pengalaman lapangan industri ini, penulis membagi dalam lima bab, antara lain:

## **BAB I      Pendahuluan**

Bab ini berisi latar belakang dan permasalahan, maksud dan tujuan kerja praktek, waktu dan tempat pelaksanaan pengalaman lapangan industri, pembatasan permasalahan, metode pengumpulan data, dan sistematika penulisan laporan pengalaman lapangan industri.

## **BAB II      Tinjauan Umum Perusahaan**



Bab ini berisi mengenai sejarah, struktur keorganisasian, dan tugas-tugas perusahaan serta Visi dan Misi Perusahaan.

### **BAB III Tinjauan Umum Gardu Induk Solok**

Bab ini berisi tentang pengertian, klasifikasi, sistem kelistrikan, peralatan dan fungsi-fungsinya, system pengoperasian dan pemeliharaan Gardu Induk Solok

### **BAB IV Sumber AC dan DC Sebagai Sumber Tenaga Pengoperasian pada Gardu induk Solok 150 kV**

Bab ini berisi mengenai penjelasan tentang Sumber AC dan DC Sebagai Sumber Tenaga Pengoperasian pada Gardu induk Solok 150 kV.

### **BAB V Penutup**

Bab ini berisi mengenai kesimpulan dari permasalahan yang dibahas dan saran penulis agar dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam peningkatan dan pengembangan di masa yang akan datang.



## BAB II

### TINJAUAN PERUSAHAAN

#### 2.1 PT. PLN (Persero)

##### a. Sejarah PT. PLN (Persero)

Sistem tenaga listrik di Indonesia dikelola oleh PT. PLN (Persero) yang mempunyai cabang diseluruh wilayah Indonesia. Sistem tenaga listrik ini dikelola secara terpadu. Tujuannya adalah agar sistem dapat dioperasikan secara ekonomis, namun mutu dan keandalan dapat maksimal, sehingga dapat memberikan pelayanan terhadap pelanggan secara berkesinambungan. Dengan demikian, dibutuhkan suatu perencanaan dan pengendalian sistem operasi yang handal serta akurat untuk memperoleh sistem yang diharapkan.

Sejarah ketenaga listrikan di Indonesia dimulai pada akhir abad ke-19, ketika beberapa perusahaan Belanda mendirikan pembangkit tenaga listrik untuk keperluan sendiri. Perusahaan tenaga listrik tersebut berkembang menjadi perusahaan untuk kepentingan umum, diawali dengan perusahaan swasta Belanda, yaitu NV, NIGM (*Netherland Indie Gas Maatschappij*) yang memperluas usahanya dari hanya di bidang gas kebidang tenaga listrik. Antara tahun 1942 sampai 1945 terjadi peralihan pengelolaan perusahaan-perusahaan Belanda tersebut oleh Jepang. Proses peralihan kekuasaan kembali terjadi diakhir Perang Dunia ke II. Pada Agustus 1945, Jepang menyerah pada sekutu, dan kesempatan ini dimanfaatkan oleh pemuda dan buruh listrik.

Melalui delegasi buruh pegawai listrik dan gas bersama-sama dengan pemimpin KNI Pusat, mereka berinisiatif menghadap Presiden Soekarno untuk menyerahkan perusahaan-perusahaan tersebut kepada Pemerintah Republik Indonesia. Pada tanggal 27 Oktober 1945, Presiden Soekarno membentuk Jawatan Listrik Dan Gas dibawah Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga dengan kapasitas pembangkit listrik sebesar 157,5 MW.

Pada tanggal 1 Januari 1961, Jawatan Listrik Dan Gas diubah menjadi BPU-PLN (Badan Pimpinan Umum Perusahaan Listrik Negara) yang bergerak di bidang listrik, gas, dan kokas yang dibubarkan tanggal 1 Januari 1965. Pada saat yang sama, dua perusahaan negara, yaitu Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai pengelola listrik milik negara dan perusahaan Gas Negara sebagai pengelola gas milik Negara diresmikan.

Pada tahun 1972, sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 17, status PLN ditetapkan sebagai Perusahaan Umum Listrik Negara dan sebagai Pemegang Kuasa Usaha Ketenaga

listrikan (PKUK) dengan tugas menyediakan tenaga listrik bagi kepentingan umum. Seiring dengan kebijakan pemerintah yang memberikan kesempatan kepada sektor swasta untuk bergerak dalam bisnis penyediaan listrik, maka sejak tahun 1994 status PLN beralih dari Perusahaan Umum menjadi Perusahaan Perseroan (Persero) sekaligus sebagai PKUK dalam menyediakan listrik bagi kepentingan umum hingga sekarang.

#### **b. UIP3B SUMATERA**

P3BS (Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Sumatera) merupakan unit bisnis operasional PLN yang bergerak di bidang Transmisi, yang bertugas menginter-koneksikan energi listrik dari pusat pembangkit menuju pusat beban dalam sistem inter koneksi Sumatera. P3B Sumatera diakui sebagai pengelola penyaluran dan pengatur beban sistem tenaga listrik dengan tingkat pelayanan setara kelas dunia yang bertumbuh kembang, unggul, dan terpercaya dengan bertumpu pada potensi insani. Dalam tugasnya sebagai pengelola penyaluran dan pengatur beban sistem tenaga listrik P3B Sumatera didukung oleh 9 Unit Pelayanan Transmisi (UPT) yaitu :

1. UPT Banda Aceh,
2. UPT Medan,
3. UPT Pematang Siantar,
4. UPT Pekanbaru,
5. UPT Padang,
6. UPT Jambi,
7. UPT Bengkulu,
8. UPT Palembang,
9. UPT Tanjung karang

3 Unit Pengatur Beban (UPB) yaitu:

1. UPB Sumatra Bagian Utara (SUMBAGUT) ,
2. UPB Sumatra Bagian Tengah (SUMBAGTENG),
3. UPB Sumatra Bagian Selatan (SUMBAGSEL).

UPT merupakan Unit Pelaksana yang melaksanakan pemeliharaan instalasi penyaluran tenaga listrik di wilayah kerjanya. ULTG (Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk) merupakan Sub Unit Pelaksana yang melaksanakan kegiatan pengoperasian dan pemeliharaan rutin transmisi dan Gardu Induk di wilayah kerjanya secara efisien sesuai standar yang ditetapkan untuk menghasilkan mutu dan keandalan pasokan tenaga listrik.

### c. PT. PLN (Persero) Gardu Induk Solok 150 kV

Gardu Induk Solok termasuk ke dalam wilayah kerja UPT Padang. Gardu Induk Solok pada awalnya di operasikan pada tahun 1985 dengan dasar perkembangan pembangunan dan kebutuhan energi listrik untuk konsumen di Kabupaten Solok dan sekitarnya. Gardu induk solok beralamat di Tanah Garam, Lubuk Sikarah, Kota Solok, Sumatera Barat. Pada tahun 1985 Gardu Induk Solok hanya mengelola sistem 150 kV, sedangkan sistem 20 kV dikelola oleh PLN Cabang Solok, dengan konfigurasi sistem Gardu Induk antara lain:

- a. 1 buah Bay Trafo 5 MVA (Alsthom Atlantique 150/20 kV)
- b. 1 set *cubicle incoming* 20 kV
- c. penyulang 20 kV (Saniang baka, sigege, dan Solok Diesel)
- d. Konektor sistem 150 kV untuk Bay Trafo dengan metode T (*menjumper* pada *line* 150 kV GI Indarung dan GI Salak)

Pada awal tahun 1997 terjadi perluasan area beban Cabang Solok, sehingga wilayah kerjanya sampai ke kabupaten Sawahlunto - Sijunjung. Seiring dengan perubahan sistem tersebut juga bertambahnya kebutuhan energi listrik untuk konsumen, maka di Gardu Induk Solok terjadi perubahan *konfigurasi* sistem antara lain:

- a. *Bay Line* 150 kV (jurusan GI Indarung dan GI Salak)
- b. *Bay Trafo* 10 MVA
- c. 1 set *Cubicle* 20 kV
- d. 3 penyulang 20 kV (Sigege, Sumani, GH Solok)
- e. 1 set PMT *couple* 20 kV

Dengan perkembangan beban pada cabang Solok, maka pada tanggal 24 oktober 1998 trafo 1 10 MVA dan trafo 2 20 MVA mulai beroperasi secara terpisah dengan konfigurasi:

Beban trafo 1 10 MVA adalah:

- a. Penyulang Batu Palano
- b. Penyulang Sigege
- c. Penyulang Sumani
- d. Penyulang GH Solok

Beban trafo 2 20 MVA adalah:

- a. Penyulang kota

Pada akhir tahun 1997 *bay line* Solok – Salak dioperasikan dan pada tanggal 17 Februari 1998 *bay line* Solok – Indarung dioperasikan dan konfigurasi sistem Gardu Induk Solok adalah:

- a) 2 *Bay line* 150 kV (jurusan GI Indarung dan GI Salak)

- b) 2 Bay trafo (20 MVA merk Pasti dan 10 MVA merk Unindo)
- c) 2 set *cubicle* (kubikel merk Merlin Gerin dan merk ABB)
- d) 1 set PMT *couple Bus* kV
- e) 5 Penyulang 20 kV (Batu Palano, Sigegge, Sumani, GH Solok dan Kota)

Pada april 2000 Trafo 10 MVA merk Unindo dibongkar dan direlokasi ke Gardu Induk Teluk Kuantan. Setelah pembongkaran trafo 10 MVA dan sesuai dengan perkembangan beban wilayah operasi Gardu Induk Solok, maka kondisi peralatan terpasang sampai sekarang adalah:

1. 2 (dua) *Bay line* 150 kV
  - a. *Line* 150 kV Solok – Salak
  - b. *Line* 150 kV Solok – Indarung
2. 1 (satu) *Bay trafo* daya 20 MVA
3. 15 (lima belas) *cubicle* 20 kV
  - a. *Incoming trafo*
  - b. Eks *incoming trafo* 10 MVA (spare)
  - c. *Couple bus* 20 kV
  - d. Panel mensuring
  - e. Panel trafo PS
  - f. Panel *interface*
  - g. Penyulang 1 Batu Palano
  - h. Penyulang 2 Saok Laweh
  - i. Penyulang 3 Sumani
  - j. Penyulang 4 Muaro Paneh
  - k. Penyulang 5 Kota
  - l. Penyulang 6 Salayo
  - m. 3 sel penyulang spare

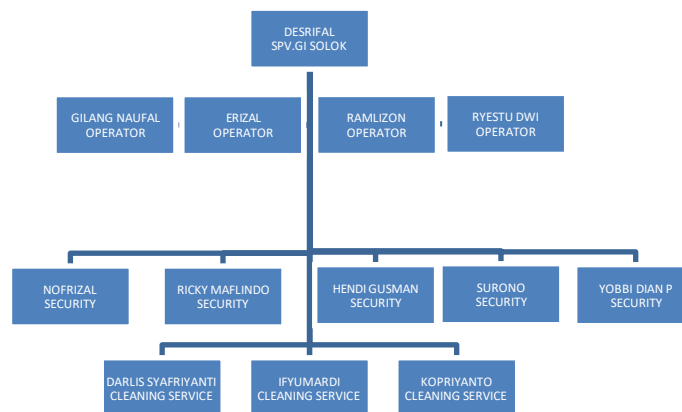
Pada Selasa tanggal 11 Desember 2012 dimulai pekerjaan *uprating* Trafo Daya II 20 MVA menjadi 60 MVA merk Unindo maka terjadi perluasan wilayah kerja Gardu Induk Solok dan penambahan penyulang yang terpasang sampai sekarang:

*Rayon/ranting* terkait wilayah kerja Gardu Induk Solok sebagai berikut:

1. Rayon Kota Solok:
  - a. Penyulang 1 Batu Palano
  - b. Penyulang 2 Saok Laweh
  - c. Penyulang 3 Sumani

- d. Penyulang 4. Muaro Paneh
- e. Penyulang 5. Kota
- f. Penyulang 6 Salayo
- g. Penyulang 7 *Express*
- 2. Rayon Kayu Aro:
  - a. Penyulang 1 Batu Palano
  - b. Penyulang 4 Muaro Paneh
  - c. Penyulang 6 Salayo
  - d. Penyulang 7 *Express*
- 3. Rayon Singkarak:
  - Penyulang 3 Sumani

## 2.2 Struktur Organisasi Gardu Induk Solok



**Gambar 2.1** Struktur Organisasi Gardu Induk Solok

## 2.3 Tugas Pokok

- a) Tugas Supervisor:
  - 1) Mengko ordinir tugas- tugas operator dan pengawas line.
  - 2) Mengko ordinir tugas satpam dan cleaning service untuk menjaga keamanan dan kebersihan lingkungan.
  - 3) Pemeriksaan *checklist* harian yang telah di isi oleh operator Gardu Induk dan pengawas line.
  - 4) Melaporkan secara tertulis hasil pemeliharaan rutin bulanan/ mingguan/ harian.
  - 5) Melaporkan secara lisan dan tertulis bila kondisi instalasi tidak normal.
- b) Tugas Operator:
  - 1) Menandatangani serah terima tugas operasi sesuai format lampiran.



- 2) Mengisi *Log Sheet* data Perusahaan sesuai format lampiran
- 3) Mematikan bunyi sirine/ horn/ klakson.
- 4) Mengamati secara menyeluruh perubahan pada panel kontrol, dan indikasi pada lemari proteksi.
- 5) Melaksanakan SOP Gardu Induk yang berlaku.
- 6) Membebaskan peralatan Gardu Induk yang terganggu dan tegangan (jika memungkinkan).
- 7) Melakukan Evakuasi (meninggalkan tempat) untuk menyelamatkan diri
- 8) Melaksanakan manuver pembebasan dan pemberian tegangan jika ada pemeliharaan maupun gangguan.

## BAB III TINJAUAN UMUM GARDU INDUK SOLOK

### 3.1 Pengertian Gardu Induk

Gardu Induk merupakan suatu instalasi yang terdiri dari sekumpulan peralatan listrik yang disusun menurut pola tertentu dengan pertimbangan teknis, ekonomis serta keindahan.

Fungsi dari Gardu Induk adalah sebagai berikut :

- a. Mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ketegangan yang lainnya atau tegangan menengah.
- b. Pengukuran pengawasan operasi serta pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik.
- c. Pengaturan daya ke gardu-gardu lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu distribusi melalui feeder tegangan menengah.

Pada dasarnya Gardu Induk terdiri dari saluran masuk dan dilengkapi dengan transformator daya, peralatan ukur, peralatan penghubung dan lainnya yang saling menunjang.

### 3.2 Klasifikasi Gardu Induk

Gardu Induk dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam, yaitu :

#### 3.2.1 Menurut Pemasangan Peralatan

Berdasarkan pemasangan peralatan, Gardu Induk dapat dibedakan menjadi 4 macam yaitu:

##### 1. Gardu Induk Pasang Luar

Gardu Induk jenis pemasangan luar terdiri dari peralatan tegangan tinggi pemasangan luar. Pemasangan luar yang dimaksud adalah diluar gedung atau bangunan. Walaupun ada beberapa peralatan yang lain berada di dalam gedung, seperti peralatan panel kontrol, meja penghubung (switch board) dan baterai. Gardu Induk jenis ini memerlukan tanah yang begitu luas namun biaya konstruksinya lebih murah.

##### 2. Gardu Induk Pemasangan Dalam

Disebut gardu induk pemasangan dalam karena sebagian besar peralatannya berada dalam suatu bangunan. Peralatan ini seperti halnya pada Gardu Induk pemasangan luar, Dari transformator utama, rangkaian switch gear dan panel control serta baterai semuanya. Jenis pemasangan dalam ini dipakai untuk menjaga keselarasan dengan daerah sekitarnya dan untuk menghindari bahaya kebakaran dan gangguan suara.

