

**LAPORAN KERJA PRAKTEK**

**ANALISA SISTEM PROTEKSI PENYULANG GAMBUS 20kV**

**DENGAN SEPAM SERI 40 PADA PLTU BATURAJA**

**PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY**



Oleh :  
Attar Al Mufashal Rasyid  
I0717007

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SEBELAS MARET**

**2020**

# **LAPORAN KERJA PRAKTEK**

## **ANALISA SISTEM PROTEKSI PENYULANG GAMBUS 20kV DENGAN SEPAM SERI 40 PADA PLTU BATURAJA PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan kelulusan  
Mata Kuliah Kerja Praktek



Oleh :  
Attar Al Mufashal Rasyid  
I0717007

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
2020**

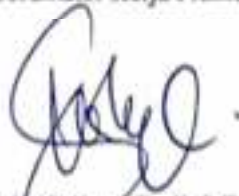
## HALAMAN PENGESAHAN

### ANALISA SISTEM PROTEKSI PENYULANG GAMBUS 20kV DENGAN SEPAM SERI 40 PADA PLTU BATURAJA DI PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY

Oleh:

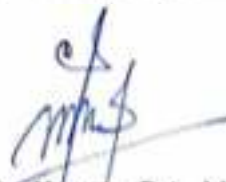
Attar Al Mufashal Rasyid  
10717007

Koordinator Kerja Praktek



Jaka Sulistya Budi, S.T.  
NIP. 196710191999031001

Pembimbing Kerja Praktek



Chico Hermanu B.A., M.Eng.  
NIP. 198804162015041002

Kepala Program Studi  
Teknik Elektro



Feri Adriyanto, Ph.D.  
NIP. 196801161999031001

**HALAMAN PENGESAHAN  
LAPORAN KERJA PRAKTIK  
PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY**

**ANALISA SISTEM PROTEKSI PENYULANG GAMBUS 20kV DENGAN  
SEPAM SERI 40 PADA PLTU BATURAJA  
PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY**

Disusun oleh :

Nama	: Attar Al Mufashal Rasyid
Nomor Induk Mahasiswa	: I0717007
Jurusan	: Teknik Elektro
PT/ Sekolah	: Universitas Sebelas Maret
Waktu Kerja Praktik	: 20 Januari s.d 20 Februari 2020

Telah Diperiksa pada tanggal :

15 Februari 2020

Mengetahui,

Pembimbing I



(ARIS AFRIYADI)

General Affair

Pembimbing II



(EDI RUDIANTO)

Supervisor Elektrik

Pembimbing III



(AGUS WIJAYA)

Foreman Elektrik

Menyetujui,



(NURJAYA)

Superintendent Maintenance



(MUJI WIDODO, S.H.)

Manager HRD & GA

**ABSTRAK**  
**ANALISA SISTEM PROTEKSI PENYULANG GAMBUS 20kV DENGAN**  
**SEPAM SERI 40 PADA AREA PLTU BATURAJA**

Attar Al Mufashal Rasyid

Sistem distribusi dapat dikatakan sebagai penyulang yang mana besar distribusi yang disalurkan sebesar 20 kV untuk "PT.BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY". Pada sistem distribusi 20 kV terdapat adanya sistem proteksi dimana merupakan sistem yang memisahkan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lain dapat terus beroperasi dengan cara mendeteksi adanya gangguan atau kondisi *abnormal* pada bagian sistem yang diamankan, melepaskan bagian sistem yang terganggu dan memberikan indikasi adanya gangguan. Sistem proteksi yang ada pada penyulang terdiri dari proteksi pada tegangan yang mana dibagi menjadi 2 yaitu *overvoltage* dan *undervoltage*, arus untuk *overcurrent* saja, frekuensi yang mana dibagi menjadi 2 yaitu *overfrequency* dan *underfrequency*.

Sepam seri 40 merupakan salah satu rele proteksi yang digunakan pada penyulang di area Gambus. Gangguan yang mungkin terjadi pada penyulang diantaranya *overload* dan *overcurrent* yang mana disebabkan adanya hubung singkat atau beban yang ada melebihi dari pengaturan yang telah diatur dalam Sepam. Dari gangguan tersebut maka perlu dilakukan analisa pengaturan terhadap pembacaan CT yang digunakan dimana untuk masalah *overload* dan *overcurrent* lebih menitikberatkan pada arus, maka dari itu saya selaku penulis melakukan Analisa terhadap penyulang pada area Gambus.

**Kata Kunci:** Distribusi, Proteksi, Sepam, Gangguan, *Overload*, *Overcurrent*.

The distribution system can be said as a feeder in which the distribution amount is 20 kV for "PT.BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY". In the 20 kV distribution system, there is a protection system which is a system that separates disturbed parts of the system so that other parts of the system can continue to operate by detecting any disturbance or abnormal conditions in the secured system, releasing disturbed parts of the system and giving an indication of interference. Existing protection system in feeder consists of protection at voltage which is divided into 2 namely *overvoltage* and *undervoltage*, current for *overcurrent*, which frequency is divided into 2 namely *overfrequency* and *underfrequency*.

Sepam series 40 is one of the protection relays used in feeders in the Gambus area. Disturbances that may occur in feeders include *overload* and *overcurrent* which are caused by a short circuit or the load that exceeds the settings set in Sepam. From this disturbance, it is necessary to do a regulatory analysis of the CT readings which are used where for *overload* and *overcurrent* problems, the focus is more on the current, therefore I as the writer do the analysis of the feeder in the Gambus area.

**Keyword:** Distribution, Protection, Sepam, Interference, *Overload*, *Overcurrent*

## KATA PENGANTAR

Dengan rasa syukur kehadiran Allah Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, akhirnya Penulis dapat menyelesaikan kegiatan Kerja Praktik (KP) dan membuat laporan kegiatan KP. Laporan KP Penulis berjudul “Sistem Proteksi 20 kV di PT.BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY”.

Penulis menyadari bahwa terlaksananya kegiatan KP dan penulisan Laporan KP ini dapat diselesaikan berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang terhormat:

1. Allah SWT yang tidak henti – hentinya memperlihatkan keajaibannya pada penulis selama melaksanakan kerja lapangan.
2. Kedua orang tua yang sampai sekarang tidak pernah bosan berdoa untuk masa depan penulis
3. Bapak Dr.Tech.Ir.Sholihin As’ad, MT, selaku Kepala Dekan Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
4. Bapak Feri Adriyanto, Ph.D., selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
5. Bapak Chico Hermanu Brillianto Apribowo S.T., M.Eng., sebagai Pembimbing Kerja Praktek
6. Dosen – dosen Teknik Elektro UNS yang telah memberikan ilmunya untuk penulis selama menempuh studi
7. Bapak Muji Widodo sebagai General Manager PT.Bakti Nugraha Yuda Energy yang telah mengizinkan penulis untuk menimba ilmu dan pengalaman ini
8. Bapak Agus Wijaya yang telah membimbing penulis selama melaksanakan kerja praktek
9. Bapak dan mas teknisi dari Bapak Rusli, Bapak Yanuar Eka Putra, Bapak Rahmat Dedi Marwansyah dan Bapak Agung Dwi Rahmadi
10. Seluruh staff dan karyawan PT.Bakti Nugraha Yuda Energy yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu

Terima kasih atas segala bantuannya untuk semua individu yang telah membantu penulis, yang tidak sanggup penulis sebutkan satu persatu. Penulis

menyadari kekurangannya yang tidak akan pernah habis termasuk dalam penulisan laporan ini, sehingga diharapkan adanya saran maupun kritik untuk membangun penulis kedepannya. Akhir kata terima kasih dan semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi siapapun yang dapat mengambil sisi baiknya.

Baturaja, 29 Februari 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Perumusan Masalah.....	2
1.3    Tujuan Penulisan Laporan.....	3
1.4    Waktu dan Lokasi Praktik Kerja Industri.....	3
1.5    Tujuan Kerja Praktik .....	3
1.6    Metode Pengambilan Data .....	4
1.7    Sistematika Penulisan Laporan .....	4
BAB II PROFIL PERUSAHAAN .....	5
BAB III DASAR TEORI .....	10
3.1    Pembangkit Listrik Tenaga Uap.....	10
3.1.1    Pengertian.....	10
3.1.2    Air .....	10
3.1.3    Batubara .....	17
3.1.4    Uap.....	23
3.1.5    Prinsip kerja PLTU .....	30
3.1.6    Siklus Termodinamika .....	32
3.2    Distribusi 20 kV .....	35
3.3    Generator Sinkron 3 Fasa .....	36
3.4    Transformator .....	42
3.5    Rele Proteksi.....	43
3.6    Sepam seri 40 .....	44
3.6.1    Spesifikasi .....	44
3.6.2    Diskripsi Pengukuran dan Diagnosis .....	45
3.6.3    Sistem Proteksi.....	48
BAB IV PEMBAHASAN.....	56
4.1.    Tranformator <i>Step Up</i> ONAF.....	56
4.2.    Sepam Tipe T <i>Series</i> 40.....	59



4.2.1.    Cara Kerja dari Sepam seri 40 .....	59
4.2.2.    Sistem Proteksi.....	62
BAB V PENUTUP.....	74
5.1.    Kesimpulan.....	74
5.2.    Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA .....	76
LAMPIRAN.....	77

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema PLTU Baturaja .....	5
Gambar 2. 2 Struktur Organisasi.....	5
Gambar 2. 3 Logo Perusahaan .....	6
Gambar 3. 1 <i>Water Pond</i> .....	10
Gambar 3. 2 <i>Water Treatment Plant</i> .....	11
Gambar 3. 3 Bak Penampung Lumpur.....	12
Gambar 3. 4 <i>Reservoir</i> .....	12
Gambar 3. 5 <i>Cooling Tower</i> .....	13
Gambar 3. 6 Kondensor .....	13
Gambar 3. 7 <i>Demineral</i> .....	14
Gambar 3. 8 Membran <i>Holofiber</i> .....	14
Gambar 3. 9 <i>Dosing Pump</i> .....	15
Gambar 3. 10 <i>Reverse Osmosis I</i> .....	15
Gambar 3. 11 <i>Reverse Osmosis II</i> .....	16
Gambar 3. 12 <i>Mixedbed</i> .....	16
Gambar 3. 13 <i>Demin Tank</i> .....	17
Gambar 3. 14 <i>Dry Coal Storage</i> .....	18
Gambar 3. 15 <i>Crusher</i> .....	18
Gambar 3. 16 <i>Primary Air Fan</i> .....	19
Gambar 3. 17 <i>Secondary Air Fan</i> .....	20
Gambar 3. 18 <i>Slag Silo</i> .....	20
Gambar 3. 19 <i>Ash Silo</i> .....	21
Gambar 3. 20 <i>Electrostatic Precipitation</i> .....	21
Gambar 3. 21 <i>Vessel Tank</i> .....	21
Gambar 3. 23 <i>Chimney</i> Gambar 3. 24 <i>Induced Draft Fan</i> .....	23
Gambar 3. 25 Sistem Scada Aliran Air .....	23
Gambar 3. 26 <i>Feed Water Pump</i> .....	24
Gambar 3. 27 <i>Steam Drum</i> .....	25
Gambar 3. 28 <i>Steam Blow &amp; Safety Valve</i> .....	25
Gambar 3. 29 505.....	26
Gambar 3. 30 Grafik Hubungan Tekanan dengan Arus.....	27
Gambar 3. 31 Kondensor .....	29
Gambar 3. 32 Proses Konversi Energi PLTU .....	30
Gambar 3. 33 Siklus Fluida Kerja Sederhana pada PLTU.....	31
Gambar 3. 34 Siklus Rankine Ideal.....	33
Gambar 3. 35 Siklus Rankin Sederhana.....	34
Gambar 3. 36 <i>Line Diagram</i> PLTU Baturaja.....	35
Gambar 3. 37 Sistem Scada pada Penyulang.....	36
Gambar 3. 38 <i>Power Trending</i> Gambar 3. 39 <i>Current Trending</i> .....	36
Gambar 3. 40 <i>Nameplate</i> Generator.....	37
Gambar 3. 41 Sistem Proteksi Rele.....	44
Gambar 3. 42 Spesifikasi dari Sepam seri 40 .....	45
Gambar 3. 43 <i>Monitor Jaringan Trip</i> .....	48

Gambar 3. 44 Hubungan Arus dengan <i>Time Delay</i> .....	49
Gambar 3. 45 Hubungan Arus dengan <i>Time Delay</i> .....	49
Gambar 3. 46 Pengaturan Is .....	50
Gambar 3. 47 <i>Block Diagram</i> .....	50
Gambar 3. 48 Karakteristik dalam Pengaturan <i>Overcurrent</i> .....	50
Gambar 3. 49 Karakteristik dalam Pengaturan <i>Earth Fault</i> .....	52
Gambar 3. 50 <i>Block Diagram</i> .....	53
Gambar 3. 51 Karakteristik <i>Undervoltage</i> .....	53
Gambar 3. 52 <i>Block Diagram</i> .....	54
Gambar 3. 53 Karakteristik <i>Temperature Monitoring</i> .....	55
Gambar 3. 54 <i>Block Diagram</i> .....	55
Gambar 4. 1 Transformator <i>Step Up</i> ONAF .....	56
Gambar 4. 2 <i>Prototype</i> Sistem Proteksi Sepam seri 40 .....	59
Gambar 4. 3 <i>Schematic Diagram</i> .....	60
Gambar 4. 4 <i>Voltage Vacuum Circuit Breaker</i> .....	61
Gambar 4. 5 <i>Interrupter</i> VVCB .....	61
Gambar 4. 6 <i>Interface</i> Sepam seri 40 .....	62
Gambar 4. 7 <i>Flowchart</i> Alur Pengoperasian Sepam.....	63
Gambar 4. 8 Penyulang saat keadaan beban siang hari .....	68
Gambar 4. 9 Penyulang saat keadaan beban penuh .....	69
Gambar 4. 10 Karakteristik <i>Overcurrent Phase Fault</i> .....	71
Gambar 4. 11 Karakteristik <i>Overcurrent Earth Fault</i> .....	72

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 <i>Demin Tank</i> .....	17
Tabel 3. 2 Hubungan Lebar, Arus dan Tekanan .....	27
Tabel 3. 3 <i>Setting Point 505</i> .....	28
Tabel 3. 4 Jumlah <i>Pole</i> terhadap Frekuensi .....	37

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok masyarakat yang sangat penting dan sebagai sumber daya ekonomis yang paling utama yang dibutuhkan dalam suatu kegiatan usaha. Kebutuhan listrik akan meningkat seiring dengan adanya peningkatan dan perkembangan baik dari jumlah penduduk, jumlah investasi yang semakin meningkat akan memunculkan berbagai industri-industri baru. Penggunaan listrik merupakan salah satu faktor utama dalam kehidupan masyarakat, baik pada sektor rumah tangga, industri dan lain sebagainya.

Seiring dengan perkembangan dan kemajuan teknologi, pembangunan teknologi industri berkaitan erat dengan tenaga listrik yang merupakan salah satu faktor yang penting yang sangat mendukung perkembangan pembangunan khususnya sektor industri, dalam kehidupan *modern* tenaga listrik merupakan unsur mutlak untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat oleh karena itu energi listrik merupakan tolak ukur kemajuan masyarakat.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) atau pusat listrik tenaga uap adalah pembangkit listrik yang menggunakan uap sebagai fluida kerjanya untuk memutar turbin. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang dihubungkan pada turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap kering.

Berikut jumlah kapasitas pembangkit eksisting dan gardu induk di daerah Provinsi Sumatera Selatan menurut data Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT Perusahaan Listrik Negara (PERSERO) Tahun 2018 S.D. 2027. Jumlah kapasitas pembangkit sebesar 2190 MW, untuk jumlah kapasitas trafo gardu induk sebesar 1896 MVA dengan jumlah trafo 48 unit.

Dalam suatu pembangkit tidak akan lepas dari namanya sistem distribusi yang mana merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik. Fungsi utama dari sistem distribusi digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber listrik besar atau bisa dikatakan *Bulk Power Source* sampai ke konsumen atau

bisa dikatakan beban listrik. Beban listrik bisa dikatakan sesuatu yang harus “dipikul” oleh suatu pembangkit listrik.

Sistem distribusi dapat dikatakan sebagai penyulang yang mana besar distribusi yang disalurkan sebesar 20 kV untuk “PT.BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY”. Pada sistem distribusi 20 Kv terdapat adanya sistem proteksi yang mana merupakan sistem yang memisahkan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lain dapat terus beroperasi dengan cara mendeteksi adanya gangguan atau kondisi abnormal lainnya pada bagian sistem yang diamankan, melepaskan bagian sistem yang terganggu dan memberikan indikasi adanya gangguan.

Sistem proteksi yang ada pada penyulang terdiri dari proteksi pada tegangan yang mana dibagi menjadi 2 yaitu *overvoltage* dan *undervoltage*, arus untuk *overcurrent* saja, frekuensi yang mana dibagi menjadi 2 yaitu *overfrequency* dan *underfrequency*.

Sepam merupakan rele proteksi digital terbaru dari generasi yang dimulai sejak 15 tahun yang lalu oleh Schneider Electric. Sepam seri 40 merupakan salah satu rele proteksi yang digunakan pada penyulang di area Gambus. Gangguan yang mungkin terjadi pada penyulang diantaranya *overload* dan *overcurrent* yang mana disebabkan adanya hubung singkat atau beban yang ada melebihi dari pengaturan yang telah diatur dalam Sepam.

Dari gangguan tersebut maka perlu dilakukan analisa pengaturan terhadap pembacaan CT yang digunakan dimana untuk masalah *overload* dan *overcurrent* lebih menitikberatkan pada arus, maka dari itu saya selaku penulis melakukan Analisa terhadap penyulang pada area Gambus dengan judul **“ANALISA SISTEM PROTEKSI PENYULANG GAMBUS 20kV DENGAN SEPAM SERI 40 PLTU BATURAJA”**

## **1.2 Perumusan Masalah**

Perumusan masalah yang dapat disimpulkan oleh penulis dari latar belakang di atas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah cara kerja VVCB yang menjadi salah satu sistem proteksi pada 20 kV ?

2. Bagaimanakah nilai parameter sepam series-40 ?
3. Bagaimanakah peranan sepam-40 terhadap sistem proteksi yang ada pada penyulang ?

### 1.3 Tujuan Penulisan Laporan

Tujuan penulisan laporan ini adalah sebagai bukti bahwa penulis telah melaksanakan Kerja Praktik (KP) sesuai dengan aturan yang ada serta menambah wawasan penulis akan rele proteksi yang digunakan pada Sepam seri 40 yang mana salah satu diantaranya diperuntukkan untuk *overcurrent* dan *overload* yang diakibatkan terjadinya kelebihan pembebanan untuk *overload* dan hubung singkat untuk *overcurrent* agar dapat bermanfaat untuk kedepannya.

### 1.4 Waktu dan Lokasi Praktik Kerja Industri

Waktu dan lokasi Kerja Praktik (KP) yang dilakukan oleh penulis adalah sebagai berikut:

Waktu : 20 Januari hingga 20 Februari 2020, pukul 08.00 WIB hingga 16.30 WIB

Lokasi : PT. Bakti Nugraha Yuda Energy, beralamat di Terusan, Kec. Baturaja Timur, Kabupaten Ogan Komering Ulu, Sumatera Selatan 32121.

Kerja Praktik (KP) dilaksanakan sesuai dengan kegiatan rutin bagian Distribusi 20 kV.

### 1.5 Tujuan Kerja Praktik

Tujuan kerja praktik bagi praktikan menurut penulis adalah sebagai berikut:

- Praktikan dapat mempelajari berbagai macam hal untuk menambah pengetahuan dan pengalaman
- Praktikan dapat menerapkan ilmu yang telah dipelajari dalam bangku universitas
- Praktikan dapat merasakan suasana kerja secara langsung
- Praktikan dapat menambah hubungan dengan praktikan lain maupun dengan

- perusahaan

## 1.6 Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data yang dilakukan penulis selama Kerja Praktik (KP) adalah sebagai berikut:

- Melakukan observasi lapangan sesuai dengan situasi yang ada
- Melakukan *interview* secara langsung kepada teknisi lapangan
- Mempelajari literatur melalui buku maupun *internet*

## 1.7 Sistematika Penulisan Laporan

Sistematika penulisan laporan yang dibuat oleh penulis adalah sebagai berikut:

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Berisi tentang Latar Belakang Masalah, Perumusan Masalah, Tujuan Penulisan Laporan, Waktu dan Lokasi Praktik Kerja Lapangan, Tujuan Kerja Praktik, Metode Pengambilan Data dan Sistematika Penulisan Laporan.

### **BAB II : TINJAUAN UMUM PERUSAHAAN**

Berisi tentang Sejarah, Visi, Misi, Motto, Makna dan Bentuk Logo serta Nilai Perusahaan dari PT Bakti Nugraha Yuda Energy juga seputar Unit Pembangkitan Semarang.

### **BAB III : DASAR TEORI**

Berisi tentang penjelasan seputar objek pembahasan Praktek Kerja Lapangan mulai dari PLTU secara umum serta penjelasan Sistem proteksi pada *relay* dan motor juga peralatan yang termasuk di dalamnya.

### **BAB IV : PEMBAHASAN**

Berisi tentang pembahasan dari Praktik Kerja Lapangan dan data yang didapatkan dari lapangan serta analisa data untuk mendapatkan penyelesaian dari perumusan masalah yang didapat.

### **BAB V : PENUTUP**

Berisi tentang kesimpulan yang telah didapat dari analisa data Praktik Kerja Lapangan serta saran untuk perusahaan, sekolah dan juga praktikan.



## BAB II

### PROFIL PERUSAHAAN

#### 2.1. Sejarah PT. Bakti Nugraha Yuda Energy

Kesejahteraan masyarakat merupakan salah satu hal yang penting dalam hidup berkemanusiaan salah satu upaya untuk mendorong kegiatan pertumbuhan perekonomian dan meningkatkan kesejahteraan di daerah perkotaan dan pedesaan tidak lepas dari kebutuhan ketenagalistrikan. Asal dari listrik berasal dari sistem pembangkit tenaga listrik salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga uap.



Gambar 2. 1 Skema PLTU Baturaja

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Dengan adanya PT BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY yang didirikan sejak tahun 2009 yang merupakan anak perusahaan dari PT MANGGALA GITA KARYA yang berada di Jakarta. Berikut profil dari PLTU Baturaja:



Gambar 2. 2 Struktur Organisasi

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

PLTU Baturaja mulai menghasilkan listrik tanggal 18 Januari 2014, dikenal dengan istilah *Commercial Operation Date* (COD). PLTU Baturaja mempunyai kapasitas bersih 2 x 10 MW dan disalurkan hanya untuk daerah Baturaja, Oku. Adapun kebutuhan OKU sendiri sekitar 90 MW pada saat beban puncak. Jadi, dengan adanya kehadiran PLTU ini dapat bermanfaat untuk masyarakat Oku.