### 3. Gardu Induk Setengah Pasangan Luar

Sebagian dari peralatan tegangan tingginya terpasang di dalam gedung dan yang lainnya dipasang diluar dengan mempertimbangkan situasi dan kondisi lingkungan. Karena konstruksi yang berimbang antara pasangan dalam dengan pasangan luar inilah tipe Gardu Induk ini disebut juga Gardu Induk semi pasangan dalam.

### 4. Gardu Induk Pasangan Bawah Tanah

Hampir semua peralatannya terpasang dalam bangunan bawah tanah. Hanya alat pendinginan biasanya berada diatas tanah, dan peralatan-peralatan yang tidak memungkinkan untuk ditempatkan di bangunan bawah tanah. Biasanya di bagian kota yang sangat ramai, dijalan-jalan pertokoan dan dijalan-jalan dengan gedung bertingkat tinggi. Kebanyakan Gardu Induk ini dibangun dibawah jalan raya.

## 3.2.2 Menurut Isolasi

### 1. Gardu Induk Konvensional

Merupakan gardu induk yang menggunakan isolasi udara antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian yang bertegangan lainnya. Gardu induk konvensional ini memerlukan tempat terbuka yang cukup luas.



**Gambar 3.1** Gardu Induk Konvensional

(Sumber :Gardu Induk Solok)



## 2. Gardu Induk GIS (*Gas Insulated Switchgear*)

Gardu induk yang menggunakan gas SF<sub>6</sub> sebagai isolasi antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian lain yang bertegangan, maupun antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan.



**Gambar 3.2** *Gas Insulated Switchgear*

### 3.2.3 Menurut Tegangan

Berdasarkan tegangan, Gardu Induk dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu:

#### 1. Gardu Induk Transmisi

Gardu Induk yang mendapat daya dari saluran transmisi untuk kemudian menyalurkannya ke daerah beban (industri, kota, dan sebagainya). Gardu induk transmisi yang ada di PLN adalah tegangan tinggi 150 kV dan tegangan tinggi 70 kV.

#### 2. Gardu Distribusi

Gardu Induk yang menerima tenaga dari Gardu Induk transmisi dengan menurunkan tegangannya melalui transformator tenaga menjadi tegangan menengah (20 kV, 12 kV atau 6 kV) untuk kemudian tegangan tersebut diturunkan kembali menjadi tegangan rendah (127/220 V) atau (220/380 V) sesuai dengan kebutuhan.

### 3.2.4 Menurut Fungsinya

Berdasarkan fungsinya, Gardu Induk dapat dibedakan menjadi 5 macam yaitu :

#### 1. Gardu Induk Penaik Tegangan

Merupakan Gardu Induk yang berfungsi untuk menaikkan tegangan, yaitu tegangan pembangkit (generator) di naikkan menjadi tegangan sistem. Gardu Induk ini berada di lokasi pembangkit tenaga listrik. Karena *output voltage* yang dihasilkan pembangkit listrik kecil dan

harus disalurkan pada jarak yang jauh, maka dengan pertimbangan efisiensi, tegangannya dinaikkan menjadi tegangan ekstra tinggi atau tegangan tinggi.

## 2. Gardu Induk Penurun Tegangan

Merupakan GarduInduk yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, dari tegangan tinggi menjadi tegangan tinggi yang lebih rendah dan menengah atau tegangan distribusi. Gardu Induk terletak di daerah pusat-pusat beban, karena di Gardu Induk inilah pelanggan (beban) dilayani.

## 3. Gardu Induk Pengatur Tegangan

Pada umumnya Gardu Induk jenis ini terletak jauh daripembangkit tenaga listrik. Karena listrik disalurkan sangat jauh, maka terjadi tegangan jatuh (*voltage drop*) transmisi yang cukup besar. Oleh karena itu diperlukan alat penaik tegangan, seperti bank kapasitor, sehingga tegangan kembali dalam keadaan normal.

## 4. Gardu Induk Pengatur Beban

Berfungsi untuk mengatur beban.Pada gardu induk ini terpasang beban motor, yang pada saat tertentu menjadi pembangkit tenaga listrik, motor berubah menjadi generator dan suatu saat generator menjadi motor atau menjadi beban.

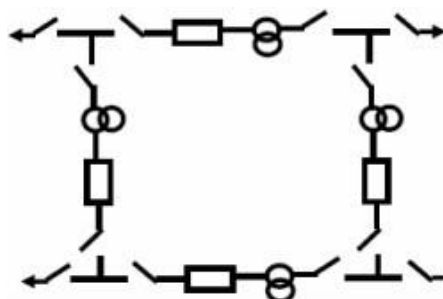
## 5. Gardu Distribusi

Gardu Induk yang menyalurkan tenaga listrik dari tegangan system ketegangan distribusi. Gardu Induk ini terletak di dekat pusat-pusat beban.

### 3.2.5 Menurut Sistem Rel (Busbar)

#### 1. Gardu Induk dengan Sistem Ring Busbar

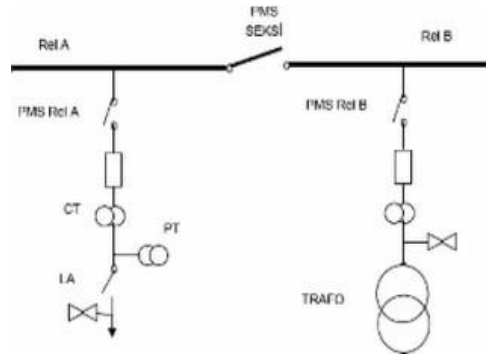
Merupakan gardu induk yang busbaranya berbentuk ring yaitu semua rel/busbar yang ada tersambung satu sama lain dan membentuk ring/cincin.



**Gambar 3.3** Sistem Ring busbar

#### 2. Gardu Induk dengan Busbar Tunggal / *Single Busbar*

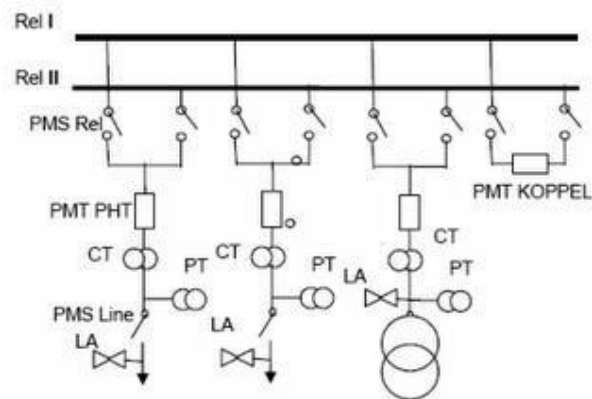
Merupakan Gardu Induk yang semua peralatan listriknya dihubungkan hanya pada satu / *single busbar* pada umumnya gardu dengan sistem ini adalah gardu induk diujung atau akhir dari suatu transmisi.



**Gambar 3.4** Single Line Diagram Gardu Induk Single Busbar

### 3. Gardu Induk dengan Busbar Ganda / *Double Busbar*

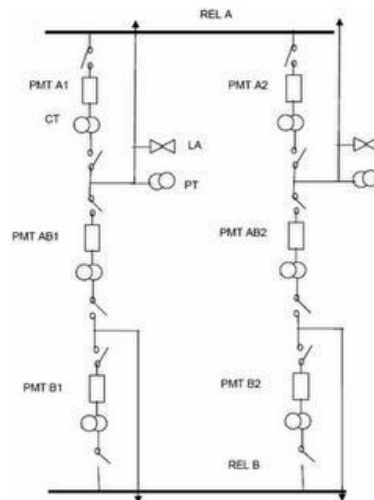
Merupakan Gardu Induk yang memiliki dua / *double busbar*. Sistem ini sangat umum, hampir semua gardu induk menggunakan sistem ini karena sangat efektif untuk mengurangi pemadaman beban pada saat melakukan perubahan sistem (*maneuver system*).



**Gambar 3.5** Single Line Diagram Gardu Induk Sistem Double Busbar

### 4. Gardu Induk dengan Satu Setengah / *One Half Busbar*

Merupakan gardu induk yang mempunyai dua / *double busbar*. Gardu induk pembangkitan dan gardu induk yang sangat besar menggunakan sistem ini karena sangat efektif dalam segi operasional dan dapat mengurangi pemadaman beban pada saat melakukan perubahan sistem (*maneuver system*). Sistem ini menggunakan 3 buah PMT didalam satu diagonal yang terpasang secara seri.



**Gambar 3.6** Single Line Diagram Sistem One Half Busbar

### 3.3 Sistem Kelistrikan Gardu Induk Solok

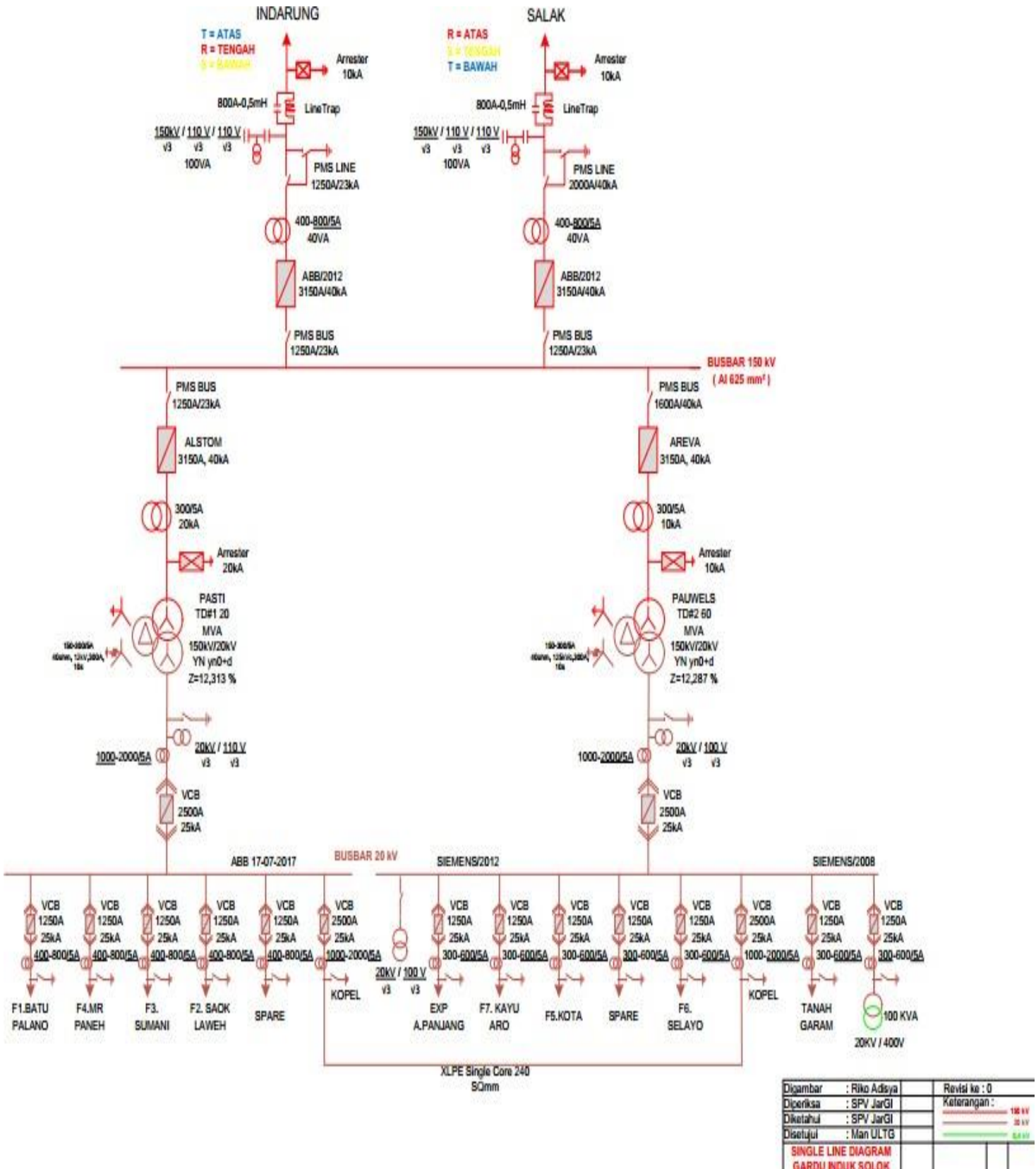
Sistem kelistrikan Gardu Induk Solok meliputi dua wilayah area, yaitu:

1 Area Solok

Meliputi beberapa rayon diantaranya Rayon Kota Solok, Rayon Kota Sawah Lunto, Rayon Kota Muaro Labuh, Rayon Kota Padang Aro, Rayon Sumani, dll.

2. Area Bukit Tinggi

Meliputi beberapa rayon diantaranya Rayon Kota Batu Sangkar, Rayon Kota Padang Panjang, Kantor Jaga Ombilin, dll. Gardu Induk Solok memiliki interkoneksi dengan Gardu Induk Salak dan Gardu Induk Indarung dimana dapat menyalurkan listrik bertegangan tinggi dari Gardu Induk Salak ke Gardu Induk Indarung atau sebaliknya. Berikut gambar *single line diagram* dari Gardu Induk Solok:



Gambar 3.7 Single Line Diagram Gardu Induk Solok

(Sumber :Gardu Induk Solok)

Dengan pembagian tegangan sebagai berikut:

a. Sistem 150 kV

Sistem jaringan 150 kV merupakan sistem yang digunakan pada jaringan transmisi antara satu Gardu Induk dengan Gardu Induk lain dan dengan pusat pembangkit tenaga listrik.

b. Sistem 20 kV

Sistem 20 kV diperoleh setelah mentransformasikan tegangan 150 kV dari jaringan transmisi dengan menggunakan Transformator Daya I 20 MVA dan Trafo Daya II 60 MVA yang terdapat pada Gardu Solok. Selanjutnya system ini digunakan pada system jaringan distribusi primer dan untuk pemakaian sendiri melalui beberapa feeder/ penyulang yang terdapat pada Gardu Induk Solok. *Feeder-feeder* 20 kV yang terdapat pada Gardu Induk Solok terdiri dari:

- Trafo Daya 1
  - 1) Penyulang 1 Batu Palano
  - 2) Penyulang 2 Saok Laweh
  - 3) Penyulang 3 Sumani
  - 4) Penyulang 4 Muara Panas
- Trafo Daya 2
  - 1) Penyulang F.5Kota
  - 2) Penyulang 6 Salayo
  - 3) Penyulang 7 Kayu Aro
  - 4) Penyulang 8 EXP Alahan Panjang
  - 5) Penyulang 9 Tanah Garam

c. Sistem 380 V AC

Tegangan 380 V AC ini merupakan tegangan tiga fasa yang diperoleh dengan mentransformasikan tegangan 20 kV pada sisi feeder pemakaian sendiri. Tegangan 380 V AC ini digunakan pada peralatan-peralatan yang membutuhkan suplai daya tiga fasa seperti untuk rectifier, dan peralatan-peralatan lainnya.

d. Sistem 220 V AC

Tegangan 220 V AC merupakan tegangan satu fasa dari tegangan 380 V AC. Tegangan ini digunakan pada peralatan-peralatan seperti komputer, radio komunikasi, *charger* baterai, dan peralatan-peralatan lainnya.

e. Sistem 110 V DC

Tegangan 110 V DC ini diperoleh melalui rectifier dan baterai. Tegangan ini umumnya digunakan sebagai suplai relai-relai proteksi yang terdapat pada ruang kontrol Gardu Induk. Bila tidak ada gangguan pada sistem kelistrikan di Gardu Induk, tegangan ini diperoleh melalui rectifier namun jika terjadi gangguan yang mengharuskan melakukan pemadaman maka tegangan diperoleh melalui baterai sehingga suplai daya untuk beberapa peralatan proteksi pada Gardu Induk tetap mengalir. Di samping itu baterai ini juga digunakan sebagai suplai daya cadangan untuk radio komunikasi.