PLTU Baturaja adalah perusahaan yang baru dirintis dan dibangun dengan landasan yang kokoh dan dinamis untuk berkembang menjadi perusahaan energi yang besar di masa depan. Perusahaan ini tumbuh dengan semangat kebersamaan untuk menjadi yang terdepan dalam menangkap peluang peningkatan kebutuhan energi global di masa mendatang. Dengan kerjasama yang kuat, PLTU Baturaja senantiasa berupaya secara sistematis untuk mengasah kompetensi di bidang pembangkitan tenaga listrik dan juga pengelolaan batu bara agar optimal dalam pemanfaat sumber daya energi yang ada.



Gambar 2. 3 Logo Perusahaan

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

## 2.2. Latar Belakang

Pembangunan pembangkit ini dikarenakan kurangnya suplai energi listrik yang ada di daerah Ogan Ilir, baturaja. Sementara itu batubara sebagai salah satu bahan bakar pembangkit listrik cukup melimpah di daerah Kabupaten Ogan Komering Ulu, Sumatera Selatan. Dengan adanya peletakan batu pertama pada

tanggal 7 mei 2011 oleh bupati ogan komering ulu pada saat itu maka dimulailah proyek pembangunan dengan nama PLTU mulut tambang Baturaja dengan kapasitas terpasang 2x10 MW net yang merupakan pembangkit listrik tenaga uap pertama di Ogan Komering Ulu yang menjalankan kegiatan usahanya dengan wawasan lingkungan

### **2.3.Keunggulan dan Visi Misi**

Memaksimalkan suplai tenaga listrik ke PT PLN PESERO dengan kesepakatan bersama pltu baturaja mensuplai energi listrik ke PT PLN PESERO minimum sebesar 80% dari kapasitas terpasang sehingga prestasi setiap bulannya terus meningkat

#### **Visi**

- *Export energy* listrik ke pln minimal 80%
- Tidak adanya kecelakaan

#### **Misi**

- Membantu pemerintah dalam memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat
- Meningkatkan kesejahteraan karyawan

Perlu disadari keunggulan pencapaian target diraih dengan tidaklah mudah, pastinya diperlukan dukungan sistem kerja produksi yang sangat baik antara lain:

#### **1. Sistem operasional**

- Adanya bagian kerja penyuplai batu bara yang disebut *coal handling* yang bertugas mengawasi dan mengontrol jalannya batu bara sehingga dapat menghasilkan batubara yang sesuai dengan kebutuhan produksi. Penyediaan batubara yang disuplai merupakan hasil perusahaan batu bara yang merupakan anak perusahaan dari PT.MANGGALA GITA KARYA.
- PLTU Baturaja juga memiliki bagian unit kerja pengolahan air baku yang bertugas mengontrol dan mengidentifikasi kandungan air yang digunakan sehingga dapat menghasilkan air yang sesuai dengan kebutuhan pembakaran yang terbaik. Dalam hal ini pltu baturaja melakukan upaya

*pollution prevention* dengan cara membuat kolam pengendapan di area buangan air limbah yang telah melakukan treatment penjernihan air terlebih dahulu sesuai dengan standar kajian air bersih dan peraturan perundang undangan yang berlaku

- Adanya bagian kerja yang memonitor produksi yang mengkonversi uap menjadi listrik yang dinamakan *Main Power Building* yang bertugas untuk mengawasi dan mengontrol jalannya produksi sehingga dapat menghasilkan produksi yang maksimal. Peran *Main Power Building* (MPB) sangatlah vital di dunia pembangkit listrik karena merupakan bagian yang mengontrol aktifitas yang terjadi di semua pembangkit listrik

## 2. Sistem *maintenance*

Yang bertugas untuk membantu perawatan dan perbaikan mesin-mesin PLTU dengan sistem kerja yang preventif dan kooperatif sehingga proses produksi dapat berjalan secara maksimal

- *Mecanic Breakdown Unit*

Aktifitas yang dijalankan oleh unit ini adalah untuk mengetahui unit yang ready for unit dan unit yang mengalami kerusakan sehingga dapat segera diatasi

- *Mecanic Electrical Unit*

Memegang peranan penting dalam instalasi listrik yang terdapat dalam seluruh mesin pembangkit, dengan adanya unit kerja ini semua gangguan semua sistem produksi yang disebabkan oleh kerusakan oleh instalasi listrik dapat segera diselesaikan serta dengan adanya unit ini dapat mengurangi terjadi kebakaran yang disebabkan oleh gesekan instalasi2 listrik

## 3. *Logistic Warehouse* (Unit Kerja Pendukung Produksi)

Merupakan unit kerja proses rantai suplai dari titik awal hingga titik produksi, dimulai dari penganggaran, pengadaan, penyimpanan dan penyaluran hingga pengendalian dilakukan secara efektif dan efisien sehingga semua keperluan yang dibutuhkan untuk mencapai target produksi dapat terpenuhi secara maksimal

## 4. *Health Safety Environment* (Keselamatan dan Kerja Karyawan)

Mengawasi dan mengontrol perlengkapan *safety* kerja karyawan yang

dinamakan *Health Safety Environment* atau disebut juga dengan HSE. Penerapan dan pengawasan kerja karyawan merupakan prioritas utama dari unit kerja ini. Antisipasi kecelakaan kerja karyawan merupakan penilaian resiko dan kontrol pada kegiatan situs kerja karyawan dimana adanya 3 hal sistem kerja yang dilakukan oleh unit kerja ini. Unit ini juga terdapat unit pertolongan pertama terhadap kecelakaan atau kesehatan karyawan dan juga merupakan 3 hal penting yang dijadikan visi dan misi unit kerja ini yaitu

- Upaya penanganan gawat darurat dan situasi *emergency*
- Upaya pencegahan penyakit dan penyuluhan kesehatan
- Pusat informasi kesehatan perusahaan

#### 5. *Human Resource Department (HRD)*

Pengelolaan aset-aset perusahaan salah satunya adalah Sumber Daya Manusia yang merupakan aset tak ternilai bagi suatu perusahaan. Dengan adanya unit ini dapat menjaga hubungan baik antar karyawan dan manajemen perusahaan

Unit kerja ini memiliki tugas diantaranya:

- Menyusun dan mempertimbangkan kebijakan-kebijakan demi mencapai tujuan perusahaan
- Rekrutmen dan seleksi tenaga ahli yang dibutuhkan perusahaan
- Memberikan ulasan kinerja tahunan dan penilaian terhadap setiap karyawan
- Mengawasi kedisiplinan karyawan untuk mematuhi semua peraturan-peraturan perusahaan

#### 6. Unit kerja *Finance*

Unit kerja yang bertugas mengelola dana operasional perusahaan yang akan dimanfaatkan sesuai kebutuhan secara efektif dan efisien, akuntabilitas, transparansi dan integritas merupakan sebagian prinsip2 yang ditanamkan oleh unit kerja ini untuk mencapai tujuan perusahaan.

## **BAB III**

### **DASAR TEORI**

#### **3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap**

##### **3.1.1 Pengertian**

Pembangkit Listrik Tenaga Uap adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang di hubungkan ke turbin dimana untuk memutar turbin diperlukan energi kinetik dari uap panas atau kering. Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan berbagai macam bahan bakar terutama batu-bara dan solar untuk start awal. Sistem kerja PLTU menggunakan bahan bakar minyak (solar). Kelebihan dari PLTU adalah daya yang dihasilkan sangat besar. Konsumsi energi pada peralatan PLTU bersumber dari putaran turbin uap. PLTU adalah suatu pembangkit yang menggunakan uap sebagai penggerak utama. Untuk menghasilkan uap, maka haruslah ada proses pembakaran untuk memanaskan air. PLTU merupakan suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang mengkonversikan energi kimia menjadi energi listrik dengan menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya, yaitu dengan memanfaatkan energi kinetik uap untuk menggerakkan proses sudu-sudu turbin menggerakkan poros turbin, untuk selanjutnya poros turbin menggerakkan generator yang kemudian dibangkitkannya energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan akan menyuplai alat- alat yang disebut beban (Riyan Phanama, 2019)

##### **3.1.2 Air**



Gambar 3. 1 *Water Pond*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Air merupakan salah satu bahan utama dari terbentuknya daya listrik. Aliran air dimulai dari pompa yang menyedot air dari sungai terdekat kemudian air tersebut akan ditampung dalam sebuah wadah yang berbentuk seperti kolam dengan bentuk dasar kolam seperti prisma terbalik yang mana disebut sebagai *water pond*. Di bagian dasar kolam (*water pond*) terdapat sebuah penyedot air yang akan disalurkan pada *Water Treatment Plant* (WTP).



Gambar 3. 2 *Water Treatment Plant*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Pada WTP terjadi peristiwa kimiawi yang diperuntukkan untuk penggumpalan lumpur pada air sungai. Bahan kimia terdiri dari 3 jenis yaitu koagulan, biosin dan PAC. Koagulan dan PAC difungsikan sebagai penggumpalan lumpur terhadap air. Perbedaan diantara keduanya terletak pada bentuk cairan kimia tersebut, untuk koagulan lebih kental jika dibandingkan PAC walau difungsikan untuk tujuan yang sama. Biosin difungsikan sebagai pembunuh kuman dan bakteri. Dalam WTP terdapat 3 kali proses untuk menjadikan air berlumpur halus hingga tanpa adanya lumpur halus yang terkandung. Untuk proses pertama terjadi proses penggumpalan lumpur haus dengan bantuan bahan kimia. Kedua, terjadi proses sedimentasi atau pengendapan dan yang terakhir *sendfilter* atau

penyaringan.



Gambar 3. 3 Bak Penampung Lumpur

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Lumpur yang mengendap akan dibuang melalui pipa yang berada pada dasar WTP, pipa tersebut terhubung pada bak atau wadah penyimpanan lumpur. Jika dirasa lumpur telah memenuhi wadah penyimpanan maka lumpur tersebut akan diambil dengan eskavator atau truk pengeruk. Hasil dari WTP akan ditampung dalam wadah yang disebut *reservoir*. Di dalam *reservoir* dibagi menjadi 3 bagian, untuk bagian pertama diperuntukkan sebagai bahan pendingin uap pada kondensor melalui *cooling tower*, bagian kedua diperuntukkan sebagai bahan baku pada *boiler* akan tetapi perlu adanya pemurnian air terhadap mineral yang terkandung melalui *demineral* terlebih dahulu dan pada bagian ketiga diperuntukkan sebagai cadangan pada *demineral*.



Gambar 3. 4 *Reservoir*

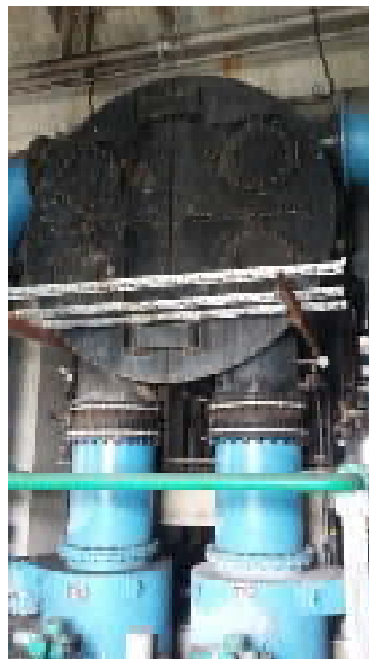
Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)





Gambar 3. 5 *Cooling Tower*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)



Gambar 3. 6 Kondensor

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Pada bagian pertama *reservoar* diperuntukan sebagai pendingin uap yang terjadi pada kondensor yang mana terjadi proses pengembunan (perubahan uap menjadi air) terhadap uap kering yang telah melewati turbin, sedangkan air *cooling tower* yang semula rentang suhu berkisar 20 hingga 25°C menjadi bersuhu panas setelah melewati kondensor, air panas tersebut langsung disalurkan pada *cooling tower*. Sesuai dengan namanya, terdapat *tower* yang digunakan sebagai tempat pembuangan uap panas dan air akan berjatuhan pada kisi-kisi seperti halnya air terjun yang difungsikan untuk mempercepat pendinginan terhadap air agar dapat dipergunakan lagi

sebagai pendingin uap kering pada kondensor. Kondensor dipergunakan sebagai pengubah uap menjadi air. Prinsip kerja dari kondensor itu sendiri dengan mengalirkan uap yang telah melewati turbin ke dalam suatu ruangan yang berisi pipa-pipa.