### 3.4 Peralatan Utama pada Gardu Induk Solok

Peralatan-peralatan utama yang terdapat di Gardu Induk Solok antara lain yaitu:

#### 3.4.1 Transformator Daya

Transformator adalah peralatan statis dimana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari 2 atau lebih belitan, secara induksi elektro magnetik, mentransformasikan tegangan tinggi ke tegangan rendah (*Step Down*) atau dari tegangan rendah ke tegangan tinggi (*Step Up*). Pada Gardu Induk Solok terdapat dua transformator daya untuk keperluan distribusi primer yaitu Trafo Daya I 20 MVA dan Trafo Daya II 60 MVA. Kedua transformator tersebut diletakkan di luar ruangan.



**Gambar 3.8** Transformator Daya 1 20 MVA

(Sumber :Gardu Induk Solok)



**Gambar 3.9** Transformator Daya 2 60 MVA

(Sumber : Gardu Induk Solok)

Berdasarkan fungsinya transformator daya dapat dibagi atas dua jenis, yaitu:

a. Transformator penaik tegangan (*step up*)

Transformator penaik tegangan umumnya digunakan di pusat pembangkit yaitu untuk menaikkan tegangan dari tegangan keluaran generator menjadi tegangan transmisi.

b. Transformator penurun tegangan (*step down*)

Transformator penurun tegangan umumnya digunakan pada Gardu Induk dan gardu-gardu distribusi untuk mentransformasikan energy listrik dari tegangan transmisi ketegangan distribusi primer. Disamping itu, transformator penurun tegangan juga digunakan untuk pemakaian sendiri baik pada gardu maupun pada pusat pembangkit.

Bagian-bagian utama dari suatu transformator tenaga adalah:

a. Inti besi

Berfungsi untuk jalan fluks yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi untuk mengurangi panas (rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh *Eddy Current*.

b. Kumparan

Kumparan adalah lilitan kawat. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan.



c. Minyak Transformator

Berfungsi sebagai media pemindah panas transformator (pendingin) serta berfungsi sebagai isolasi.

d. Tangki dan Konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari transformator yang terendam minyak transformator berada dalam tangki. Untuk menampung pemuaian minyak transformator, tangki dilengkapi dengan konservator.

e. Bushing

Berfungsi sebagai penghubungan antara kumparan transformator ke jaringan luar.

Pada transformator tenaga juga terdapat beberapa peralatan bantu transformator, antara lain yaitu:

a. Pendingin

Untuk mengurangi kenaikan suhu transformator yang berlebihan maka perlu dilengkapi dengan alat/ sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator. Media yang dipakai pada sistem pendingin dapat berupa minyak (*oil*) dan udara (*air*). Sedangkan dalam pengalirannya dapat berupa alamiah (*natural*) dan paksa (*force*).

b. Tap changer

Yaitu alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang diinginkan dari tegangan primer yang berubah-ubah. Dengan kata lain menaikkan atau menurunkan tegangan.

c. Alat Pernapasan (*Silicagel*)

Karena pengaruh naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar, maka suhu minyak pun akan berubah-ubah, sehingga mengakibatkan adanya pemuaian dan penyusutan minyak transformator. Menyusutnya minyak transformator mengakibatkan permukaan minyak menjadi turun dan udara akan masuk ke dalam tangki. Proses demikian disebut pernapasan transformator. Akibat pernafasan tersebut maka minyak transformator akan bersinggungan dengan udara luar. Untuk mencegah hal ini maka ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi dengan alat pernapasan berupa tabung berisi Kristal zat *hygrokopsis* (*silicagel*).

d. Indikator

Untuk mendeteksi transformator yang beroperasi maka dilengkapi dengan indicator suhu minyak, indicator suhu kumparan, indikator level minyak, indicator system pendingin serta indikator kedudukan tap changer.

e. Peralatan proteksi

Untuk mengamankan transformator dari gangguan yang mungkin terjadi maka dipasang Proteksi seperti;

1. Relai Bucholz

Pengaman terhadap gangguan dari dalam yang digunakan untuk melindungi peralatan dari hubung singkat antara fasa, antar lilitan dan terhadap tanah.

2. Relai Tekanan

Digunakan untuk mendeteksi perubahan tekanan yang mendadak di dalam tangki konservator.

3. Relai Differensial

Dipakai untuk mengamankan hubungan transformator dari hubung singkat antar fasa karena adanya perbedaan hubungan trafosisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah.

4. Relai Arus Lebih

Digunakan untuk mengamankan peralatan dari arus lebih.

5. Relai Thermis

Digunakan untuk mengamankan isolasi akibat panas yang tinggi dalam transformator.

6. Arrester

Digunakan untuk mengamankan peralatan Gardu Induk terhadap tegangan lebih abnormal yang bersifat kejutan (surjahubung)[1].

### 3.4.2 Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker (CB)* adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi sebagai sakelar yang dapat digunakan untuk menghubungkan dan memutuskan rangkaian pada saat berbeban maupun pada saat terjadi gangguan. Ketika menghubungkan atau memutus beban, akan terjadi tegangan *recovery* yaitu suatu fenomena tegangan lebih dan menyebabkan timbulnya busur api. Oleh karena itu PMT dilengkapi dengan media peredam busur api, seperti gas SF<sub>6</sub>.



**Gambar 3.10 Pemutus Tenaga Jenis SF<sub>6</sub>**

(Sumber :Gardu Induk Solok)

Suatu pemutus tenaga dikatakan bekerja normal jika memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- a. Mampu menyalurkan arus maksimum system secara terus-menerus
- b. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri
- c. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar tidak sampai merusak peralatan sistem[2].

### 3.4.3 Pemisah (PMS)

Pemisah (PMS) *Switch (DS)* adalah peralatan listrik yang berfungsi sebagai sakelar untuk memisahkan suatu peralatan listrik dengan peralatan lain atau dengan peralatan yang bertegangan. Pemisah tidak boleh dioperasikan (dibuka dan ditutup) pada kondisi berbeban karena pemisah tidak memiliki pemadam busur api seperti pada pemutus tenaga.

Pemisah (PMS) atau *Disconnecting Switch (DS)* berfungsi untuk mengisolasi peralatan listrik dari peralatan lain atau instalasi lain yang bertegangan. PMS ini boleh dibuka atau ditutup hanya pada rangkaian yang tidak berbeban. Sakelar pemisah atau PMS adalah suatu sakelar yang digunakan untuk memisahkan atau menghubungkan bagian-bagian yang bertegangan satu sama lain tanpa beban. Pada saat penyulungan mengalami masalah, maka pemisah ini akan bekerja untuk memindahkan penyulang tersebut ke rel yang lain agar penyulang tersebut tetap teraliri arus listrik. PMS ini ada yang bergerak secara otomatis dan manual. PMS tidak dilengkapi media pemadam busur api, oleh sebab itu PMS tidak boleh dioperasikan dalam keadaan berbeban dengan kata lain hanya bias dioperasikan pada beban nol.

Adapun keuntungan dari PMS adalah untuk keamanan bagi orang yang bekerja pada instalasi, sedangkan kerugian dari PMS adalah tidak dilengkapi dengan media pemadam busur api[3].

PMS dapat dikelompokkan atas beberapa kategori, yaitu:

- a. Menurut fungsinya:
  - 1) Pemisah tanah
  - 2) Pemisah peralatan
- b. Menurut Penempatannya:
  - 1) Pemisah penghantar
  - 2) Pemisah bus
  - 3) Pemisah seksi (GI dengan 1–1/5 PMT)
  - 4) Pemisah tanah
- c. Menurut gerakan lengan:
  - 1) Pemisah engsel
  - 2) Pemisah putar
  - 3) Pemisah siku
  - 4) Pemisah luncur
  - 5) Pemisah pantograph
- d. Tenaga penggerak:
  - 1) Dengan spring/pegas
  - 2) Dengan pneumatic
  - 3) Dengan hidrolik

### 3.4.4 Transformator Instrumental

#### a. Transformator Arus

Transformator arus adalah peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik disisi primer (TET, TT dan TM) yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi. Berdasarkan konstruksinya transformator arus dapat dibedakan atas:

1. Tipe cincin atau ring
2. Tipe tangki minyak
3. Tipe bushing

Berdasarkan tipe pemasangannya, transformator arus dapat dibedakan atas:

1. Tipe pemasangan luar
2. Tipe pemasangan dalam

Berdasarkan penggunaan, trafo arus dikelompokkan menjadi dua kelompok dasar, yaitu :

1. Untuk pengukuran

Transformator arus untuk pengukuran memiliki ketelitian tinggi pada daerah kerja, yaitu antara 5% - 120% arus nominalnya, tergantung dari kelas dan tingkat kejenuhan.

2. Untuk Proteksi

Transformator arus proteksi memiliki ketelitian tinggi sampai arus yang besar dimana arus yang mengalir mencapai beberapa kali dari arus pengenalnya dan transformator arus proteksi mempunyai tingkat kejenuhan cukup tinggi[4].



**Gambar 3.11** Transformator Arus Gardu Induk Solok

*(Sumber: Gardu Induk Solok)*

**b.**

**c. Transformator Tegangan (VT)**

Transformator tegangan atau adalah peralatan yang mentransformasi tegangan sistem yang lebih tinggi kesuatu tegangan sistem yang lebih rendah untuk kebutuhan peralatan indikator, alatukur/meter dan relai. Transformator tegangan juga dapat diklasifikasikan berdasarkan konstruksinya dan berdasarkan pemasangannya.



**Gambar 3.12** Transformator Tegangan (VT)

(Sumber: Gardu Induk Solok)

Berdasarkan konstruksinya, transformator tegangan terbagi atas:

1. Transformator tegangan induktif (Inductive Voltage Transformator atau IVT).

Memiliki konstruksi yang hampir sama dengan transformator pada umumnya, yaitu memiliki belitan primer dan belitan sekunder dimana belitan primer akan menginduksi belitan sekunder.

2. Transformator tegangan kapasitif (Capasitive Voltage Transformator atau CVT)

Memiliki konstruksi yang terdiri atas kondensator yang berfungsi sebagai pembagi tegangan pada sisi tegangan tinggi dari tegangan menengah yang menginduksi sisi sekunder.

Berdasarkan pemasangannya, transformator tegangan terdiri atas:

1. Tipe pasang dalam (*Indoor*)
2. Tipe pasang luar (*Outdoor*)

Pada pemasangannya pada system tiga fasa, digunakan 2-3 transformator tegangan dengan bentuk hubungan Y, V, atau Open delta[5].

### 3.4.5 Lightning Arrester

Lightning arrester adalah peralatan yang berfungsi untuk melindungi atau mengamankan peralatan listrik dari bahaya gangguan tegangan lebih yang disebabkan oleh surja petir (*Lightning Surge*) maupun surja hubung (*Switching Surge*). Pada kondisi normal arrester akan bersifat sebagai isolator namun ketika terjadi gangguan maka arrester akan bersifat sebagai pengalir arus ketanah[6].



**Gambar 3.13 Lightning Arrester**

*(Sumber: Gardu Induk Solok)*

### 3.4.6 Busbar (Rel Daya)

Busbar atau rel adalah suatu peralatan pada Gardu Induk yang berbentuk konduktor yang menjadi penghubung antara satu saluran transmisi dengan saluran transmisi lain atau pun dengan peralatan lain pada Gardu Induk seperti transformator daya. Oleh karena fungsinya ini busbar harus mampu bekerja pada kondisi tegangan tinggi dan arus yang besar. Pada umumnya busbar terbuat dari bahan tembaga (Bar Copper atau Hollow Conductor), ACSR, Almalec, atau Aluminium (Bar Aluminium atau Hollow Conductor). Dalam hal ini, sistem busbar yang digunakan pada Gardu Induk Solok adalah *Single* busbar.

### 3.4.7 Cubicle

*Cubicle* atau lemari hubung adalah peralatan yang terbuat untuk kelas tegangan 20 kV dan dipakai untuk pusat beban atau pusat daya (*power center*)[7].



**Gambar 3.14Cubicle Gardu Induk Solok**

(Sumber :Gardu Induk Solok)

1. Karakteristik dari *cubicle* yaitu:
  - a. Peralatan yang bertegangan tidak boleh terbuka (*exposed*).
  - b. Gangguan tidak akan meluas sebab rangkaiannya terbagi dalam satuan – satuan.
  - c. Luas instalasi kecil dengan pemasangan, perluasan, dan pemindahan instalasi yang mudah.
  - d. Keandalannya tinggi karena pemasangannya yang sempurna di pabrik.
2. Fungsicubicle
  - a. Mengendalikan sirkuit yang dilakukan oleh sakelar utama.
  - b. Melindungi sirkuit yang dilakukan oleh fase atau pelebur.
  - c. Membagi sirkuit yang dilakukan oleh pembagian jurusan atau busbar.

### 3.4.8 Panel Kontrol

Panel control adalah peralatan yang digunakan untuk mengontrol peralatan-peralatan Gardu Induk. Pada panel control Gardu Induk Solok terpasang sakelar operasi dari PMT, PMS, serta lampu indicator posisi sakelar dan diagram rel atau annunciator. Diagram rel (mimic bus), sakelar, dan annunciator ini diatur letak dan hubungannya sehingga dapat menggambarkan kondisi sebenarnya dari semua peralatan dan rangkaian yang ada. Pada Gardu Induk Solok juga terdapat panel kontrol yang berfungsi untuk panel relai. Pada panel relai terpasang relai –relai proteksi yang digunakan oleh GarduInduk[8]



**Gambar 3.15 Panel Kontrol Gardu Induk Solok**

(Sumber :Gardu Induk Solok)



### 3.4.9 Baterai

Suatu Gardu Induk dituntut selalu harus memiliki kendalan dan stabilita stinggi. Meskipun suplai listrik dari pusat pembangkit dimatikan, peralatan-peralatan seperti relai proteksi dituntut harus tetap menyala agar dapat langsung bekerja ketika suplai listrik dinyalakan kembali. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sumber tenaga cadangan, seperti baterai untuk pengoperasian peralatan-peralatan ini.



**Gambar 3.16 Baterai Pada Gardu Induk Solok**  
(Sumber :Gardu Induk Solok)

### 3.5 Pemeliharaan Gardu Induk Solok

Pemeliharaan Gardu Induk dilakukan dengan cara pemeriksaan dan pengamatan dengan maksud untuk mencegah timbulnya gangguan penyaluran tenaga listrik dan kerusakan peralatan.

Adapun urutan langkah kerja dalam pemeliharaan Gardu Induk adalah sebagai berikut:

- a. Pengawasan secara cermat pada lokasi Gardu Induk yang sedang beroperasi.

Dengan tujuan mencegah terjadinya gangguan penyaluran tenaga listrik dan kerusakan peralatan. Pengawasan ini mencakup :

- 1) Pengawasan gangguan faktor luar seperti gangguan yang disebabkan oleh manusia, binatang, dan tanaman.

- 2) Pengawasan gangguan faktor dalam.
- 3) Sistem komunikasi selalu baik dan siap beroperasi.
- 4) Pengawasan sistem sumber arus searah seperti penyearah dan baterai agar selalu bekerja dengan baik.
- 5) Pengawasan sistem pemadam kebakaran selalu dalam keadaan siap kerja.

b. Pengamatan yang perlu pada Gardu Induk yang sedang beroperasi.

Pengamatan harus dilakukan secara periodik dan disesuaikan dengan batas waktu tertentu terhadap arus beban, tegangan, daya, faktor kerja, energi, dan tegangan DC yang perlu dicatat.

Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan :

- 1) Arus beban.
- 2) Tegangan dan temperatur.
- 3) Tinggi permukaan dan warna minyak transformator.
- 4) Pencatat counter dari PMT, tap changer, dan lighting arrester.
- 5) Tekanan minyak hydroponic, gas SF<sub>6</sub>, dan udara untuk PMT.

c. Mematikan dan membebaskan Gardu Induk.

Cara mematikan dan membebaskan Gardu Induk dari tegangan adalah sebagai berikut:

- 1) Semua PMT beban dibuka, kabel/SUTM, kemudian PMS-PMS dilepas dan masukkan PMS tanah dari masing-masing yang telah dikeluarkan.
- 2) PMT penghantar dibuka kemudian PMS-nya dilepas.
- 3) Bila penghantar sudah tidak bertegangan lagi, PMS-PMS tanahnya dimasukkan.

## BAB IV

# SUMBER AC DAN DC SEBAGAI SUMBER TENAGA PENGOPERASIAN PADA GARDU INDUK SOLOK 150 kV

### 4.1 Gambaran Umum

Dalam pengoperasian tenaga listrik terdapat dua macam sumber tenaga untuk kontrol di dalam Gardu Induk, ialah sumber arus searah (DC) dan sumber arus bolak balik (AC). Sumber tenaga untuk kontrol selalu harus mempunyai keandalan dan stabilitas yang tinggi. Karena persyaratan inilah dipakai baterai sebagai sumber arus searah. Catu daya sumber DC digunakan untuk kebutuhan operasi relai proteksi, kontrol dan scadatel.

Sistem AC di Gardu Induk merupakan suplai utama untuk pengoperasian peralatan utama seperti: Rectifier, Penerangan, Pendingin ruangan komputer dan lain sebagainya. Untuk kebutuhan operasi relai dan kontrol di PLN terdapat dua system catu daya pasokan arus searah yaitu DC 110V dan DC 220V, sedangkan untuk kebutuhan scadatel menggunakan system catudaya DC 48V. Catudaya DC bersumber dari rectifier dan baterai. Terpasang pada instalasi secara parallel dengan beban, sehingga dalam operasionalnya disebut Sistem DC.

### 4.2 Sistem AC Pada Gardu Induk

Instalasi AC pada Gardu Induk Tegangan Tinggi (GI 150 kV/70 kV) atau Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET 500 kV) dapat dipasok dari transformator pemakaian sendiri (PS) 20 kV dilengkapi juga dengan *Generator Set* yang diperlukan untuk keadaan darurat atau pada saat Trafo pemakaian sendiri (PS) mengalami gangguan atau sedang dipelihara. Pada setiap GI atau GITET minimal harus mempunyai 2 sistem AC yang siap menyuplai tegangan AC. Instalasi AC dibagi dalam beberapa kelompok yang dirancang sesuai dengan kebutuhan pemakaian beban. Pengelompokan sangat penting untuk menghindari terjadinya *over load* dan setiap busbar output dari pengelompokan tersebut harus dilengkapi dengan *fuse* atau LBS. Pengelompokan dari instalasi AC dibagi menjadi dua, yaitu:

#### 1. Grup *Essential*

Grup *essential* terdiri dari rectifier, motor-motor (PMT, PMS, Kipas Transformator, OLTC dan Kompresor), penerangan ruang kontrol dan ruang relay.

#### 2. Grup *Common*

Grup *common* terdiri dari penerangan *switchyard*, gedung, *exhaust fan*, sanitasi dan pendingin ruangan gedung dan lain-lain.

## 4.2.1 Trafo Pemakaian Sendiri

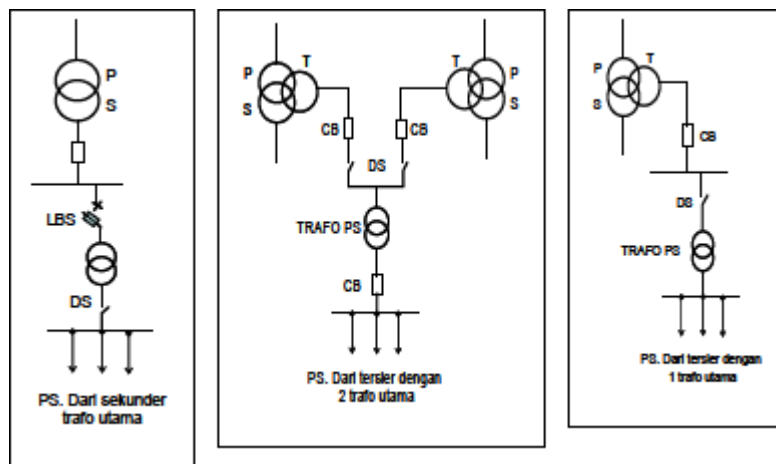
### 4.2.1.1 Fungsi

Pemakaian sendiri di Gardu Induk berfungsi untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik peralatan bantu, pada umumnya dibutuhkan untuk memasok daya listrik ke peralatan di Gardu Induk antara lain:

- Pengisian Baterai (*Charger*)
- Motor Kipas Pendingin
- Motor OLTC
- Motor Mekanik PMS
- Penerangan Gedung
- Penerangan Panel Control
- Pemanas (Heater)

### 4.2.1.2 Rangkaian Pemakaian Sendiri

Kapasitas dari trafo pemakaian sendiri ditentukan dengan memperhatikan factor diversitas (*diversity*), yaitu perbandingan antara jumlah kebutuhan (*demand*) maksimum setiap bagian sistem dan kebutuhan maksimum seluruh sistem.



**Gambar 4.1** Rangkaian Transformator Pemakaian Sendiri[9]

Jika tenaga untuk pemakaian sendiri diambil dari sisi tersier dari trafo utama, maka sisi primer dari trafo pemakaian sendiri biasanya hanya dilengkapi dengan pemisah, dan pemutus beban pada sisi tersier dari trafo utama dapat dipakai untuk trafo pemakaian sendiri. Jika tenaga untuk pemakaian sendiri diambil dari sisi sekunder dari trafo utama, maka untuk ini perlu di

pakai pemutus beban atau pengaman lumer (*power fuse*). Trafo pemakaian sendiri yang menurunkan tegangan dari tegangan tinggi ketegangan motor, dipakai pengaman lumer atau pemutus tanpa pengaman lumer (*no-fuse breaker*) pada sisi primer dan sisi sekunder.

Hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam susunan rangkaian pemakaian sendiri adalah sebagai berikut :

1. Bila tenaga untuk pemakaian sendiri diambil dari sisi tersier dari trafo utama dalam Gardu Induk yang hanya mempunyai satu trafo utama, harus diusahakan agar dapat menerima tenaga dari jaring- jarring distribusi dari sistem lain (sumber lain).
2. Jika dipakai unit 3 fasa untuk trafo pemakaian sendiri, harus dipakai lebih dari 2 buah trafo dan kapasitasnya harus cukup besar untuk dapat menyediakan tenaga dengan normal sekalipun ada gangguan pada sebuah transformator[9].

#### 4.2.1.3 Peralatan Instalasi Trafo PS (Pemakaian Sendiri)

Peralatan instalasi system pemakaian sendiri umumnya terdiri dari sakelar pemutus beban(*Load Breaker Switch*),Trafo PS, Lemari Panel Distribusi AC.



**Gambar 4.2** *Load Break Switch*[9]



**Gambar 4.3** Trafo Pemakaian Sendiri dan Panel Distribusi AC

(Sumber :Gardu Induk Solok)

#### 4.2.1.4 Lokasi Pemasangan

Pemasangan Trafo pemakaian sendiri tergantung dari desain Gardu Induk pada awal pembangunan antara lain pasangan dalam gedung kontrol (*Indoor*) dan pasangan luar gedung kontrol (*Outdoor*). Bila terpasang didalam ruangan maka sirkulasi udara pada ruangan harus baik dan dipasang *exhaust fan*, bila terpasang diluar gedung maka harus aman dan terlindung dari benda-benda atau binatang yang dapat menyebabkan gangguan.

#### **4.2.1.5 Batasan Operasi**

Tegangan input di sisi primer hendaknya disesuaikan dengan spesifikasi teknis dari pabrik pembuatnya dan tegangan output di sisi sekunder disesuaikan dengan karakteristik beban. Besarnya Kapasitas daya terpasang (kVA) Trafo pemakaian sendiri biasanya diperhitungkan dengan besarnya beban dan melihat perkembangan atau perluasan pada Gardu Induk tersebut. Umumnya Kapasitas Trafo Pemakaian Sendiri adalah 100 - 800 kVA.

#### **4.2.1.6 Sistem Pengaturan Tegangan**

Pengaturan tegangan diatur sesuai dengan tegangan kerja peralatan. Cara menurunkan dan menaikkan tegangan pada trafo pemakaian sendiri biasanya tergantung dengan tegangan pada busbar 20 kV TrafoDaya 60 MVA.

#### **4.1.2.7 Sistem Pengaturan Beban**

Kapasitas dari trafo pemakaian sendiri ditentukan dengan memperhatikan factor diversitas (*diversity*) yaitu perbandingan antara jumlah kebutuhan (*demand*) maksimum setiap bagian sistem dan kebutuhan maksimum seluruh sistem.

#### **4.1.2.8 Sistem Pendingin**

Jika kumparan dialiri arus listrik, maka pada inti besi dan kumparan transformator akan timbul panas akibat adanya rugi-rugi besi dan tembaga. Untuk mengurangi panas sebagai akibat kenaikan suhu yang berlebihan, maka pada transformator perlu dilengkapi dengan system pendingin. Dalam hal ini system pendingin berfungsi untuk menyalurkan panas agar keluar/terbuang dari transformator. Metoda pengaliran media pendingin pada trafo pemakaian sendiri adalah media pendingin minyak dan udar a*Oil Natural Air Natural* (ONAN), sebagai media pemindah panas dilengkapi dengan sirip-sirip[9].



**Gambar 4.4** Pendingin Trafo Pemakaian Sendiri Gardu Induk Solok

(Sumber :Gardu Induk Solok)

#### 4.2.2 Genset

Genset merupakan bagian dari AC suplai yang sangat penting sebagai salah satu sumber tenaga bagi instalasi di dalam system kelistrikan Gardu Induk, baik untuk system control maupun system-sistem penggerak peralatan Gardu Induk. Genset diperlukan sekali untuk keadaan darurat, apabila penyediaan listrik utama terganggu, misalnya suplai dari Trafo PS (pemakaian sendiri) mengalami kerusakan, pemeliharaan, maupun kondisi system *Black-Out*, sehingga *Generator set* dapat menggantikan penyediaan daya listrik untuk keperluan seperti mensuplai baterai *charger*, penerangan untuk ruangan operator, penggerak kipas pendingin transformator, penggerak motor kompresor PMT dan sebagainya[10].



**Gambar 4.5** Genset Pada Gardu Induk Solok dan Panel Control Sistem Genset

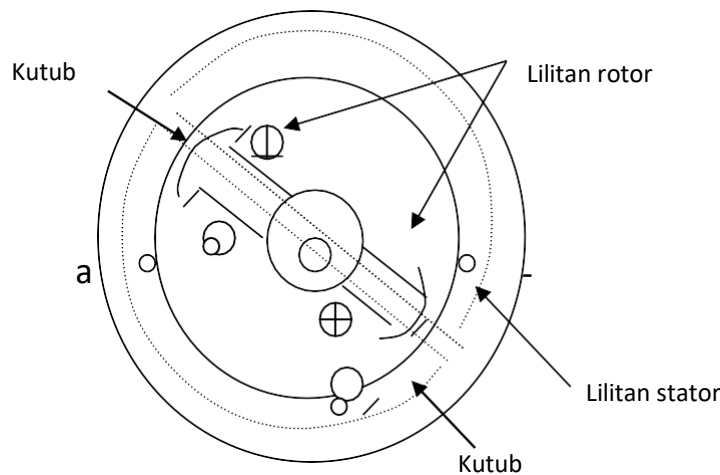
(Sumber :Gardu Induk Solok)

#### 4.2.2.1 Prinsip Kerja Genset

Prinsip kerja dari Genset adalah gabungan antara mesin penggerak dan Generator pembangkit listrik. Penggerak mula menggunakan prinsip motor bakar untuk merubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi mekanis. Penggerak mula berupa motor torka dengan siklus 4 langkah pada umumnya menggunakan bahan bakar minyak diesel (solar). Prinsip kerja dari Generator adalah mesin listrik yang mengkonversi energi mekanis menjadi energi listrik. Prinsip dasar generator adalah menggunakan hukum *Faraday* yaitu:

$$e = -N (d\Phi / dt)$$

Secara kuantitatif induksi tegangan oleh medan magnet berubah waktu. Generator terdiri dari lilitan stator dan lilitan rotor. Lilitan rotor dialiri arus searah melalui sikat arang pada cincin slip. Lilitan stator terdiri dari beberapa buah lilitan (N).



**Gambar 4.6** Prinsip Kerja Generator Set[10]

Rotor yang terdiri dari lilitan rotor yang telah dialiri arus searah diputar dengan kecepatan tetap oleh penggerak mula. Dengan adanya putaran rotor maka pada kumparan stator akan terinduksi fluks magnet dengan bentuk gelombang sinusoidal seperti rumus dibawah ini:

$$e = -N(d\phi / d t)$$

Keterangan

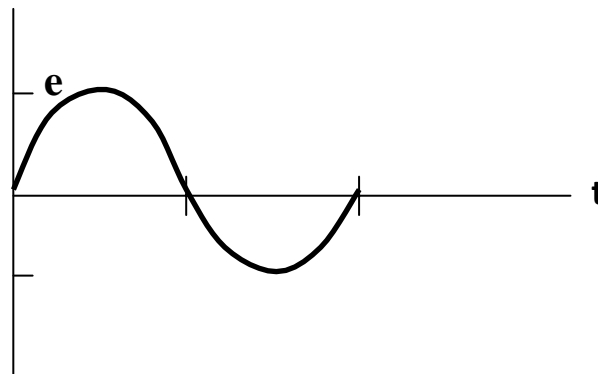
e : tegangan induksi pada kumparan stator

d  $\phi$  : fluksi yang timbul pada periode waktu kumparan stator

d t : periode waktu

N : Jumlah Kumparan





**Gambar 4.7** Bentuk Gelombang Tegangan

Tegangan yang terinduksi ke kumparan stator akan membentuk sinusoida setiap satu putaran penuh (untuk generator 2 kutub).

Sedangkan besarnya frekuensi yang timbul tergantung dari banyaknya kutub, putaran dan waktu, seperti rumus di bawah ini :

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

Keterangan :

f : frekuensi pada kumparan stator

P : jumlah kutub kumparan stator

n : jumlah putaran rotor

Sebagai contoh untuk mendapatkan frekuensi 50 Hz dari sebuah generator 2 kutub maka diperlukan putaran rotor dari generator adalah 3000 putaran/menit[10].

#### 4.2.3 Sistem Otomatisasi

Suplai AC pada suatu instalasi Gardu Induk merupakan fasilitas pendukung yang mutlak ada dan merupakan peralatan penting bagi kelangsungan operasi suatu Gardu Induk, baik untuk sistem kontrol maupun untuk sistem-sistem penggerak peralatan di Gardu Induk harus mempunyai keandalan yang tinggi dan kondisi siap bila diperlukan. Pada Gardu Induk 150 kV suplai AC didapat dari trafo pemakaian sendiri (PS) tetapi pada Gardu Induk 500 kV ada juga yang dilengkapi dengan *Generator Set (Diesel Set)* yang dibutuhkan sekali untuk keadaan darurat/*emergency* atau pada saat trafo pemakaian sendiri (PS) mengalami kerusakan atau pemeliharaan. Dalam pengoperasian, sumber-sumber suplai AC ini dioperasikan secara bergantian/squential sesuai kondisi dan SOP setempat, baik secara manual maupun secara otomatis menggunakan *Change Over Switch*[10].



**Gambar 4.8** Panel *Change Over Switch*

(Sumber :Gardu Induk Solok)

#### 4.2.3.1 Prinsip Kerja Sistem Otomatisasi

Prinsip kerja dari sistem *change over switch* adalah otomatisasi perpindahan beban yang saling mengunci (*interlock*) satu sama lain antara suplai trafo pemakai sendiri dan suplai cadangan/Genset.

1. Dalam operasi normal suplai AC 380/ 220 Volt didapat dari trafo pemakaian sendiri dengan beban seluruh kebutuhan instalasi, baik *common service* maupun *essential service*.
2. Apabila system *blackout* atau trafo pemakaian sendiri mengalami gangguan maka sumber AC 380 V dipasok dari Genset yang hanya memikul beban *essential service*.