Gambar 3. 7 *Demineral*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Pada bagian kedua *reservoir* diperuntukkan sebagai bahan baku pada *demin* atau *demineral*. Terdapat 5 proses penyaringan air terhadap mineral yang terkandung.



Gambar 3. 8 Membran *Holo Fiber*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Proses pertama disebut dengan *Ultra Filter* (UF). Pada bagian ini terjadi penyaringan ultra terhadap air yang mana dengan bantuan pipa *membrane holo fiber* yang menyerupai lembaran buku yang tertumpuk. Pembuangan air pada proses ini bukan mineral yang terbuang akan tetapi zat kimia yang terkandung di dalamnya berupa koagulan, PAC, biosin serta klorin akan tapi

masih mengandung klorin walau persentasenya terbilang kecil.



Gambar 3. 9 *Dosing Pump*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Proses kedua terjadi pembunuhan mikroba dengan bantuan bahan kimia yaitu klorin dengan melihat perbandingan terhadap jumlah air yang masuk.



Gambar 3. 10 *Reverse Osmosis I*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Proses ketiga disebut dengan *Reverse Osmosis I (RO I)*. *Reverse Osmosis* merupakan suatu metode penyaringan yang dapat menyaring berbagai molekul besar dan ion-ion dari suatu larutan. Proses *Reverse Osmosis* dilakukan dengan memberikan tekanan tinggi pada air yang dialirkan melalui *membrane semipermeable* dimana pemisahan ion terjadi. Dengan pemisahan ion, molekul air membentuk *barrier* yang memungkinkan molekul air lainnya untuk lewat dan menghalangi lewatnya hampir semua kontaminan. Untuk tingkat penolakan kontaminan ini berkisar antara 85-95% yang tergantung pada kualitas awal air yang diolah.

Pada bagian ini terjadi penyaringan air terhadap mineral yang terkandung untuk tahap pertama. Berdasarkan *nameplate* yang ada pada RO I, penyaringan air terhadap mineral sebesar 97% sehingga *output* yang dihasilkan seharusnya sebesar 3% berkisar 5.50 (dimungkinkan adanya *margin error* sebesar 2%) untuk sisa mineral yang terkandung di dalamnya.



Gambar 3. 11 *Reverse Osmosis II*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Proses keempat disebut dengan *Reverse Osmosis II* (RO II). Pada bagian ini terjadi penyaringan air terhadap mineral yang terkandung untuk tahap kedua. Untuk *nameplate* yang ada pada RO II sama halnya dengan RO I. Penyaringan air terhadap mineral jika dimisalkan output dari RO I sebesar 5.50 maka pada RO II hasil mineral yang akan dibuang sebesar 97% dari 5.50 berkisar 0.09 untuk mineral yang terkandung.



Gambar 3. 12 *Mixed*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Proses kelima disebut dengan *mixed* atau bisa dikatakan pengolahan terakhir bagi air. *mixed* merupakan gabungan antara kation dan anion dalam satu ruang yang mana terdiri dari dua tingkat, yaitu kation pada tingkat atas dan anion pada tingkat bawah. Secara bersamaan dengan resin kation dan resin anion dalam *mixed* untuk menghasilkan air dengan tingkat mineral yang bisa dikatakan sangat minim. Pada proses ini, menghilangkan

kadar mineral yang terkandung hingga sebesar 0.02.



Gambar 3. 13 *Demin Tank*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Hasil dari demin akan ditampung pada tandon berwarna hijau tersebut.

Tabel 3. 1 *Demin Tank*

No	Tangki	Fungsi
1	1	Reservoir
2	2	Air Demin
3	3	Air Demin
4	1 Kecil	Ultra Filtrasi
5	2 Kecil	Hasil dari RO I
6	3 Kecil	Hasil dari RO II

Sumber : Penulis (Hasil Diskusi)

Keterangan:

Pembacaan tangki dimulai dari kanan ke kiri.

Pada bagian ketiga *reservoir* diperuntukkan sebagai bahan cadangan untuk *demineral*.

### 3.1.3 Batubara

Bahan utama kedua dari pembuatan daya listrik adalah batu bara. Batu bara merupakan sedimen organik bahan bakar hidrokarbon padat yang terbentuk dari tumbuh-tumbuhan yang telah mengalami perbusukan secara biokimia, kimia dan fisika dalam kondisi bebas oksigen yang berlangsung pada tekanan serta temperatur tertentu pada kurun waktu yang



sangat lama. Kualitas dari batu bara dilihat dari berapa besar kalori dari batu bara itu sendiri, untuk kalori batu bara yang baik berkisar 4200 kcal/kg hingga 4900 kcal/kg.



Gambar 3. 14 *Dry Coal Storage*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Batu bara yang telah diambil akan dikumpulkan pada suatu tempat yang diberi nama *Dry Coal Storage* (DCS). DCS hanya menyimpan batu bara yang mengandung kadar air yang rendah atau bisa dikatakan kering, jika batu bara tersebut masih dalam keadaan basah maka batu bara tersebut perlu dilakukan penjemuran. Penjemuran batu bara dilakukan pada tempat yang disebut *Wet Coal Storage* (WCS). DCS terdapat sensor berat yang dipergunakan sebagai penentuan input batu bara agar sesuai dengan output yang dihasilkan yang mana tujuannya adalah *furnace* itu sendiri. Kering akan diangkut dengan batuan *belt conveyor* yang merupakan semacam sabuk besar yang terbuat dari karet dengan tujuan pertama *crusher*.



Gambar 3. 15 *Crusher*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Pada *crusher* terjadi proses pengayakan (*roller screener*) serta penghancuran (*ring hammer*) terhadap batu bara. Proses pertama yang dilakukan ialah pengayakan, bila ukuran dari batu bara sesuai dengan kriteria maka selanjutnya pengukuran massa batu bara tersebut agar sesuai dengan input yang masuk, bila ukuran batu bara tidak sesuai maka akan dihancurkan dengan *ring hammer*. Ukuran batu bara yang telah sesuai diteruskan pada *furnace* dengan bantuan *Belt Conveyor*.

Sebelumnya, adanya 2 *belt conveyor* yang terhubung pada *crusher*. Pertama penghubung antara DCS dengan *crusher* dan yang kedua penghubung antara tempat penyimpanan *limestone* dengan *crusher*. *Limestone* (batu kapur) difungsikan sebagai pengatur suhu pada *furnace*, bila suhu pada *furnace* terlalu tinggi maka dengan bantuan *limestone* akan mengurangi suhu yang dihasilkan oleh batu bara itu sendiri, akan tetapi jika tidak adanya batu kapur, dapat digantikan dengan limbah yang dihasilkan oleh batu bara yaitu *bottom ash* ialah limbah abu yang ukurannya lebih besar daripada *fly ash*. Saat *starting* pada *furnace* tidak langsung dimasukkan batu bara akan tetapi ada pemicu api terlebih dahulu dengan bantuan solar. Setelah api menyala dilanjutkan dengan memasukkan batu bara secara perlahan.



Gambar 3. 16 *Primary Air Fan*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)



Gambar 3. 17 *Secondary Air Fan*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Untuk menghasilkan suhu dan temperatur yang sesuai diperlukan oksigen maka dari itu dengan adanya PAF (*Primary Air Fan*) menembak oksigen pada bagian bawah boiler dan SAF (*Secondary Air Fan*) menembak oksigen pada bagian samping boiler yang mana bentuk dari api tersebut akan seperti pusaran. Gas yang dihasilkan dari pembakaran batu bara akan mengalir melewati komponen boiler seperti *superheater*, *economizer*, *air heater*, ESP, IDF dan diakhiri *chimney*.



Gambar 3. 18 *Slag Silo*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Dari hasil pembakaran batu bara didapat limbah yang dipecah menjadi 2 jenis limbah. Limbah pertama yaitu *bottom ash* yang didapatkan di bagian bawah *furnace* yang berbentuk seperti kerikil. *Bottom ash* tidak serta merta dibuang begitu saja, adanya kegunaan sebagai pengatur suhu dari batu bara



itu sendiri bila suhu dan tekanan yang dihasilkan batu bara terlalu tinggi maka dengan adanya *bottom ash* dapat menurunkan suhu dan tekanan pada *furnace* dikarenakan spesifikasi *boiler* dan *furnace* itu sendiri.



Gambar 3. 19 *Ash Silo*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Limbah kedua yaitu *Fly Ash* yang didapat dari ESP. Hasil pembakaran dari *boiler* tersebut selanjutnya akan melewati *Electrostatic Precipitation* (ESP).



Gambar 3. 20 *Electrostatic Precipitation*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)



Gambar 3. 21 *Vessel Tank*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Pada ESP terjadi penangkapan abu hasil proses pembakaran dengan cara pemberian muatan listrik pada *Electrode* dan *Discharge Plat*. Listrik yang diberikan pada *electrode* dan *discharge plat* adalah listrik DC, untuk muatan positif diberikan pada *discharge plat* sedangkan muatan negatif diberikan pada *electrode*. Sumber dari trafo esp merupakan listrik AC 3 fasa sebesar 380VAC dengan adanya penyearah menggunakan *Thyristor* atau *SCR* yang mana dapat diatur besar tegangan yang dihasilkan dengan cara mengatur *duty cycle* pada *SCR* sedangkan output yang dihasilkan *diode* tidak dapat diatur, alasan tersebut yang dijadikan mengapa menggunakan *thyristor* dan tidak menggunakan *diode* penyearah biasa. Besar tegangan DC yang dihasilkan berkisar 20 hingga 60 kV. *Discharge plat* dan *electrode* akan menghasilkan medan listrik yang mana pada kondisi ini abu akan melewati medan listrik dan akan terinjeksi muatan negatif yang dipancarkan oleh kutub negatif pada *electrode* yang berbentuk *plat* dan terdapat adanya duri atau jarum untuk membantu dalam menginduksi muatan negatif pada abu sehingga abu akan bermuatan negatif. Abu akan tertarik oleh *discharge plat* yang bermuatan positif, bila abu telah melekat pada *discharge plat* maka perlu adanya perontokan pada *discharge plat* dengan menggunakan *hammer* di bagian bawah *discharge plat*, sistem ini lebih mengarah pada sistem mekanis. Jika debu telah berjatuhan maka adanya *vessel tank* untuk menampung abu tersebut atau *Fly Ash*. Pada *vessel tank* yang terletak di bagian bawah *esp* dilengkapi dengan beberapa sensor yaitu *heater sensor* dan *level sensor*. *Level sensor* hanya dipergunakan sebagai *monitoring (High Low)* pada *vessel tank*. Alur pembuangan *Fly Ash* pada *vessel tank* berjalan secara terus menerus dengan menggunakan *compressor* yang mana akan memberikan tekanan pada *vessel tank* untuk ditampung pada *Ash Silo*. Terdapat 2 *heater* yang ada pada *esp*, satu *heater* terletak pada bagian dalam *esp* yang dipergunakan agar abu atau hasil pembakaran batu bara tetap kering dan *heater* lainnya diletakkan pada bagian *vessel tank* dengan tujuan tidak terjadi pengendapan atau penggumpalan abu yang diakibatkan suhu pada abu menurun. *Fly Ash* yang telah tertampung pada *Ash Silo* akan

dipergunakan dalam pembuatan semen yang dikelola oleh PT.SEMEN BATU RAJA.



Gambar 3. 22 *Chimney*



Gambar 3. 23 *Induced Draft Fan*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Hasil pembakaran batu bara tidak hanya *bottom ash* dan *fly ash*, adanya gas buang yang mana pembuangan terjadi pada *chimney* dengan bantuan *Induced Draft Fan* (IDF) yang mana diletakkan diantara *esp* dan *chimney*. IDF difungsikan untuk mempertahankan tekanan pada *furnace* dan *boiler* karena dipergunakan untuk menghisap gas dan abu sisa pembakaran, akan tetapi abu dan gas tersebut akan melewati ESP terlebih dahulu yang mana difungsikan sebagai tempat penangkapan abu dari hasil sisa pembakaran, singkatnya untuk tidak adanya polusi udara yang dihasilkan dari hasil sisa pembakaran batu bara. Gas yang diindikasikan tidak berpotensi merusak lingkungan atau bisa dikatakan aman akan dilanjutkan pada proses pembuangan pada *chimney* dengan bantuan IDF.

#### 3.1.4 Uap



Gambar 3. 24 Sistem *Scada* Aliran Air

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Air demin akan disalurkan pada *deaerator* melalui pipa. Fungsi dari *deaerator* untuk menghilangkan oksigen dan gas-gas lainnya dalam air *boiler*, gas tersebut dibuang melalui *valve* pelepas gas atau udara. Singkatnya, *deaerator* dijadikan sebagai wadah penampungan air yang mana akan disalurkan pada *boiler* menggunakan *Feedwater Pump*.



Gambar 3. 25 *Feed Water Pump*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

*Feedwater* sama halnya dengan air *boiler*. Pada *deaerator* juga terjadi pemanasan sebelum masuk ke dalam *economizer* untuk tahap pemanasan selanjutnya. Terjadi pemanasan berikutnya pada *economizer* dengan suhu kisaran hingga 300°C. Panas yang didapat berasal dari gas hasil pembakaran setelah melewati *boiler*, untuk memanaskan air sebelum masuk ke *boiler*. Pemanasan air ini dilakukan agar perbedaan temperatur antara air pengisi dan air yang ada dalam *boiler* tidak terlalu jauh, sehingga tidak terjadi *thermal stress* di dalam *boiler*. Selain itu dengan memanfaatkan gas sisa pembakaran, maka akan meningkatkan efisiensi dari *boiler* dan proses pembentukan uap lebih cepat.

Selanjutnya air akan masuk ke dalam *boiler*. *Boiler* sendiri merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air hingga terbentuk air panas. Jika dilihat dari gambar di atas, bentuk dari *economizer* berupa pipa yang mana memanfaatkan hasil pembakaran dari batu bara itu sendiri. Aliran gas buang pembakaran di ruang bakar akan melewati komponen *boiler* seperti *superheater*, *economizer*, *air heater*, ESP, IDF dan akan diakhiri dengan melewati *chimney*.

Selanjutnya air yang bersuhu sekitar  $300^{\circ}\text{C}$  akan diteruskan pada *superheater* hingga mencapai suhu  $470^{\circ}\text{C}$ . *Superheater* merupakan alat yang berfungsi untuk menaikkan temperatur uap hingga mencapai uap panas atau uap kering.



Gambar 3. 26 *Steam Drum*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Dilanjutkan pada *steam drum*, terjadi proses pemisahan fasa uap dan fasa air. Fasa air dikembalikan pada *superheater* untuk pemanasan kembali agar menjadi uap kering. Adanya sisa pembuangan dari *steam drum* berupa mineral yang masih terkandung yaitu silika. Adanya proteksi pada *steam drum* dengan menggunakan *steam blow* dan *safety valve*. Mereka digunakan saat adanya lonjakan tekanan pada *boiler*, kemungkinan saat terjadi *blackout* atau adanya tekanan yang berlebih pada *boiler*.



Gambar 3. 27 *Steam Blow & Safety Valve*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Keterangan:

*Steam Blow* : Bagian kanan

*Safety Valve* : Bagian kiri

Langkah dalam pembuangan tekanan pada boiler:

1. Pembukaan katup pada *steam blow* yang memiliki spesifikasi pembukaan *valve* saat tekanan  $\geq 5,4$  MPa yang dapat dioperasikan baik secara otomatis dengan adanya operator untuk mengendalikan dengan cara menginduksi stator agar dapat memutar *rotor* dan dapat dioperasikan secara manual dengan menggunakan tuas.
2. Pembukaan katup pada *safety valve* yang memiliki spesifikasi pembukaan *valve* saat tekanan  $\geq 5.6$  MPa. *Safety valve* dipergunakan jika tekanan dalam *boiler* tidak dapat terkejar oleh *steam blow* sehingga cara kerja dari *safety valve* secara otomatis dengan adanya pegas yang dapat diatur besar tekanan agar dapat beroperasi.

Jika uap kering telah terbentuk, maka akan dilanjutkan pada turbin uap untuk memutar turbin. Sebelum uap kering memutar turbin, adanya valve atau katup yang menghubungkan antara steam drum dengan turbin. Pengaturan valve dengan menggunakan governor



Gambar 3. 28 505

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Keterangan:

Output yang dihasilkan 505 berupa arus

Berikut langkah dalam pembukaan katup atau valve yang mengubungkan steam drum dengan turbin:

1. Adanya *setting point* yang diatur oleh 505, *setting point* yang dimaksud berupa arus yang akan menginjek pada CPC. Rentang arus yang diberikan oleh *setting point* mulai 4→20 mA.
2. Arus akan dikonversi menjadi tekanan oleh *Current Pressure Converter* (CPC). Tekanan yang dihasilkan oleh CPC mulai 0.25→0,7 MPa.
3. Arus yang telah dikonversi oleh CPC menjadi tekanan akan diinjeksi pada oli yang mana fluida atau oli ini akan menggerakkan hidrolis dengan rentang 0→7 mm.

Berikut tabel hubungan antara arus, tekanan, lebar serta kecepatan yang dihasilkan oleh turbin:

Tabel 3. 2 Hubungan Lebar, Arus dan Tekanan

Lebar (mm)	Arus (mA)	Tekanan (MPa)
0	4	0.25
2	10	0.3
5	15	0.5
7	20	0.7

Sumber : PT.BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY (2020)

Berikut grafik hubungan tekanan dengan arus:



Gambar 3. 29 Grafik Hubungan Tekanan dengan Arus

Sumber : Penulis (2020)

Turbin uap merupakan suatu penggerak yang mengubah energi potensial yang dihasilkan uap itu sendiri menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Biasanya, pada pembangkit listrik tenaga uap kerja mekanis yang dilakukan oleh turbin dikonversikan menjadi energi listrik pada generator.

Tekanan yang dihasilkan uap kering

$$Steam = 4.6 \rightarrow 5.1 MPa$$

Besar tekanan tersebut menjadi syarat untuk menghasilkan kecepatan turbin sebesar 3000 rpm dan frekuensi sebesar 50 Hz.

Berikut tabel *setting point* untuk hubungan antar kecepatan dengan beban yang dapat dihasilkan oleh generator:

Tabel 3. 3 *Setting Point 505*

Setting Point 505	
Load (MW)	Speed (Rpm)
2	3024
2,5	3030
3	3036
3,5	3042
4	3048
4,5	3054
5	3060
5,5	3066
6	3072
6,5	3078
7	3084
7,5	3090
8	3096
8,5	3102
9	3108
9,5	3114
10	3120
10,5	3126
11	3132
11,5	3138
12	3144
12,5	3150
13	3156
13,5	3162
14	3168
14,5	3174
15	3180

Sumber : PT.BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY (2020)

$$Beban yang diminta (Load) = \left( \frac{Load}{LoadMAX} \right) \times 100\%$$



$$\text{Set Point 505} = 3000 + (6\% \times \text{Load}(\%) \times 3000)$$

Keterangan:

<i>Load</i>	:Beban yang diminta
<i>Load MAX</i>	:Kapasitas beban maksimum yang dapat dihasilkan oleh generator
6%	: <i>drop</i> kecepatan
3000	:Batas untuk menghasilkan frekuensi 50 Hz

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa semakin cepat turbin berputar yang disebabkan tekanan dari uap semakin besar maka semakin besar daya yang dihasilkan.

Setelah uap kering memutar turbin, aliran uap akan menuju pada kondensor atau kondensat dengan tujuan pendinginan terhadap uap kering.



Gambar 3. 30 Kondensor

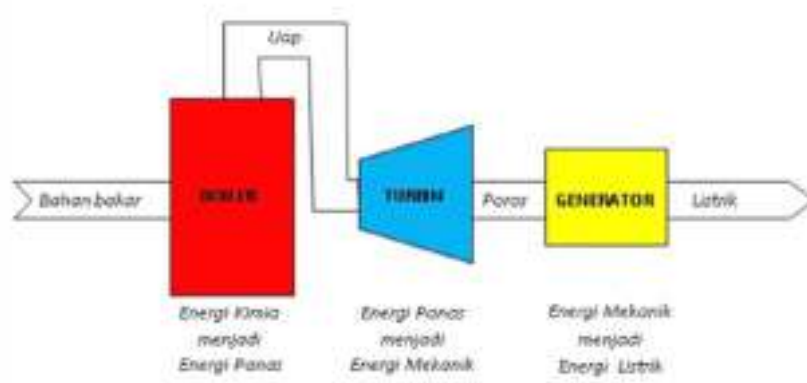
Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Pada kondensor terjadi perubahan uap menjadi air kembali dengan adanya pendinginan. Air pendingin tersebut berasal dari *cooling tower*. Setelah melalui pendinginan pada kondensor dilanjutkan ke *deaerator* dimana terdapat *level sensor* untuk mengetahui kebutuhan air yang diperlukan yang mana jika kebutuhan air belum memenuhi maka secara otomatis air demin akan dialirkan pada *deaerator* dan akan dilanjutkan pada

*feedwater pump* untuk dilakukan pemberian tekanan dengan tujuan berikutnya adalah *boiler*. Siklus yang dilakukan merupakan siklus tertutup.

### 3.1.5 Prinsip kerja PLTU

Prinsip kerja dari PLTU adalah dengan menggunakan siklus air-uap-air yang merupakan suatu sistem tertutup air dari kondensat atau air dari hasil proses pengkondensasian di kondensor dan *make up water* (air yang dimurnikan) dipompa oleh kondensat *pump* ke pemanas tekanan rendah. Disini air dipanasi kemudian dimasukkan oleh *deaerator* untuk menghilangkan oksigen, kemudian air ini dipompa oleh *boiler feed water pump* masuk ke *economizer*. Dari *economizer* yang selanjutnya dialirkan ke pipa untuk dipanaskan pada *tube boiler*.

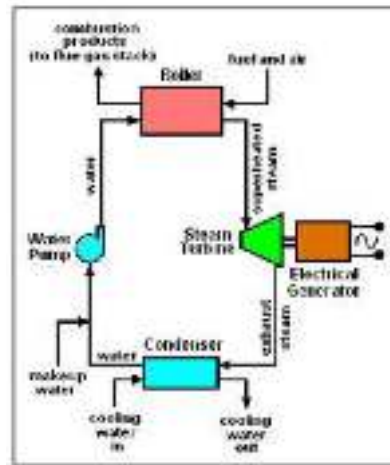


Gambar 3. 31 Proses Konversi Energi PLTU

Sumber : Website (2020)

Pada *tube*, air dipanasi berbentuk uap air. Uap air ini dikumpulkan kembali pada *steam drum*, kemudian dipanaskan lebih lanjut pada *superheater* sudah berubah menjadi uap kering yang mempunyai tekanan dan temperatur tinggi, dan selanjutnya uap ini digunakan untuk menggerakkan sudu turbin tekanan tinggi, untuk sudu turbin menggerakkan poros turbin. Hasil dari putaran poros turbin kemudian memutar poros generator yang dihubungkan dengan *coupling*, dari putaran ini dihasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan dari generator disalurkan dan di distribusikan lebih lanjut ke pelanggan. Uap bebas dari turbin selanjutnya di kondensasikan dari kondensor dan bersama air dari *make up water pump* dipompa lagi oleh pompa kondensat masuk ke pemanas tekanan rendah,

*deaerator*, *boiler feed water pump*, pemanas tekanan tinggi, *economizer*, dan akhirnya menuju boiler untuk dipanaskan menjadi uap lagi. Proses ini akan terjadi berulang-ulang.