#### 4.3 Sistem DC Pada Gardu Induk

Instalasi Sistem DC suatu Gardu Induk berfungsi untuk menyalurkan suplai DC yang dipasok oleh rectifier atau *chargertiga* fasa maupun satu fasa yang dihubungkan dengan satu atau dua set baterai. Terdapat 3 (tiga) jenis instalasi atau suplai DC yang digunakan pada Gardu Induk meliputi:

- a) Instalasi Sistem DC 250 Volt
- b) Instalasi Sistem DC 110 Volt
- c) Instalasi Sistem DC 48 Volt



**Gambar 4.9** Panel Distribusi DC  
 (Sumber :Gardu Induk Solok)

#### 4.3.1 Instalasi Sistem DC 250 Volt

Instalasi sistem DC 250 Volt digunakan untuk menyalurkan suplai DC 250 Volt yang dipasok dari rectifier atau *chargertiga* fasa serta dihubungkan dengan baterai untuk mengoperasikan peralatan pada instalasi Gardu Induk seperti:

- Motor - motor (PMT dan PMS)
- Relay proteksi
- Instrumen – instrumen
- *Tripping* dan *closing coil*

#### 4.3.2 Instalasi Sistem DC 110 Volt

Instalasi sistem DC 110 Volt digunakan untuk menyalurkan suplai DC 110 Volt yang dipasok dari rectifier atau *charger* serta dihubungkan dengan baterai untuk mengoperasikan peralatan pada instalasi Gardu Induk seperti:

- Motor - motor (PMT dan PMS)
- Relay proteksi dan meter - meter digital
- Sinyal, alarm dan indikasi
- *Tripping* dan *closing coil*

#### 4.3.3 Instalasi Sistem DC 48 Volt

Instalasi sistem DC 48 Volt ini digunakan untuk menyalurkan suplai DC 48 Volt yang dipasang dari rectifier atau *charger* serta dihubungkan dengan baterai untuk mengoperasikan peralatan pada instalasi Gardu Induk seperti:

- Scada / RTU
- Teleproteksi Unit
- Komunikasi (PLC) Unit – *Continuous Load*
- Alarm, sinyal dan indikasi

#### 4.3.4 Peralatan Sistem DC

##### 4.3.4.1 Rectifier / Charger

*Charger* atau Rectifier sering disebut juga konverter adalah suatu rangkaian alat listrik untuk mengubah arus listrik bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) yang berfungsi untuk suplai DC dan mengisi Baterai agar kapasitasnya tetap terjaga penuh sehingga keandalan sumber DC pada Gardu Induk terjamin, maka baterai tersebut harus selalu tersambung ke rectifier[10].

##### 4.3.4.1.1 Prinsip Kerja Rectifier / Charger

Sumber AC baik 1 fasa maupun 3 fasa masuk melalui terminal input rectifier itu ke Trafo *step-down* dari tegangan 220 V / 380 V menjadi tegangan 110 V atau 48 V kemudian oleh Diode penyearah / Thyristor arus bolak balik (AC) tersebut dirubah menjadi arus searah dengan ripple / gelombang DC tertentu. Kemudian untuk memperbaiki ripple / gelombang DC yang terjadi diperlukan suatu rangkaian penyaring (filter) yang dipasang sebelum ke terminal Output.



**Gambar 4.10** Rectifier 110 V DC

(Sumber :Gardu Induk Solok)

#### 4.3.4.1.2 Bagian Utama Rectifier

##### 1. Transformator Utama

Transformator utama yang terpasang pada rectifier biasanya merupakan transformator *step-down* berfungsi sebagai penurun tegangan dari tegangan AC 220/380 Volt menjadi 110/48 Volt. Besar kapasitas arus transformator utama harus disesuaikan dengan kapasitas baterai terpasang dan beban sumber DC di Gardu Induk tersebut.

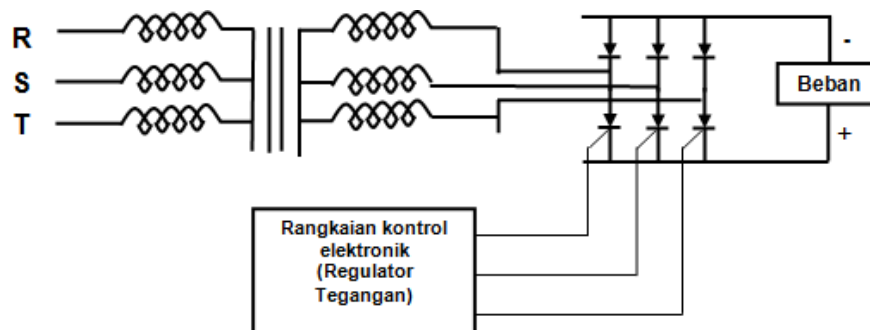


**Gambar 4.11** Transformator Utama

(Sumber :Gardu Induk Solok)

##### 2. Penyearah Thyristor

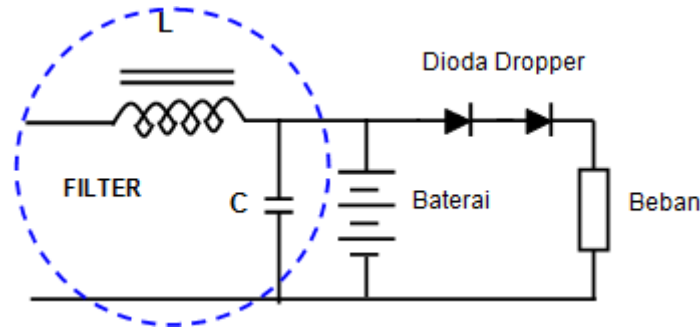
Berfungsi sebagai penyearah dan pengatur tegangan keluaran dari transformator utama, penyearah ini dari bahan semi konduktor yang dilengkapi dengan satu terminal control untuk mengatur sudut penyalan Thyristor.



**Gambar 4.12** Diagram Penyearah Thyristor Sistem3 Fasa[10]

##### 3. Filter (Penyaring)

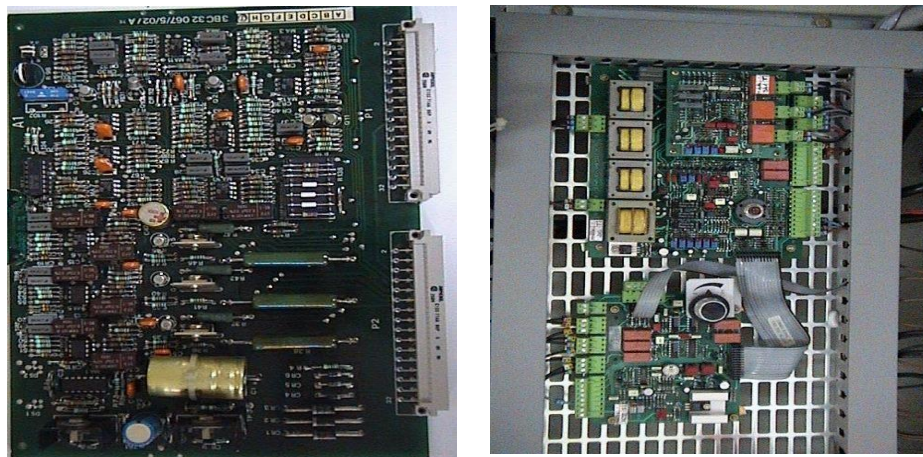
Filter berfungsi sebagai penyaring tegangan yang keluar dari rangkaian penyearah agar menghasilkan tegangan DC yang kandungan harmonisa atau tegangan *ripple* tidak melebihi batas tertentu ( $<2\%$ ). Rangkaian filter terdiri dari rangkaian induktif, kapasitif atau kombinasi dari keduanya.



**Gambar 4.13** Rangkaian Filter (Penyaring)[10]

#### 4. AVR (*Automatic Voltage Regulator*)

*Automatic Voltage Regulator* yang terpasang pada rectifier merupakan modul elektronik yang berfungsi untuk memberi *trigger* positif pada *gate* Thyristor sehingga pengaturan arus maupun tegangan output rectifier yang mengalir ke baterai maupun ke beban dapat diatur sesuai kebutuhan.



**Gambar 4.14** Modul Elektronik AVR[10]

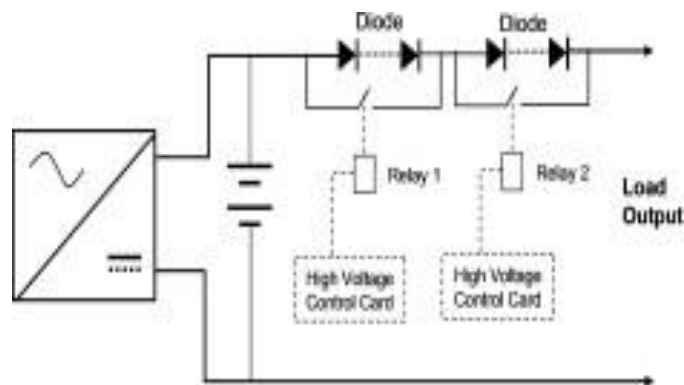
#### 5. Alarm Unit

Suatu perangkat elektronik yang berfungsi memberikan informasi ketika terjadi kondisi abnormal pada sistem kerja rectifier antara lain:

- AC Failure (Sumber AC input terganggu)
- DC Failure (Output DC terganggu)
- High DC Voltage (Tegangan DC tinggi)
- Earth Fault Positif (Gangguan hubung tanah DC positif)
- Earth Fault Negatif (Gangguan hubung tanah DC negatif)

#### 6. Rangkaian Voltage Dropper

*Voltage dropper* berfungsi untuk menjaga stabilitas tegangan output rectifier ke arah beban pada saat rectifier beroperasi pada pengisian *Floating*, *Equalizing* atau *Boosting*.



Gambar 4.15 Diagram *Voltage Dropper*[10]

#### 4.3.4.1.3 Mode Operasi Pengisian pada Rectifier/Charger

##### 1. *Floating Charge*

*Floating* adalah jenis pengisian baterai untuk menjaga baterai dalam keadaan penuh (*full charge*). Pada kondisi normal *rectifier* beroperasi pada sistem *floating*.

##### 2. *Equalizing Charge*

*Equalizing* adalah jenis pengisian yang bertujuan untuk menyamakan atau meratakan tegangan setiap *cell* baterai.

##### 3. *Boosting Charge*

*Boosting* adalah jenis pengisian cara cepat (*high rate*) yang digunakan pada saat *initial charge* atau pengisian kembali setelah baterai mengalami pengosongan yang besar.

#### 4.3.4.2 Baterai

Baterai atau *akumulator* adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berbalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang

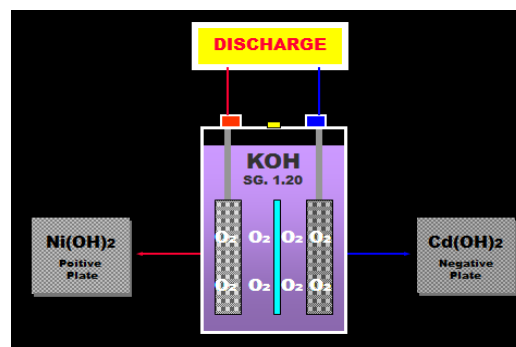
dimaksud dengan proses elektrokimia reversible adalah didalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian), pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan didalam sel. Tiap sel baterai terdiri dari dua macam elektroda yang berlainan yaitu elektroda positif dan elektroda negatif yang dicelupkan dalam suatu larutan kimia[10].

Menurut pemakaian baterai dapat digolongkan kedalam 2 jenis:

- *Stationary* (tetap)
- *Portable* (dapat dipindah-pindah)

#### 4.3.4.2.1 Prinsip Kerja Baterai

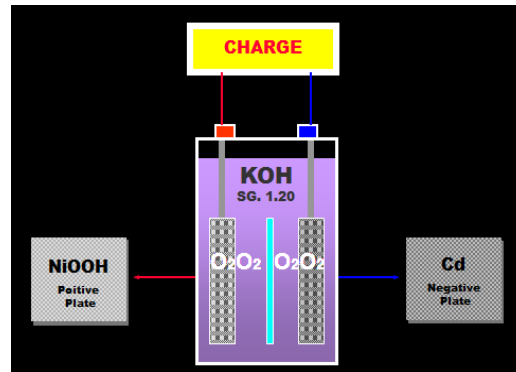
- a. Proses *discharge* pada sel berlangsung menurut skema Gambar 4.16 Bila sel dihubungkan dengan beban maka, elektron mengalir dari anoda melalui beban kekatoda, kemudian ion-ion negatif mengalir ke anoda dan ion-ion positif mengalir ke katoda.



**Gambar 4.16** Reaksi Elektro kimia Pada Sel Baterai (*Discharger*)[10]

- b. Pada proses pengisian menurut skema Gambar 4.17 bila sel dihubungkan dengan *power supply* maka, elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda dan proses kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:
  - 1) Aliran elektron menjadi terbalik, mengalir dari anoda melalui *power supply* ke katoda.
  - 2) Ion-ion negatif mengalir dari katoda ke anoda
  - 3) Ion-ion positif mengalir dari anoda ke katoda





**Gambar 4.17** Reaksi Elektro kimia Pada Sel Baterai (*Charge*)[10]

#### 4.3.4.2.2 Bagian Utama Baterai

##### 1. Elektroda

Tiap sel baterai terdiri dari 2 (dua) elektroda, yaitu elektroda positif dan negatif, direndam dalam suatu larutan kimia yang berfungsi sebagai media perpindahan elektron pada saat berlangsung *charge - discharge*. Elektroda positif dan negatif tersusun dari beberapa Grid yang berupa rangka besi berfungsi sebagai tempat material aktif. Material aktif berfungsi sebagai material yang bereaksi secara kimia untuk menghasilkan energi listrik.



**Gambar 4.18** a) Plat Grid, b) Material Aktif c) Grid RangkaBesi d) TerakitDalam Plastic Container[10]

##### 2. Elektrolit

Elektrolit adalah cairan atau larutan senyawa kimia yang berfungsi menghantarkan arus listrik, larutan tersebut dapat menghasilkan muatan listrik positif dan negatif. Bagian yang bermuatan positif disebut ion positif dan bagian yang bermuatan negatif disebut ion negatif.

Makin banyak ion – ion yang dihasilkan suatu elektrolit maka makin besar daya hantar listriknya.

Jenis cairan elektrolit baterai terdiri dari 2 (dua) macam yaitu:

- a. Larutan Asam Sulfat ( $H_2SO_4$ ) digunakan pada baterai asam.
- b. Larutan Kalium Hidroksida ( $KOH$ ) digunakan pada baterai alkali.

### 3. Sel Baterai

Sel baterai berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan elektrolit dan elektroda. Bahan bejana (*container*) yang digunakan terdiri dari 2 (dua) macam:

- ***Steel Container***

Sel baterai dengan bejana (*container*) terbuat dari *steel* ditempatkan dalam rak kayu, hal ini untuk menghindari terjadi hubung singkat antar sel baterai dan hubung tanah.

- ***Plastic Container***

Sel baterai dengan bejana (*container*) terbuat dari plastic ditempatkan dalam rak besi yang diisolasi, hal ini untuk menghindari terjadi hubung singkat antar sel baterai atau hubung tanah apabila terjadi kerusakan/kebocoran elektrolit baterai.



**Gambar 4.19** Plastic Container Dan Steel Container[10]

### 4. Terminal dan Penghubung Baterai

Terminal dan klem pada sel baterai berfungsi untuk menghubungkan kutub-kutub sel baterai, menggunakan bahan *nickel plated steel* atau *cooper* sedangkan penghubung antar unit atau grup

baterai menggunakan bahan *nickel plated* atau berupa kabel yang terisolasi (*Insulated Flexible Cable*).



**Gambar 4.20** Terminal Penghubung Baterai[10]

#### 4.3.4.3 Konduktor

Alat penghantar energi listrik arus searah dari sumber ke beban.

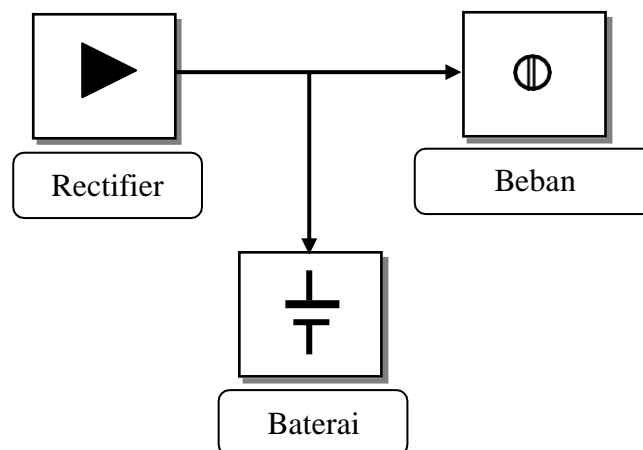
#### 4.3.4.4 Terminal – Terminal

Tempat pencabangan dimana energi listrik akan dikirim atau dibagi ke beban-beban.

#### 4.3.5 Bentuk Rangkaian Baterai dan Charger / Rectifier

##### 4.3.5.1 Sistem Sederhana (*Simple System*)

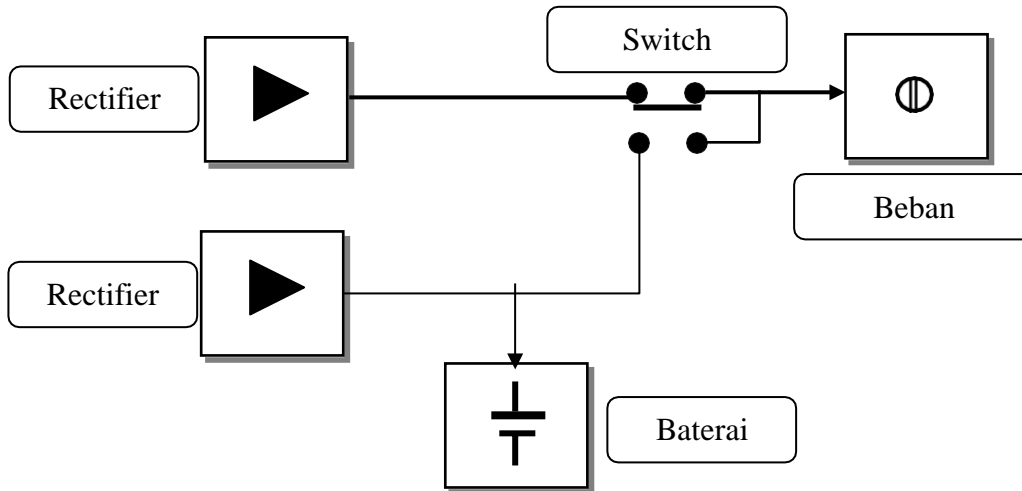
Baterai selalu dihubungkan ke pengisi baterai (*Charger*) dalam pengisian pemeliharaan dan baterai hanya sewaktu-waktu dihubungkan ke beban, misalnya untuk start motor listrik / *engine starting* atau jika sumber arus searah (DC) dari pengisi baterai terganggu beban akan di supply dari baterai (Gbr. 4.21)



**Gambar 4.21**Sistem Sederhana (*Simple System*)[10]

#### 4.3.5.2 Sistem Cadangan (*Standby System*)

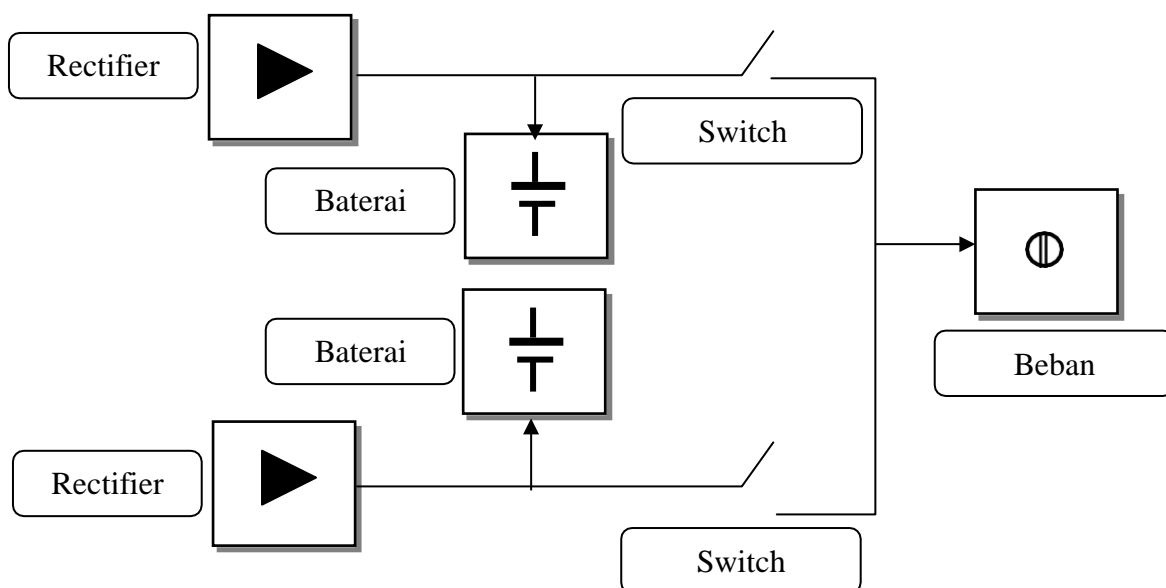
Pada operasi kerja normal beban langsung dihubungkan dengan penyearah (rectifier) dan baterai dihubungkan dengan pengisi baterai (*Battery Charger*) dalam pengisian pemeliharaan, maka bila sumber AC terganggu atau hilang otomatis beban terhubung ke baterai (Gbr. 4.22)



Gambar 4.22 Sistem Cadangan (*Stand by System*)[10]

#### 4.3.5.3 Sistem Ganda (*Duplicate System*)

Pada sistem ganda terdapat dua buah pengisi baterai (*battery charger*) yang dihubungkan dengan kedua unit baterai. Disini beban dapat di supply dengan menggunakan masing-masing baterai pada saat normal, atau satu unit baterai untuk semua beban, saat terjadi gangguan (Gbr. 4.23)



Gambar 4.23 Sistem Ganda (*Duplicate System*)[10]

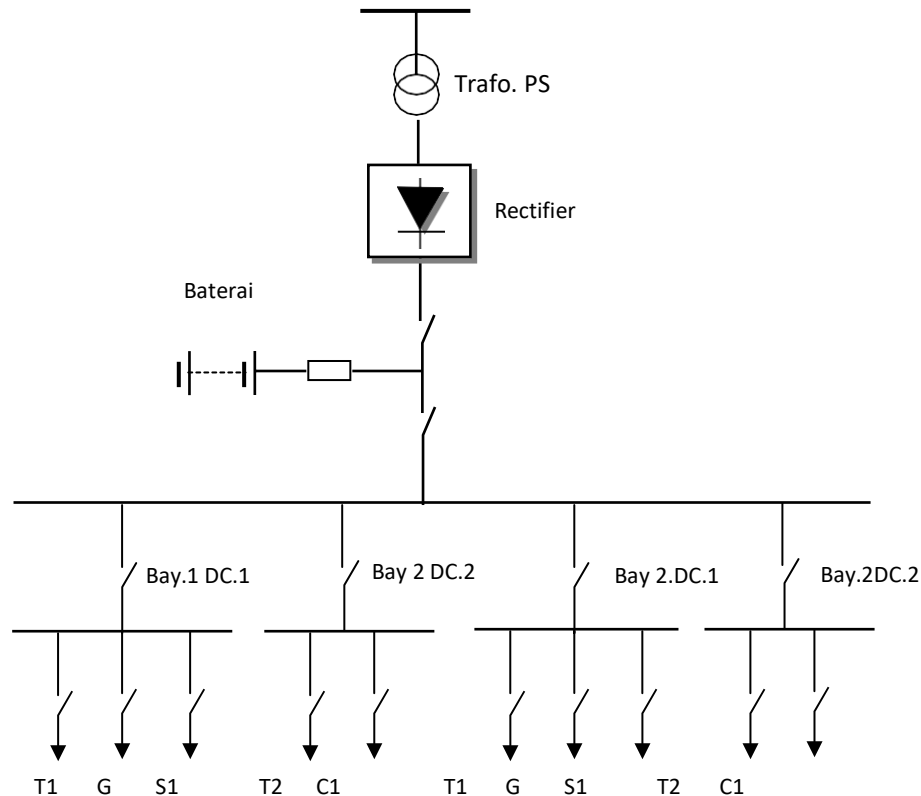


#### 4.3.6 Pola Instalasi Sistem DC

Umumnya Diagram Instalasi Sistem DC yang terdapat di beberapa Gardu Induk adalah sebagai berikut :

##### 4.3.6.1 Kondisi 1 :

1 Baterai, 1 Rectifier, 1 Trafo PS, 1 Pasokan DC, untuk pengaman utama dan cadangan menggunakan MCB yang berbeda. Pada kondisi 1 ini biasanya digunakan pada gardu induk yang memiliki 1 trafo pemakaian sendiri untuk menyuplai seluruh kebutuhan pasokan AC, kemudian di searahkan menggunakan *rectifier* sehingga memenuhi kebutuhan pasokan DC pada gardu induk, pada gardu induk solok menggunakan 1 trafo pemakaian sendiri, untuk diagram instalasi sistem DC dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



**Gambar 4.24 Kondisi Satu**[10]

**Keterangan :**

T1 : Supply DC untuk rangkaian pengaman utama.

T2 : Supply DC untuk rangkaian pengaman cadangan.

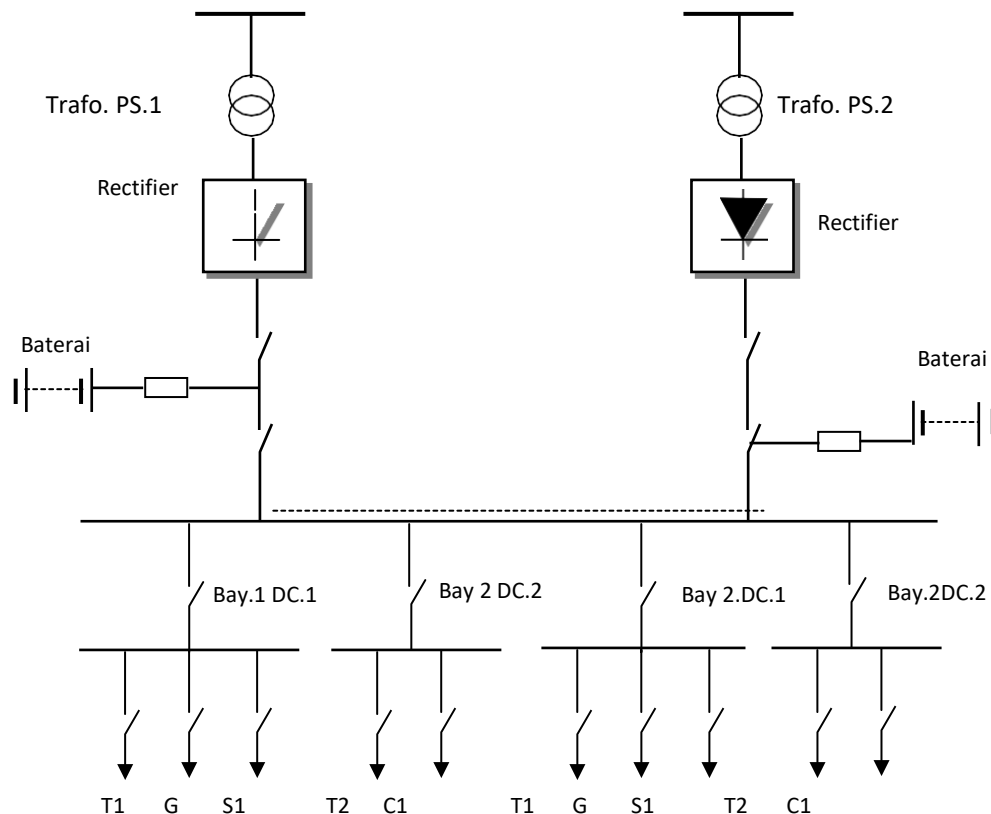
G : Supply DC untuk general.

C1 : Supply DC untuk kontrol.

S1 : Supply DC untuk *signaling*.

**4.3.6.2 Kondisi 2 :**

2 Baterai,2 Rectifier,2 Trafo PS,1 Pasokan DC,dengan operasi 1 Unit dan 1 Unit *Standby*.Pasokan DC untuk untuk pengaman cadangan menggunakan MCB yang berbeda. Pada kondisi 2 ini biasanya digunakan pada gardu induk yang memiliki kapasitas yang cukup besar, sehingga dibutuhkannya 2 trafo pemakaian sendiri untuk mengantisipasi Ketika terjadi gangguan atau pemeliharaan pada trafo pemakaian sendiri, maka masih ada trafo pemakaian sendiri yang *Standby* untuk meyuplai seluruh kebutuhan pasokan AC, kemudian di searahkan menggunakan *rectifier* sehingga memenuhi kebutuhan pasokan DC pada gardu induk, untuk diagram instalasi sistem DC dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



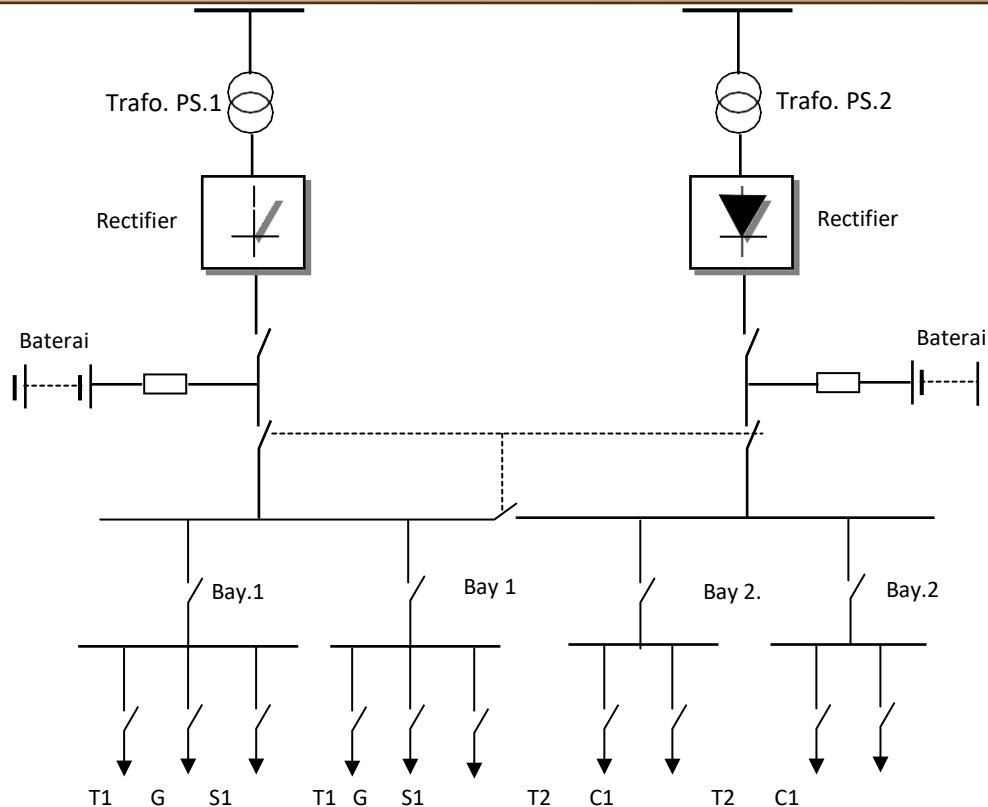
**Gambar 4.25** Kondisi Dua[10]

**Keterangan :**

- T1 : Supply DC untuk rangkaian pengaman utama.
- T2 : Supply DC untuk rangkaian pengaman cadangan.
- G : Supply DC untuk general.
- C1 : Supply DC untuk kontrol.
- S1 : Supply DC untuk *signaling*.