Gambar 3. 32 Siklus Fluida Kerja Sederhana pada PLTU

Sumber : *Website* (2020)

Siklus kerja PLTU yang merupakan siklus tertutup dapat digambarkan dengan diagram  $T - s$  (Temperatur – entropi). Siklus ini adalah penerapan siklus rankine ideal. Adapun urutan langkahnya adalah sebagai berikut :

a – b : Air dipompa dari tekanan P2 menjadi P1. Langkah ini adalah langkah kompresi isentropis, dan proses ini terjadi pada pompa air pengisi.

b – c : Air bertekanan ini dinaikkan temperaturnya hingga mencapai titik didih. Terjadi di *LP heater*, *HP heater* dan *economiser*.

c – d : Air berubah wujud menjadi uap jenuh. Langkah ini disebut vapourising (penguapan) dengan proses isobar *isothermis*, terjadi di *boiler* yaitu di *wall tube* (riser) dan *steam drum*.

d – e : Uap dipanaskan lebih lanjut hingga uap mencapai temperatur kerjanya menjadi uap panas lanjut (*superheated vapour*). Langkah ini terjadi di *superheater boiler* dengan proses isobar.

e – f : Uap melakukan kerja sehingga tekanan dan temperaturnya turun. Langkah ini adalah langkah ekspansi isentropis, dan terjadi didalam turbin.

f – a : Pembuangan panas laten uap sehingga berubah menjadi air kondensat. Langkah ini adalah isobar *isothermis*, dan terjadi didalam kondensor.

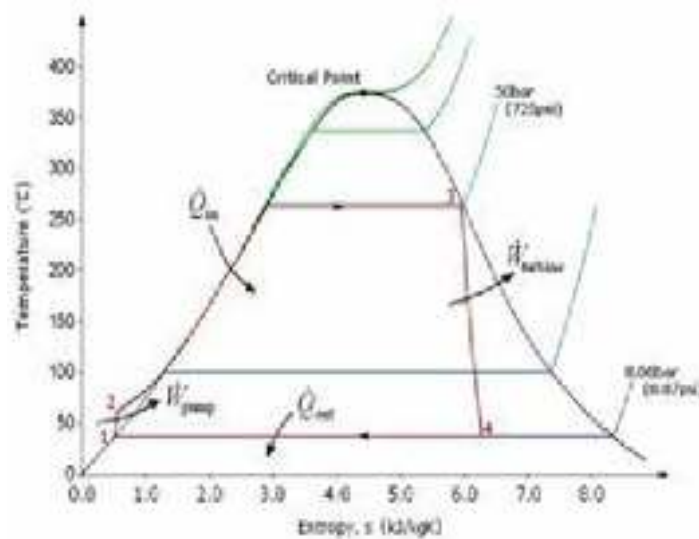
### 3.1.6 Siklus Termodinamika

- Siklus Rankine

Siklus Rankine adalah siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi kerja. Panas yang disuplai secara eksternal pada aliran tertutup, yang biasanya menggunakan air sebagai fluida bergerak. Pada steam *boiler*, ini akan menjadi *reversible* tekanan konstan pada proses pemanasan air untuk menjadi uap air, lalu pada turbin proses *ideal* akan menjadi *reversible* ekspansi adiabatik dari uap, pada kondenser akan menjadi *reversible* tekanan konstan dari panas uap kondensasi yang masih *saturated liquid* dan pada proses ideal dari pompa akan terjadi *reversible* kompresi adiabatik pada cairan akhir dengan mengetahui tekanannya. Ini adalah siklus *reversible*, yaitu keempat proses tersebut terjadi secara ideal yang biasa disebut siklus rankine. Salah satu peralatan yang sangat penting di dalam suatu pembangkit tenaga listrik adalah *boiler (Steam Generator)* atau yang biasanya disebut ketel uap. Alat ini merupakan alat penukar kalor, dimana energi panas yang dihasilkan dari pembakaran diubah menjadi energi potensial yang berupa uap. Uap yang mempunyai tekanan dan temperatur tinggi inilah yang nantinya digunakan sebagai media penggerak utama turbin uap. Energi panas diperoleh dengan jalan pembakaran bahan bakar di ruang bakar.

Sistem *boiler* terdiri dari: sistem air umpan, sistem *steam* dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk *boiler* secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam *boiler*. *Steam* dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan *steam* diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang

diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem. Berikut ini adalah gambar diagram siklus rankine



Gambar 3. 33 Siklus Rankine Ideal

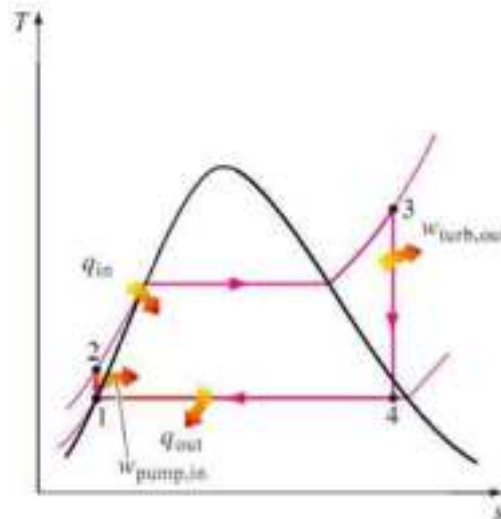
Sumber : *Website* (2020)

- Siklus Rankine Ideal

Siklus ideal yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap adalah siklus rankine. Siklus rankine berbeda dengan siklus – siklus udara ditinjau dari fluida kerjanya yang mengalami perubahan fase selama siklus pada saat evaporasi dan kondensasi. Perbedaan lainnya secara termodinamika siklus uap dibandingkan dengan siklus gas adalah bahwa perpindahan kalor pada siklus uap dapat terjadi secara *isothermal*.

Proses perpindahan kalor yang sama dengan proses perpindahan kalor pada siklus carnot dapat dicapai pada daerah uap basah, perubahan entalpi fluida kerja akan menghasilkan penguapan atau kondensasi, tetapi tidak padaperubahan temperature. *Temperature* hanya diatur oleh tekanan uap fluida.

Kerja pompa pada siklus rankine untuk menaikkan tekanan fluida kerja dalam fase cair akan jauh lebih kecil dibandingkan dengan pemampatan untuk campuran uap dalam tekanan yang sama pada siklus carnot. Siklus rankine *ideal* dapat digambarkan dalam diagram T-S dan H-S seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 3. 34 Siklus Rankin Sederhana

Sumber : *Website* (2020)

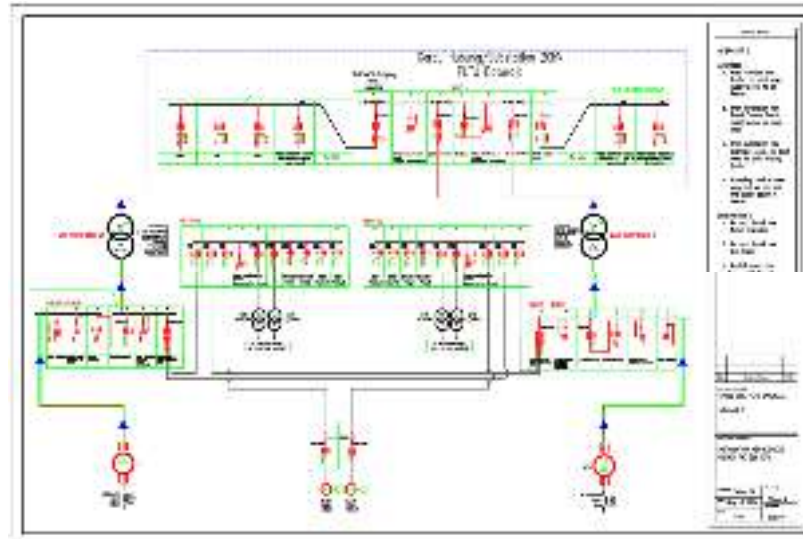
Siklus rankine ideal terdiri dari 4 tahapan proses:

- 1-2 kompresi isentropic dengan pompa.
- 2-3 penambahan panas dalam boiler secara isobar
- 3-4 ekspansi *isentropic* pada turbin
- 4-1 pelepasan panas pada *condenser* secara isobar dan *isothermal*

Air masuk pompa pada kondisi 1 sebagai cairan jenuh (*saturated liquid*) dan dikompresi sampai tekanan operasi *boiler*. *Temperature* air akan meningkat selama kompresi *isentropic* karena menurunnya volume spesifik air. Air memasuki *boiler* sebagai cairan terkompresi (*compressed liquid*) pada kondisi 2 dan akan menjadi uap *superheated* pada kondisi 3. Dimana panas diberikan oleh *boiler* ke air pada tekanan yang tetap. *Boiler* dan seluruh bagian yang dihasilkan *steam* ini disebut sebagai *steam generator*. Uap *superheated* pada kondisi 3 kemudian akan memasuki turbin untuk diekspansi secara *isentropic* dan akan menghasilkan kerja untuk memutar *shaft* yang terhubung dengan generator listrik sehingga dapat dihasilkan listrik. Tekanan dan temperatur dari *steam* akan turun selama proses ini menuju keadan 4 *steam* akan masuk kondensor dan biasanya sudah berupa uap jenuh. *Steam* ini akan dicairkan pada tekanan konstan didalam

*condenser* dan akan meninggalkan kondensor sebagai cair jenuh yang akan masuk pompa untuk melengkapi siklus ini.

### 3.2 Distribusi 20 kV



Gambar 3. 35 *Line Diagram* PLTU Baturaja

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Sistem distribusi ialah bagian dari sistem tenaga listrik yang mana sistem ini digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik yang besar atau biasa disebut dengan *bulk power source* hingga mencapai konsumen.

Untuk mengetahui mulai dari berapa daya yang dihasilkan yang menyangkut tegangan, arus dan *power factor* serta frekuensi yang mana dapat di-*monitoring* pada satu *layer* saja. Dengan menggunakan *scada* dapat dilakukan *monitoring* terhadap apa yang telah disebutkan sebelumnya yang mana merupakan suatu pengolahan data terintegrasi yang mana dapat digunakan untuk mengendalikan, mengumpulkan dan mendapatkan data secara *real time*. Kemudian dapat melakukan kontrol secara semi elektrik dengan menggunakan *remote* terhadap ketenagalistrikan baik pada bagian pembangkit dan distribusi untuk PT.BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY. Berikut tampilan *scada* yang digunakan pada ruang distribusi 20 kV (Achmad Fatoni, 2016).