**4.3.6.3 Kondisi 3 :**

2 Baterai, 2 Rectifier, 2 Trafo PS, 2 Pasokan DC, untuk pengaman utama dan cadangan menggunakan sumber baterai yang berbeda serta MCB yang berbeda. Pada kondisi 3 ini menggunakan 2 trafo pemakaian sendiri yang sama – sama beroperasi untuk menyuplai seluruh kebutuhan pasokan AC, kemudian di searahkan menggunakan *rectifier* sehingga memenuhi kebutuhan 2 pasokan DC pada gardu induk, kedua trafo pemakaian sendiri ini terhubung dengan MCB yang berfungsi sebagai switching, ketika terjadi gangguan atau pemeliharaan pada trafo pemakaian 1 dapat di *back-up* oleh trafo pemakaian sendiri 2 atau pun sebaliknya, untuk diagram instalasi sistem DC dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



**Gambar 4.26** Kondisi Tiga[10]

**Keterangan :**

- T1 : Supply DC untuk rangkaian pengaman utama.
- G : Supply DC untuk general pengaman cadangan.
- C1: Supply DC untuk kontrol.
- S1 : Supply DC untuk *signaling*.

**4.4 Pemeliharaan Sumber AC Dan DC**

**4.4.1 Pengertian Dan Tujuan Pemeliharaan**

Pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi adalah serangkaian tindakan atau proses kegiatan untuk mempertahankan kondisi dan meyakinkan bahwa peralatan dapat berfungsi sebagaimana mestinya sehingga dapat dicegah terjadinya gangguan yang menyebabkan kerusakan. Tujuan pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi adalah untuk menjamin kontinuitas penyaluran tenaga listrik dan menjamin keandalan, antara lain :

- Untuk meningkatkan *reliability*, *availability* dan *effiency*.
- Untuk memperpanjang umur peralatan.



- Mengurangi resiko terjadinya kegagalan atau kerusakan peralatan.
- Meningkatkan *Safety* peralatan.
- Mengurangi lama waktu padam akibat sering gangguan.

Faktor yang paling dominan dalam pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi adalah pada sistem isolasi. Isolasi disini meliputi isolasi minyak, udara dan gas atau vacuum. Suatu peralatan akan sangat mahal bila isolasinya sangat bagus, dari isolasi inilah dapat ditentukan sebagai dasar pengoperasian peralatan. Dengan demikian isolasi merupakan bagian yang terpenting dan sangat menentukan umur dari peralatan. Untuk itu kita harus memperhatikan / memelihara sistem isolasi sebaik mungkin, baik terhadap isolasinya maupun penyebab kerusakan isolasi.

Dalam pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi kita membedakan antara pemeriksaan / monitoring (melihat, mencatat, meraba serta mendengar) dalam keadaan operasi dan memelihara (kalibrasi / pengujian, koreksi / *resetting* serta memperbaiki / membersihkan dalam keadaan padam. Pemeriksaan atau *monitoring* dapat dilaksanakan oleh operator atau petugas patroli setiap hari dengan sistem *check list* atau catatan saja. Sedangkan pemeliharaan harus dilaksanakan oleh regu pemeliharaan.

#### 4.4.2 Jenis-jenis Pemeliharaan.

Jenis-jenis pemeliharaan peralatan adalah sebagai berikut :

##### 1. *Predictive Maintenance (Conditional Maintenance)*

adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan cara memprediksi kondisi suatu peralatan listrik, apakah dan kapan kemungkinannya peralatan listrik tersebut menuju kegagalan. Dengan memprediksi kondisi tersebut dapat diketahui gejala kerusakan secara dini. Cara yang biasa dipakai adalah memonitor kondisi secara *online* baik pada saat peralatan beroperasi atau tidak beroperasi. Untuk ini diperlukan peralatan dan personil khusus untuk analisa. Pemeliharaan ini disebut juga pemeliharaan berdasarkan kondisi (*Condition Base Maintenance*).

##### 2. *Preventive Maintenance (Time Base Maintenance)*

adalah kegiatan pemeliharaan yang dilaksanakan untuk mencegah terjadinya kerusakan peralatan secara tiba-tiba dan untuk mempertahankan unjuk kerja peralatan yang optimum sesuai umur teknisnya. Kegiatan ini dilaksanakan secara berkala dengan berpedoman kepada; *Instruction Manual* dari pabrik, standar-standar yang ada (*IEC, CIGRE*, dll) dan pengalaman operasi di lapangan. Pemeliharaan ini disebut juga dengan pemeliharaan berdasarkan waktu

(Time Base Maintenance)[10].

### 3. *Corrective Maintenance*

Adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan berencana pada waktu-waktu tertentu ketika peralatan listrik mengalami kelainan atau unjuk kerja rendah pada saat menjalankan fungsinya dengan tujuan untuk mengembalikan pada kondisi semula disertai perbaikan dan penyempurnaan instalasi. Pemeliharaan ini disebut juga *Curative Maintenance*, yang bias berupa *Trouble Shooting* atau penggantian part/bagian yang rusak atau kurang berfungsi yang dilaksanakan dengan terencana[10].

### 4. *Breakdown Maintenance*

Adalah pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan mendadak yang waktunya tidak tertentu dan sifatnya darurat[10].

## 4.4.3 Pedoman Pemeliharaan Pada Sistem AC Dan DC

### 4.4.3.1 Pedoman Pemeliharaan Sistem AC

#### 4.4.3.1.1 *In Service Inspection/Inspeksi dalam keadaan operasi Sistem AC*

*In service inspection* adalah kegiatan inspeksi yang dilakukan dalam keadaan operasi tanpa pembebasan tegangan. Metoda yang digunakan yaitu pengecekan dengan panca indera (visual, penciuman, pendengaran). Periodik pelaksanaan *in service inspection*.

#### **Inspeksi Mingguan**

**Tabel 4.1** Inspeksi Mingguan Trafo PS (Pemakaian Sendiri)

No	Inspeksi Mingguan Trafo PS	Peralatan
a	Pemeriksaan Kondisi Fisik	Visual
b	Level Minyak dan Indikator	Visual
c	Cek Panel Kontrol dan Lampu Indikasi	Visual

**Tabel 4.2** Inspeksi Mingguan Genset

No	Inspeksi Mingguan Genset	Peralatan
a	Pemeriksaan Kondisi Fisik	Visual
b	Cek Panel Kontrol dan Lampu Indikasi	Visual
c	Cek Level Bahan Bakar	Visual

d	Running Engine 10 menit test	Visual
---	------------------------------	--------

#### 4.4.3.1.2 Shutdown Testing Measurement

Pengujian dalam keadaan tidak bertegangan dilakukan pada saat peralatan dalam keadaan tidak bertegangan/padam. Pekerjaan ini dilakukan secara rutin di setiap pemeliharaan maupun pada saat investigasi ketidak normalan (anomali).

**Tabel 4.3** Periode Tahunan 1 Genset (500 jam kerja)

No	Pengukuran tahunan Genset	Peralatan
a	Ganti Baterai	Toolkit
b	Ganti Media Pendingin	Toolkit
c	Bersihkan Sistem Pendingin	Toolkit
d	Ukur dan Cek Sistem Pentanahan	Earth Tester

**Tabel 4.4** Periode Tahunan 2 Trafo Pemakaian Sendiri

No	Pengukuran tahunan Trafo PS	Peralatan
a	Cek Kekencangan Baut	Toolkit
b	Cek Kondisi Bushing	Visual/majun dan bahan pembersih
c	Bersihkan Sistem Pendingin	Toolkit
d	Ukur dan Cek Sistem Pentanahan	Earth Tester
e	Pengecekan dan Pengujian Minyak Isolasi	BDV Tester

#### 4.4.3.2 Pedoman Pemeliharaan Sistem DC

##### 4.4.3.2.1 Inspeksi Harian Sistem DC

**Tabel 4.5** Inspeksi Harian Rectifier

No	Inspeksi Harian Rectifier	Peralatan
a	Pemeriksaan Tegangan Baterai	Visual
b	Pemeriksaan Tegangan Beban	Visual
c	Pemeriksaan Arus ke Baterai	Visual

d	Pemeriksaan Arus ke Beban	Visual
e	Pemeriksaan Indikator Panel	Visual
f	Pemeriksaan Fuse/MCB/NFB	Visual

**Tabel 4.6** Inspeksi Harian Baterai

No	Inspeksi Harian Baterai	Peralatan
a	Pemeriksaan Terminal dan Konektor	Visual
b	Pemeriksaan Kontainer/kebocoran elktrolit	Visual

**Tabel 4.7** Inspeksi Harian DC Panel *Distribution Board*

No	Inspeksi Harian DCPDB	Peralatan
a	Pemeriksaan Tegangan Beban	Visual
b	Pemeriksaan Arus Beban	Visual
c	Pemeriksaan Terminal dan Konektor	Visual
d	Pemeriksaan Fuse/MCB/NFB	Visual

**Tabel 4.8** Inspeksi Harian Ruang Baterai

No	Inspeksi Harian Ruang Baterai	Peralatan
a	Pemeriksaan Suhu dan Kelembaban udara	Visual
b	Pemeriksaan <i>exhaust fan</i> (sirkulasi udara)	Visual

#### 4.4.3.2 Inspeksi Bulanan Sistem DC

**Tabel 4.9** Inspeksi Bulanan Rectifier

No	Inspeksi Bulanan Rectifier	Peralatan
a	Pemeriksaan Kebersihan Komponen Utama	Visual
b	Pemeriksaan <i>Cooling fan</i>	Visual
c	Pemeriksaan Heater	Visual

**Tabel 4.10** Inspeksi Bulanan Baterai

No	Inspeksi Bulanan Baterai	Peralatan
a	Pemeriksaan Level Elektrolit Baterai	Visual
b	Pemeriksaan Kebersihan Sel dan Rak Baterai	Visual
c	Pengecekan Tegangan	Visual
d	Pemeriksaan Berat Jenis	

**Tabel 4.11** Inspeksi Bulanan DC Panel *Distribution Board*

No	Inspeksi Bulanan DCPDB	Peralatan
a	Pemeriksaan Kesiapan Penerangan Darurat	Visual
b	Pemeriksaan Instalasi dan Lubang Kabel	Visual

**Tabel 4.12** Inspeksi Bulanan Ruang Baterai

No	Inspeksi Bulanan Ruang Baterai	Peralatan
a	Pemeriksaan Kebersihan Ruang Baterai	Visual
b	Pembersihan Filter Ventilasi Udara Masuk Ruangan	Vacuum cleaner

#### 4.4.3.2.3 Shutdown Testing, Pengujian dan Pengukuran Sistem DC 2 Tahunan

Pengujian dan pengukuran pada rectifier dan baterai dalam keadaan tidak tersambung beban dan peralatan dalam keadaan off. Pada Gardu Induk yang terpasang 2 unit maka dapat dilakukan secara bergantian, tetapi apabila terpasang hanya 1 unit maka harus menggunakan baterai dan rectifier cadangan.

#### 4.13 Pengujian dan Pengukuran 2 Tahunan Rectifier

No	Inspeksi 2 Tahunan Rectifier	Peralatan
a	Pengujian dan Rekomissioning Tegangan dan Arus Uutput Rectifier ( <i>floating, equalizing dan boost</i> )	toolkit
b	Pengukuran Tegangan Ripple	Ripplemeter
c	Pengukuran Positif, Negatif Terhadap <i>Ground</i> (Khusus Sistem 110V /220V)	Multimeter

<b>d</b>	Kondisi Kebersihan Komponen Pada Rectifier	Kuas & vacuum cleaner
<b>e</b>	Pemeriksaan Lampu Indikator	Visual
<b>f</b>	Pemeriksaan Fan Pendingin ( <i>cooling fan</i> )	Visual
<b>g</b>	Pengukuran Tahanan isolasi Transformator Utama Rectifier	Toolkit & Multimeter
<b>h</b>	Pemeriksaan Kekencangan Mur Baut Pada Terminal	Toolkit

#### 4.14 Pengujian dan Pengukuran 2 Tahunan Baterai

No	Inspeksi 2 tahunan Baterai	Peralatan
a	Pengujian Kapasitas Baterai (untuk baterai yang usianya > 5 th) dilakukan setiap 2 tahun.	Dummy Load, Loader, Charger Portable
b	Pembersihan Klem Sel Baterai dan Rak Baterai	Toolkit, amplas
c	Pengujian <i>Open Circuit</i> Pada Rangkaian Baterai (Baterai Asam)	Toolkit & Multimeter
d	Pengukuran Suhu Elektrolit Sel Baterai	Thermometer stick
e	Pengujian Kandungan Karbon Pada Sel Baterai (Bila Akan Dilakukan Rekondisi)	Lab. Baterai
f	Pentanahan (grounding)	Earth Tester

#### 4.5 Kegiatan Selama Praktek Lapangan Industri

Selama Praktek lapangan industri, penulis di tempatkan pada bagian *Control Room* atau Ruang Kontrol di Gardu Induk Solok. Kegiatannya meliputi rangkaian tahapan kerja mulai dari perencanaan, pelaksanaan, pengendalian dan pemeliharaan. Dari kegiatan yang dilakukan di *Control Room* yaitu, ada kegiatan rutin yang dilakukan setiap harinya, ada yang dilakukan rutin setiap bulan, dan ada juga kegiatan yang dilakukan pada saat keadaan darurat saja. Adapun kegiatan yang dilakukan pada bagian *Control Room* ini terdiri dari :

- *Check list* pagi,
- *Maintenance* ruang baterai,

- Mengisi beban puncak,

Dari beberapa kegiatan yang sudah di sebutkan diatas, beberapa diantaranya penulis turut ikut serta di dalam kegiatan tersebut di Gardu Induk Solok. Kegiatan yang dilakukan oleh penulis selama kerja praktek 30 hari yaitu kegiatan rutin, kegiatan bulanan dan kegiatan darurat. Kegiatan rutin itu sendiri adalah pekerjaan pemeriksaan yang dilaksanakan dengan cara pemeriksaan secara visual yang dilakukan pada bagian ruang kontrol. Serta melakukan pemeliharaan atau pemeriksaan yang sesuai dengan saran – saran yang diberikan.

Kegiatan bulanan adalah suatu kegiatan yang dilakukan atau dilaksanakan pada setiap satu bulan sekali. Kegiatan bulanan ini memang harus dilakukan pada Gardu Induk Solok karena jika kegiatan rutin saja yang dilakukan, hasil yang di dapat kurang maksimal karena dilakukan secara manual. Agar hasil yang di dapat bias maksimal, maka dilakukanlah kegiatan bulanan. Kegiatan bulanan ini dilakukan dengan pemeriksaan alat alat yang ada di Gardu Induk Solok untuk menghindari kerusakan pada alat.

Dimana untuk kegiatan rutinnya adalah:

- *Check list* pagi, siang dan Sore
- Mengisi beban puncak harian

Untuk kegiatan bulanan yang dilakukan oleh penulis adalah:

- *Maintenance* di ruang baterai

Sedangkan untuk kegiatan darurat yaitu pada:

- Mengganti Pemisah (PMS) dan lightning arrester (LA) dengan keadaan tidak bertegangan

Selanjutnya yaitu penjelasan pada masing-masing kegiatan. Pertama yaitu kegiatan rutin.

Adapun kegiatan rutin yang pertama:

#### 1. Pengenalan Ruang Kontrol

Pada hari pertama melaksanakan kerja praktek penulis dibimbing langsung oleh Operator Gardu Induk Solok untuk mengenal apa saja yang ada di ruang kontrol. Ruang Kontrol adalah suatu ruangan yang di dalam-nya terdapat panel kontrol. Panel control adalah peralatan yang digunakan untuk mengontrol peralatan-peralatan pada Gardu Induk. Pada panel control Gardu Induk Solok terdapat sakelar operasi dari PMT, PMS, serta lampu indicator posisi sakelar dan diagram rel. Sakelar inilah yang menjadi *remote* dari peralatan tersebut.