Gambar 3. 36 Sistem *Scada* pada Penyulang

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Berikut salah satu fungsi dari *scada* yang mana tidak hanya digunakan dalam pemantauan saja akan tetapi memiliki kemampuan menyimpan data secara *real time* dengan interval waktu setiap 1 detik:



Gambar 3. 37 *Power Trending*



Gambar 3. 38 *Current Trending*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

### 3.3 Generator Sinkron 3 Fasa

Generator merupakan mesin listrik yang difungsikan untuk menghasilkan listrik yang berjenis AC atau bolak balik dengan cara mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik diperoleh dari putaran rotor yang dikopel dengan turbin, sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotor yang mana rotor tersebut telah diinduksi tegangan DC ketika putaran turbin telah mencapai 3000 rpm. Jika dilihat dari sebutan sinkron terhadap generator memiliki makna bahwa frekuensi listrik yang dihasilkan oleh generator akan sinkron dengan putaran atau rpm mekanis generator.



$$\begin{aligned}
 \text{Frekuensi} &= \frac{\text{pole} \times \text{rpm}}{120} \\
 &= \frac{2 \times 3000}{120} \\
 &= 50 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

Tabel 3. 4 Jumlah *Pole* terhadap Frekuensi

Misal Jumlah Pole (kutub)	Frekuensi 50 Hz
2	3000 rpm
4	1500 rpm
6	1000 rpm

Sumber : Penulis (2020)

Berikut *nameplate* atau spesifikasi generator yang dipakai:

Gambar 3. 39 *Nameplate* Generator

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Berikut daya aktif yang dihasilkan oleh generator bila melihat dari *nameplate* diatas:

Daya Aktif:

$$\begin{aligned}
 P &= \sqrt{3}VI.\cos\theta \\
 &= 1,73.6300.1375.0,8 \\
 &= 12003112,1 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Daya Reaktif:

$$\cos\theta = 0,8$$

$$\sin\theta = 0,6$$

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{3}VI \cdot \sin\theta \\ &= 1,73.6300.1375.0,6 \\ &= 8991675 \text{ VAR} \end{aligned}$$

Daya Semu

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{P^2 + Q^2} \\ &= \sqrt{12003112,1^2 + 8991675^2} \\ &= 14995006,48 \text{ VA} \end{aligned}$$

Atau

$$\begin{aligned} S &= \frac{P}{\cos\theta} \\ &= \frac{12003112,1}{0,8} \\ &= 15003890,13 \text{ VA} \end{aligned}$$

Prinsip kerja dari generator sinkron sebagai berikut:

1. Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber tegangan eksitasi (dari tegangan eksitasi ini generator dapat menghasilkan daya) dan juga rotor dikopel dengan turbin.
2. Dengan adanya penginjeksi tegangan dc tertentu pada rotor yang akan mensuplai arus searah arus DC yang mengalir melalui kumparan medan yang mana akan menimbulkan *fluks* yang besarnya terhadap waktu. Besar injeksi tegangan eksitasi berkisar 6500 Volt yang terlihat pada *unitrol* ABB yang mana pengaturan tegangan eksitasi atau bisa dikatakan *Automatic Voltage Regulator* (AVR).

3. Turbin yang telah terkopel dengan rotor, maka rotor akan berputar sesuai dengan kecepatan dari turbin tersebut.
4. Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan sehingga pada kumparan yang terletak pada stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah yang besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik mengakibatkan adanya daya listrik yang dihasilkan oleh generator itu sendiri.

Sistem proteksi dari generator ada beberapa macam diantaranya sebagai berikut:

1. *Underfrequency*
2. *Overfrequency*
3. *Reverse Power*
4. *Overcurrent*
5. *Overvoltage*
6. *Undervoltage*

1. *Underfrequency*

*Underfrequency* diakibatkan oleh kecepatan atau rpm turbin yang menurun. Penurunan frekuensi diakibatkan oleh jumlah pembebanan yang meningkat. Rentang minimum sebesar 47,5 Hz dengan *delay* 0,2 detik, bila besar frekuensi 47,5 Hz berjalan selama lebih dari 0,2 detik maka akan terjadi *tripping*.

2. *Overfrequency*

*Overfrequency* diakibatkan oleh kecepatan atau rpm turbin yang meningkat. Peningkatan frekuensi diakibatkan oleh jumlah pembebanan yang menurun (rentang maksimum sebesar 55 Hz) dengan *delay* 60 detik, bila besar frekuensi 55 Hz berjalan selama lebih dari 60 detik maka akan terjadi *tripping* yang telah diatur pada wnlida MGPR.

3. *Reverse Power*

Daya akan membalik pada generator jika fungsi dari generator bukan

menjadi penghasil daya listrik akan tetapi beralih fungsi menjadi motor. Rentang nilai *reverse power* maksimum sebesar 10 Watt dengan *delay* 10 detik. Bila besar daya yang ter-*input* pada generator sebesar 10 Watt berjalan selama lebih dari 10 detik maka akan terjadi *tripping* yang telah diatur pada wanlida MGPR.

#### 4. *Overcurrent*

Arus yang terbebaskan melebihi batas dari kemampuan dari generator dalam waktu yang singkat yang mana biasa terjadi pada saat hubung singkat atau hubungan antar fasa. Pada *nameplate* generator tertera kapasitas arus dari generator berkisar 1375 A. spesifikasi dari *Current Transformer* (CT) eksternal berkisar 2000 Ampere yang mana akan diubah menjadi 5 Ampere. Pada pengaturan wanlida diatur besar arus maksimum berkisar 1936 Ampere dalam kurun waktu maksimal 2 detik. Berikut perhitungan perbandingan *overcurrent*.

$$\frac{2000}{5} = \frac{x}{4,84}$$

$$x = \frac{4,84.2000}{5}$$

$$x = 1936 \text{ Ampere}$$

Dilihat dari perhitungan di atas bahwa arus maksimum dari kapasitas generator berkisar 1936 Ampere dalam kurun waktu maksimum 2 detik. Tepat dari batas yang telah ditentukan, wanlida akan mengidentifikasi untuk segera melakukan *tripping*.

#### 5. *Overload*

Arus yang terbebaskan melebihi dari batas kapasitas yang dimiliki generator tersebut yang mana memperhatikan pada pembebanan penyulang. Untuk *nameplate* dari generator telah dijelaskan pada sistem proteksi pada *overcurrent* bahwa kapasitas arus sebesar 1375 Ampere. Berikut perhitungan perbandingan untuk *overload*:

$$\frac{2000}{5} = \frac{x}{4,1}$$

$$x = \frac{4,1.2000}{5}$$

$$x = 1640 \text{ Ampere}$$

Dilihat dari perhitungan di atas bahwa besar arus dari kapasitas generator berkisar 1640 Ampere jika terjadi beban penuh dalam kurun waktu maksimum 10 detik. Jika tepat atau melebihi batas pengaturan yang telah diatur maka wanlida akan memberikan perintah untuk segera melakukan *tripping*.

#### 6. *Overvoltage*

Tegangan pembebanan melebihi batas kapasitas dari generator. Bila dilihat dari spesifikasi *Potential Transformer* (PT) eksternal besar tegangan 6300 Volt akan diubah menjadi 100 Volt. Pembacaan *overvoltage* berkisar 120 Volt dengan delay 5 detik. Berikut perhitungan perbandingan:

$$\frac{6300}{100} = \frac{x}{120}$$

$$x = \frac{6300}{100} \cdot 120$$

$$x = 63 \cdot 120$$

$$x = 7560 \text{ Volt}$$

Dilihat dari perhitungan di atas bahwa tegangan maksimum yang dihasilkan oleh generator sebesar 7560 Volt dengan *delay* waktu maksimum 5 detik. Tepat batas dari ketentuan, wanlida akan mengidentifikasi untuk segera melakukan *tripping*.

#### 7. *Undervoltage*

Tegangan pembebanan terlalu rendah yang mana melebihi batas kapasitas dari generator itu sendiri. Sama halnya dengan spesifikasi pada PT yang telah dijelaskan pada *overvoltage*. Pembacaan *undervoltage* berkisar 65 Volt dengan *delay* 55 detik.

Berikut perhitungan perbandingan:

$$\frac{6300}{100} = \frac{x}{65}$$

$$x = 63 \cdot 65$$

$$x = 4095 \text{ Volt}$$

Dilihat dari perhitungan di atas bahwa tegangan *minimum* yang

dihasilkan oleh generator sebesar 4095 Volt dengan *delay* maksimum 55 detik. Tepat batas dari ketentuan, wanlida akan mengidentifikasi untuk segera melakukan *tripping*.

### 3.4 Transformator

*American National Standards Institute (ANSI) / Institute of Electrical and Electronics Engineering (IEEE)* mendefinisikan sebuah transformator sebagai perangkat listrik statis, yang tidak melibatkan bagian yang terus bergerak, digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk mentransfer daya antar sirkuit melalui penggunaan elektromagnetik induksi. Tranformator memiliki nilai / *rating* yang berbeda-beda tergantung dengan beban yang terpasang. *Rating* yang dimiliki trafo berbeda-beda seerti 500kVA, 20MVA, 60MVA, dll.

#### 3.4.1 Gangguan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Gangguan merupakan segala sesuatu yang berupa kejadian tak normal dalam sistem tenaga listrik yang dapat merusak peralatan sistem tenaga listrik sehingga menyebabkan proteksi pengaman bekerja (mentripkan).

#### 3.4.2 Jenis-Jenis Gangguan

##### a. Gangguan bersifat Kontemporer

Gangguan yang bersifat kontemporer atau gangguan yang bersifat sementara yaitu artinya gangguan ini tidak berlangsung lama atau dapat hilang dengan sendiri setelah gangguan terjadi. Namun, bila gangguan kontemporer ini sering terjadi daat berubah menjadi gangguan permanen dan merusan peralatan tenaga listrik. Bentuk umum gangguan ini yang sering kita jumpai adalah seperti gangguan yang disebabkan layangan, pohon yang mengenai jaringan dan hewan liar.

##### b. Gangguan Bersifat Permanen

Gangguan yang bersifat permanen adalah gangguan yang tidak akan hilang jika sumber atau penyebab dari gangguan itu sendiri tidak dihilangkan. Contohnya sendiri adalah adanya penghantar/kabel yang putus, gangguan akibat penghantar/kabel yang putus tidak akan hilang sebelum penghantar/kabel putus itu sendiri belum diperbaiki

(disambung).

c. Gangguan Beban Lebih

Gangguan beban lebih (*overload*) merupakan suatu gangguan yang terjadi akibat pemasangan beban pada jaringan melebihi batas (kapasitas) maksimal beban yang ditetapkan. Misalnya sebuah transformator memiliki kapasitas sebesar 30 MVA sedangkan beban yang terpasang melebihi dari kapasitas tersebut maka akan menyebabkan pengaman bekerja (trip).

d. Gangguan Tegangan Lebih

*Overvoltage* merupakan salah satu bentuk gangguan yang terjadi akibat adanya tegangan dalam jaringan yang melebihi batas atau ambang tegangan. Tegangan lebih (*overvoltage*) ini biasanya disebabkan oleh 2 hal yaitu kesalahan pada AVR atau pengatur tap transformator pada sistem distribusi tenaga listrik dan penyebab yang kedua adalah sambaran petir atau surja petir. Petir yang menyambar biasanya pada saluran yang tinggi dimana awan yang bermuatan akan menuju ketanah melalui tiang (menara), jika arus petir lebih besar dari tahanan pentanahan dari menara maka akan timbul tegangan tinggi pada menara.

e. Gangguan Hubung singkat

Hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya sentuhan antara bagian penghantar yang bertegangan atau tidak bertegangan sehingga terjadi kondisi yang tak normal pada arus dalam rangkaian. Sentuhan tersebut dapat terjadi karena mungkin ketahanan isolasi yang digunakan sudah usang, aus, dan umur pemakaian yang sudah lama dan harus diganti (Partaona Harahap, 2019).