#### 2. *Check List* Peralatan di *Switchyard*, kubikel, dan Feeder

*Check List* Peralatan ini dilakukan setiap pagi hari. *Check list* ini bertujuan untuk menjamin kontinuitas fungsi dari peralatan tersebut dan menjamin keandalan yang antara lain:

- Untuk meningkatkan *reability*, *availability* dan *efficiency*
- Untuk memperpanjang umur peralatan
- Mengurangi resiko terjadinya kegagalan atau kerusakan peralatan
- Meningkatkan *safety* peralatan
- Mengurangi lama waktu padam akibat sering terjadi gangguan

*Check list* merupakan salah satu kegiatan monitoring yang terjadi dilakukan dengan cara melihat, mencatat, meraba dan mendengar dalam keadaan operasi. Monitoring dilaksanakan oleh operator atau petugas patroli. *Check list* peralatan ini dilakukan setiap pagi (kecuali dalam waktu hujan dilakukan setelah hujan berhenti) mengapa demikian? karena jika dilakukan pada saat hari hujan, ditakutkan arus yang ada akan mudah menginduksi ke tubuh manusia, karena jika pada saat hujan *switchyard* akan basah dan dengan mudah menginduksi listrik .

Kegunaan dari ceklis pagi ini adalah untuk pengamanan agar peralatan yang rusak atau hampir rusak, peralatan yang menggunakan gas SF<sub>6</sub> seperti PMT agar tidak kekurangan gas, pada trafo agar minyak yang digunakan dalam keadaan normal dan tidak kurang dari ketetapan yang sudah ada. Sehingga peralatan yang kurang baik dapat di ganti sebelum terjadi kerusakan. Untuk melakukan *check list* pagi ini, semua *safety* harus digunakan sebelum masuk ke dalam *switchyard* dan melakukan *check list* pagi. *Check list* ini dimulai dari peralatan yang ada di dalam *switchyard* (jika tidak terjadi hujan). Selanjutnya pemeriksaan alat atau ceklis pagi ini pertama dilakukan pada arrester, lalu ke CT (*current transformer*), lalu ke PMT ( pemutus tenaga), lalu yang terakhir pada PMS (pemisah). Untuk pemeriksaan pada arrester ini yaitu jika terjadi perubahan angka pada arrester maka telah terjadi *trip* yg diakibatkan oleh petir.

Selanjutnya untuk pemeriksaan pada PMT, yang dilihat yaitu pada gas SF<sub>6</sub>. Gas SF<sub>6</sub> yang harus ada pada PMT berkisar antara 0,6 sampai 0,7. Jika melebihi dari batas yang sudah diberikan maka harus dilakukan pemeriksaan lebih lanjut, sedangkan jika kurang dari 0,6 maka gas SF<sub>6</sub> harus di isi ulang kembali sampai batas yang sudah ditentukan.

pemeriksaan selanjutnya yaitu pada sebuah trafo. Pada sebuah trafo yang harus di lihat setiap harinya yaitu apakah oli yang digunakan masih layak atau tidak, serta yang dilihat pada oli tersebut yaitu kurang atau tidak oli yang ada pada trafo tersebut. Selain itu yang di perhatikan pada trafo ini yaitu penggunaan kipas yang ada pada trafo. Jika trafo dalam keadaan baik, maka kipas pada trafo akan berputar ketika sebuah trafo sedang dioperasikan.

Selanjutnya pemeriksaan pada feeder. Ada dua feeder yang harus dilakukan pemeriksaan. Feeder yang di dalam ruangan dan yang diluar ruangan. Untuk pemeriksaan feeder ini dapat



dilihat dari perubahan angka. Angka tersebutlah yang menentukan berapa penggunaan beban yang di gunakan. Selanjutnya yaitu pemeriksaan *incoming*. *Incoming* yang diperiksa yaitu daerah Batu Palano, Muara Panas. Saok Laweh, Tanah Garam, Salayo, Sumani, F.5.Kota, Kayu Aro, Alahan Panjang. Kegiatan tersebutlah yang dilakukan selama ceklis pagi berlangsung.

### 3. Pencatatan beban tiap jam

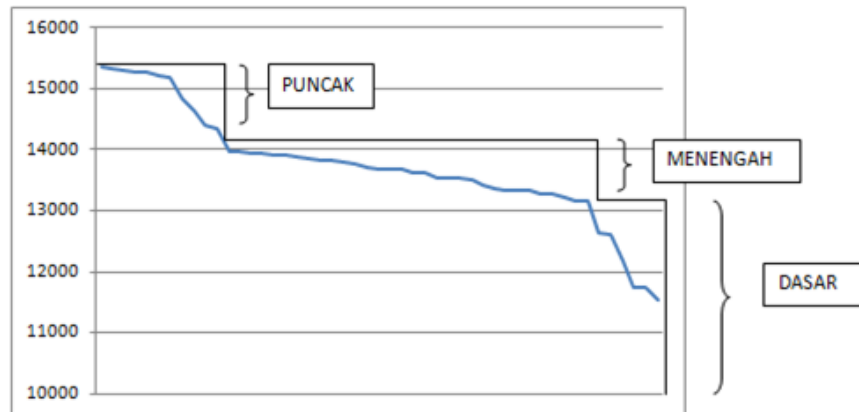
Pencatatan beban dilakukan tiap jam ini dilakukan untuk meramalkan pertumbuhan beban di masa datang. Pusat-pusat pembangkit yang tersedia harus dapat memenuhi kebutuhan beban yang berubah-ubah tersebut, terutama saat beban puncak yang berlangsung berjam-jam. Mengisi beban puncak ini juga termasuk kegiatan rutin yang harus dilakukan. Beban puncak itu sendiri adalah pemanasan listrik dari istilah yang digunakan tersebut maksudnya yaitu waktu untuk menunjukkan daya maksimum persyaratan sistem pada waktu tertentu. Fungsi dari dilakukannya pengecekan beban puncak setiap harinya yaitu:

1. Untuk mengetahui berapa banyak beban yang di salurkan setiap harinya kepada konsumen.
2. Fungsi lainnya yaitu untuk mengetahui berapa kW yang terjual kepada konsumen.
3. Memprediksi kurva beban

Dapat disimpulkan bahwa fungsi dari pengecekan beban puncak setiap harinya adalah mengetahui apakah daya yang dibangkitkan PLN seimbang dengan daya yang dibutuhkan oleh beban, pada prinsipnya jika daya yang dibangkitkan pembangkit lebih besar dari daya yang dibutuhkan oleh beban maka dapat mengakibatkan over frekuensi pada sistem, tetapi, jika daya yang dibangkitkan pembangkit lebih kecil dari daya yang dibutuhkan oleh beban maka dapat mengakibatkan under frekuensi pada system sehingga terjadi pemadaman atau *black out* sehingga menimbulkan kerugian yang cukup besar pada konsumen.

Selain itu, tujuan lain dari prediksi kurva beban adalah agar dapat mengatur jenis-jenis pembangkit yang akan dinyalakan/digunakan.

Kurva beban yang ada dapat dibagi menjadi tiga bagian: beban puncak, beban menengah, dan beban dasar. Pengelompokan beban inilah yang menyebabkan perlunya diatur jenis-jenis pembangkit yang perlu dinyalakan.



**Gambar 4.27** Pembagian Kurva Beban

Misalnya, untuk beban dasar (*base load*), pembangkit yang digunakan adalah pembangkit yang biaya bahan bakarnya murah dan *starting* operasinya lama (waktu penyalan pembangkit sampai dapat memproduksi listrik). Karenanya, pembangkit yang digunakan untuk jenis beban ini adalah PLTU dengan bahan bakar batu bara. Untuk beban puncak, pembangkit yang digunakan adalah pembangkit yang *starting* operasinya cepat. Maksudnya, saat dibutuhkan tambahan pasokan daya, pembangkit dapat langsung menyuplai tambahan daya tersebut. Jenis pembangkit yang sesuai untuk beban ini misalnya PLTD dan PLTG.

Untuk waktu pada beban puncak terbagi menjadi 2 bagian yaitu:

1. Pada waktu siang hari.

Pada siang hari, untuk mencatat beban puncak yang digunakan dari masing masing *incoming* yaitu pada pukul 09.00 sampai dengan pukul 15.00.

2. Pada waktu malam hari

Pada waktu malam hari, beban puncaknya terjadi dari pukul 17.00 sampai dengan pukul 22.00

Dari pemakaian beban puncak yang sudah disebutkan diatas, beban puncak terbesar terjadi pada malam hari. Perbedaan beban akan menjadikan system tidak beroperasi optimal walaupun perbedaannya tidak terlalu besar, karena untuk melayani beban pada waktu beban puncak, PLN harus menyediakan pembangkit lebih dari 18.500MW, sedangkan pada tengah malam hingga pagi hari tidak semua pembangkit terpakai secara optimal, dan karenanya efisiensinya menjadi rendah.

4. Pemeliharaan di ruang baterai

Ruang baterai terletak di sebelah ruang kontrol. Baterai ini berfungsi sebagai sumber DC di Gardu Induk. Pemeliharaan yang dilakukan adalah membersihkan dari debu atau kotoran,

melihat terminal dan konektor kabel, memeriksa jumlah elektrolit dan pengukuran tegangan. Pengukuran tegangan Baterai Starting ini perlu dilaksanakan satu minggu sekali pada saat pemeliharaan Mingguan. Baterai yang dipakai pada umumnya Baterai alkali. Setiap sel Baterai tidak boleh memiliki tegangan yang kurang dari 1,4 Volt. Adapun tujuan pengukuran tegangan ini adalah :

- Untuk mengetahui tegangan jepit baterai *Starting* sehingga kondisi baterai selalu siap dipergunakan untuk menghidupkan mesin Genset bila sewaktu-waktu dibutuhkan.
- Mengetahui kondisi *automatic charger*.

#### Cara Pelaksanaan

Periksa terminal baterai kemudian bersihkan terminal tersebut dengan air hangat, karena Kondisi terminal yang kotor dan korosi akan mengakibatkan tahanan sambungan terminal tinggi. Kemudian setelah selesai pemeliharaan lanjutkan dengan pengukuran tegangan baterai. Ukur tegangan jepit baterai untuk masing-masing individu baterai.

## BAB V

### PENUTUP

Kesimpulan yang diperoleh selama melakukan pengalaman lapangan industri di Gardu Induk Solok 150 kV adalah

1. *Power Supply* utama Gardu Induk meliputi :
  - a) Tegangan AC berasal dari: genset, trafo pemakaian sendiri
  - b) Tegangan DC, berasal dari rectifier, baterai
2. Sistem trafo pemakaian sendiri, dalam fungsinya juga memerlukan rangkaian pemakaian sendiri dan pasokan trafo PS (Pemakaian Sendiri) sebagai sumber tenaga pasokan listrik ada di Gardu Induk Solok 150 kV.
3. Jumlah pasokan catudaya untuk kebutuhan pemakaian sendiri diperoleh dari 1 sumber, pada sisi primer 20 kV. Jumlah trafo PS terpasang akan sangat tergantung dari desain awal pada Gardu Induk tersebut, misalnya terpasang satu atau dua trafo PS. Pertimbangan terpasang dua trafo PS adalah untuk lebih meningkatkan keandalan, artinya bila salah satu trafo terganggu maka dapat memindahkan pasokan ke trafo cadangan.
4. Pengoperasian trafo pemakaian sendiri di Gardu Induk umumnya dipasok dari trafo distribusi 150/20 kV atau 70/ 20 kV.
5. Pemasangan trafo pemakaian sendiri lokasi pemasangan tergantung dari desain Gardu Induk pada awal pembangunan antara lain pemasangan dalam gedung kontrol (*Indoor*) dan pasangan luar gedung kontrol (*Outdoor*).
6. Besarnya Kapasitas daya terpasang (kVA) trafo pemakaian sendiri biasanya diperhitungkan dengan besarnya beban dan melihat perkembangan atau perluasan pada Gardu Induk tersebut. Umumnya Kapasitas trafo pemakaian sendiri adalah 100 – 800kVA. Pengaturan tegangan diatur sesuai dengan tegangan kerja peralatan. Kapasitas dari trafo pemakaian sendiri ditentukan dengan memperhatikan factor diversitas (*diversity*) yaitu perbandingan antara jumlah kebutuhan (*demand*) maksimum setiap bagian sistem dan kebutuhan maksimum seluruh sistem diperlukan system pendingin untuk mengurangi panas sebagai akibat kenaikan suhu yang berlebihan.
7. Genset diperlukan sekali untuk keadaan darurat, apabila penyediaan listrik utama terganggu, misalnya suplai dari trafo PS (pemakaian sendiri) mengalami kerusakan, pemeliharaan, maupun kondisi system *Black-Out*, sehingga *Generator set* dapat menggantikan penyediaan daya listrik untuk keperluan seperti mensuplai *baterai*

*charger*, penerangan untuk ruangan operator, penggerak kipas pendingin transformator, penggerak motor kompresor PMT dan sebagainya.

8. Sistem *change over switch* adalah otomatisasi perpindahan beban yang saling mengunci (*interlock*) satu sama lain antara suplai trafo pemakain sendiri dan suplai cadangan/Genset.
9. Baterai yang terpasang pada Gardu Induk Solok 150 kV mempunyai 2 spesifikasi output tegangan yang berbeda, yaitu dengan output tegangan sebesar 110 Volt DC dan 48 Volt DC.
10. Baterai dengan output 110 Volt DC digunakan untuk menjalankan motor-motor yang berada pada PMT, PMS dan untuk penerangan saat keadaan darurat. Baterai output 48 Volt DC digunakan untuk menyuplai tenaga untuk system komunikasi PLC dan SCADA.
11. Mode Operasi Pengisian pada Rectifier/*Charger*
  - *Floating Charge* .
  - *Equalizing Charge*
  - *Boosting Charge*
12. Jenis-jenis pemeliharaan peralatan adalah sebagai berikut :
  - *Predictive Maintenance (Conditional Maintenance)*
  - *Preventive Maintenance (Time Base Maintenance)*
  - *Corrective Maintenance*
  - *Breakdown Maintenance*

## 5.2 Saran

- 1) Bagi mahasiswa yang melakukan kerja praktek diharapkan dapat memanfaatkan kesempatan belajar di lapangan dengan sebaik-baiknya.
- 2) Untuk mempertahankan kondisi peralatan-peralatan maka harus dilakukan pemeliharaan dan pemeriksaan berkala serta perencanaan yang baik sebelum melakukan kegiatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. T. P. L. N. Persero, “Buku pedoman pemeliharaan transformator tenaga,” no. 0520, pp. 2–3, 2014.
- [2] P. (PLN) (Persero), “Buku pedoman pemeliharaan pemutus tenaga (PMT),” no. 0520, pp. 2–3, 2014.
- [3] P. (PLN) (Persero), “Buku pedoman pemeliharaan pemisah (PMS),” no. 0520, pp. 2–3, 2014.
- [4] P. (PLN) (Persero), “Buku pedoman pemeliharaan transformator arus,” no. 0520, pp. 2–3, 2014.
- [5] P. (PLN) (Persero), “Buku pedoman pemeliharaan transformator tegangan,” no. 0520, pp. 3–4, 2014.
- [6] PT. PLN(PERSERO), “Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning Arrester,” no. 0520, p. 76, 2014.
- [7] PT PLN(Persero), “Buku Pedoman Pemeliharaan Kubikel Tegangan Menengah,” no. 0520, p. 87, 2010.
- [8] PLN, “Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Transformator,” no. 0520, pp. 3–4, 2014.
- [9] I. K. V Jajar and P. Ilmiah, “Instalasi Sistem Trafo Pemakaian Sendiri Di Gardu,” 2017.
- [10] D. Cecep Mauludin, Suganhi, Ika Sudarmaja, “Sistem Supply AC/DC,” *Pedoman Pemeliharaan Sist. Supplu AC/DC*, 2014.



## LAMPIRAN