### 3.5 Rele Proteksi

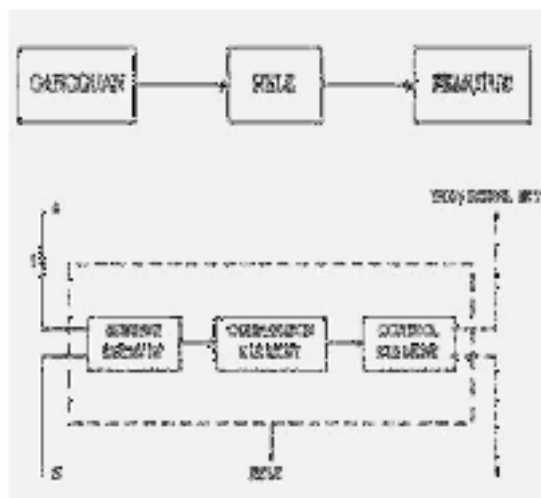
Tujuan dari sistem pengaman adalah untuk menjalankan *circuit breaker* secepat mungkin terhadap gangguan yang terjadi. Sehingga bisa mencegah/meminimaliskan kerusakan pada peralatan yang terjadi akibat gangguan. Peralatan sistem pengaman terdiri atas:

- rele,
- pemutus daya (*Circuit Breaker*),

- trafo arus (CT), dan
- trafo tegangan (PT).

Penggunaan Rele Pengaman pada sistem tenaga . Rele Arus Lebih/*Over current relay*, Rele arah/*directional relay*, Rele jarak/*Distance relay*, Rele Differensial/*Differential relay*.

Bila gangguan terjadi pada suatu kawasan maka rele pada kawasan tersebut akan segera akan mendeteksi dan melepaskan diri dari bagian lainnya. Rele pengaman dan kawasan pengamannya dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3. 40 Sistem Proteksi Rele

Sumber : Sepam seri 40 (2020)

Rele arah digunakan apabila arus gangguan mengalir dari banyak jurusan menuju ke titik gangguan melalui lokasi dari rele. Sehingga rele tanah berfungsi untuk memberi sinyal pada CB untuk mengamankan satu arah (I Gusti Putu Arka, 2015).

### 3.6 Sepam seri 40

#### 3.6.1 Spesifikasi



General settings		Selection	Setting range
I <sub>tr</sub>	Rated phase current (nominal primary current)	2 or 3 CT = A, E, A	1 A to 6250 A
I <sub>tr</sub>	Base current according to rated power of equipment <sup>(1)</sup>	5 (LPCT)	25 A to 2500 A <sup>(2)</sup> 0.2 A to 1.5 A
I <sub>tr0</sub>	Rated residual current	Sum of 3 phase currents CSH20 or CSH200 core balance CT 1 A/5 A CT 1 A/5 A CT Sensitivity = 10 GTH90 + core balance CT other than CSH20 or CSH200: the core balance CT value in square millimeter 50 mm <sup>2</sup> (1250)	See in rated phase current 2 A, 5 A or 20 A rating 1 A to 6250 A (n <sub>0</sub> = 1) 0.1 A to 625 A (n <sub>0</sub> = 10) According to current transformer and type of ACB90
U <sub>tr0</sub>	Rated primary phase-to-phase voltage (App. rated primary phase-to-neutral voltage $U_{tr0} = U_{tr}/\sqrt{3}$ )		220 V to 250 kV
U <sub>tr</sub>	Rated secondary phase-to-phase voltage	5 V/A, 1 V, 10, 50 2 V/A, 0.2 V, 0.5 1 V/A, 0.1	50 V to 250 V in steps of 1 V 20 V to 120 V in steps of 1 V 20 V to 120 V in steps of 1 V
U <sub>tr01</sub>	Secondary zero sequence voltage for primary zero sequence voltage (kV/√3)		U <sub>tr0</sub> /3 or U <sub>tr0</sub> /3
	Rated frequency		50 Hz or 60 Hz
	Integration period (for demand current and peak demand current and power)		5, 15, 30, 60 min
	Time-type accumulated energy meter	Incremental active energy Incremental reactive energy	0.1 kWh to 9 MWh 0.1 kvarh to 9 Mvarh

(1) In values for LPCT, in A: 25, 50, 100, 125, 133, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800, 1000, 1600, 2000, 2500

(2) Even if the value is within the range, it has to be rounded according to the setting step of 1 or 10 A (i.e. 25.2 A → 25 A).

Gambar 3. 41 Spesifikasi dari Sepam seri 40

Sumber : Sepam seri 40 (2020)

### 3.6.2 Diskripsi Pengukuran dan Diagnosis

Pengukuran pada Sepam adalah unit pengukuran presisi. Semua data pengukuran dan diagnosis yang digunakan untuk pelaksanaan dan diperlukan untuk operasi dan pemeliharaan peralatan yang tersedia secara lokal atau jarak jauh, dinyatakan dalam unit terkait (A, V, W, dll.).

#### 1. Metering

##### • Phase Current

Arus RMS untuk setiap fase, dengan mempertimbangkan harmonik hingga nomor 13. Berbagai jenis sensor dapat digunakan untuk mengukur arus fase:

- 1A atau 5A *Current Transformers*
- *Low Power Current Transformers* (LPCT) untuk tipe sensor arus

##### • Beban Arus dan Beban Puncak

Dihitung sesuai dengan arus 3 fase I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> dan I<sub>3</sub>

- Beban dihitung selama periode yang dapat disesuaikan dari 5 hingga 60 menit
- Beban puncak adalah arus permintaan terbesar dan menunjukkan arus yang ditarik oleh beban puncak

##### • Tegangan dan Frekuensi

Pengukuran berikut ini tersedia sesuai dengan sensor tegangan yang terhubung:

- Tegangan fasa ke netral V1, V2, V3
  - Tegangan fasa ke fasa U21, U32, U13
  - Tegangan residual V0
  - Frekuensi f
  - Urutan tegangan positif Vd dan urutan tegangan negative Vi
  - Daya
 

Daya dihitung berdasarkan arus fasa I1, I2 dan I3:

    - Daya Aktif
    - Daya Reaktif
    - Daya Semu
    - *Power Factor*
  - Energi
    - 4 energi yang terakumulasi terhitung berdasarkan tegangan dan arus fasa yang diukur I1, I2 dan I3: energi aktif dan energi reaktif di kedua arah
  - *Temperature*

Pengukuran akurat suhu di dalam peralatan yang dilengkapi dengan RTD tipe Pt100, Ni100 atau Ni120, terhubung ke modul MET148-2 jarak jauh opsional.
2. *Machine Diagnosis Assistance*
- *Thermal Capacity Used*

Penumpukan suhu yang setara di dalam mesin, dihitung dengan fungsi perlindungan kelebihan panas termal. Ditampilkan sebagai persentase dari kapasitas termal terukur
  - *Waiting Time after Overload Tripping*

Data prediktif dihitung oleh fungsi perlindungan *thermal overload*. Menunggu waktu untuk menghindari *tripping* perlindungan termal berlebih dengan memberi energi kembali secara dini pada peralatan yang tidak cukup dingin.
3. *Network Diagnosis Assistance*
- *Tripping Context*

Penyimpanan arus tripping dan nilai  $I_0$ ,  $I_i$ ,  $U_{21}$ ,  $U_{32}$ ,  $U_{13}$ ,  $V_0$ ,  $V_i$ ,  $V_d$ ,  $f$ ,  $P$  dan  $Q$  ketika terjadi trip. Nilai untuk lima history terakhir disimpan.

- *Tripping Current*

Penyimpanan arus 3 fasa dan arus gangguan tanah pada *history* Sepam terakhir, untuk menunjukkan arus gangguan. Nilai-nilai disimpan dalam konteks *tripping*.

- *Fault location*

Fungsi diagnosis jaringan 21FL menghitung jarak ke tempat terjadinya *tripping* yang terletak di jaringan tegangan menengah. Itu terkait dengan fungsi perlindungan berikut:

- *Single phase fault-50N/51N or 67N*
- *Multi-phase fault-50/51 or 67*

Hanya unit dengan fungsi perlindungan yang dikonfigurasi untuk *trip* pemutus arus yang mengaktifkan fungsi *locator* kesalahan. Resistansi kesalahan juga dihitung. Hasil perhitungan, serta informasi tentang jenis kesalahan yang ditemukan dan fase yang salah ditampilkan dan disimpan dalam konteks tersandung. Jarak patahan dapat dihitung dalam mil atau kilometer. Fungsi 21FL dirancang untuk beroperasi pada pengumpan yang masuk pada jaringan dengan beberapa pengumpan.

#### 4. Sepam *Self-Diagnosis*

- *Detection of Plugged Connectors*

Sistem pemeriksaan apakah sensor arus atau tegangan terhubung. Konektor yang hilang merupakan kesalahan yang besar.

- *Configuration Checking*

Sistem pemeriksaan apakah modul opsional yang dikonfigurasi hadir dan berfungsi dengan baik dan benar. Tidak adanya atau kegagalan modul *remote* adalah kegagalan kecil, tidak adanya atau kegagalan modul input / output logika adalah kegagalan utama.

#### 5. *Switchgear Diagnosis Assistance*

- *ANSI 60/60FL-CT/VT supervision*

Digunakan sebagai monitoring untuk seluruh rantai meteran:

- *CT dan VT sensors*
- *Connection*
- *Sepam Analog Input*

*Monitoring* terdiri dari:

- Pemeriksaan konsistensi arus dan tegangan yang diukur
- Pada transformator adanya tegangan sisa kontak putus

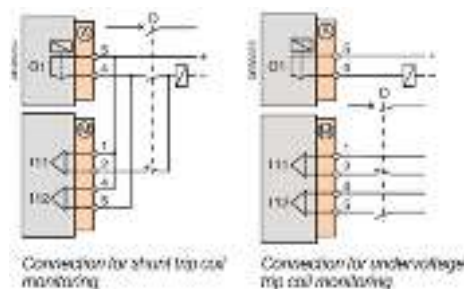
Jika terjadi kehilangan data pengukuran arus atau tegangan, fungsi perlindungan yang ditetapkan dapat dihambat untuk menghindari gangguan

- *ANSI 74-Trip Circuit Supervision*

Untuk mendeteksi adanya trip pada circuit, Sepam me-monitor:

- Koneksi kumparan pada *shunt trip*
- Pencocokan kontak perangkat pada posisi terbuka/tertutup yang rusak.
- Eksekusi perangkat yang untuk perintah buka dan tutup.

Jaringan yang mengalami *trip* hanya diawasi ketika terhubung seperti yang ditunjukkan di bawah ini:



Gambar 3. 42 *Monitor Jaringan Trip*

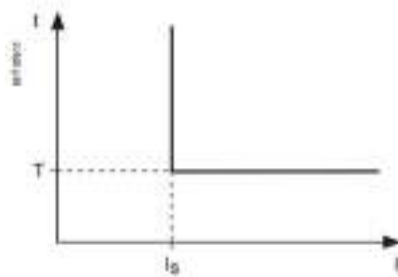
Sumber : Sepam seri 40 (2020)

### 3.6.3 Sistem Proteksi

### 1. ANSI Kode: 50/51 *Phase Overcurrent*

Fungsi dari *phase overcurrent* dibagi menjadi 2 kelompok yang mana terdiri dari 4 unit. 2 kelompok tersebut disebut dengan bagian A dan bagian B. dalam pemindahan mode dari bagian A atau B dengan ditentukannya pada pengaturan parameter yang ada pada Sepam, dapat menggunakan *remote control* ataupun dengan cara pemaksaan dalam penggunaan bagian A ataupun B. Sistem proteksi ini bekerja saat dimana arus 2 fasa atau 3 mencapai *setting point* yang telah ditentukan pada Sepam. Adanya alarm pada Sepam yang mana terhubung pada sistem pengoperasian yang mana akan menampilkan jalur fasa yang terjadi trip atau terjadi gangguan

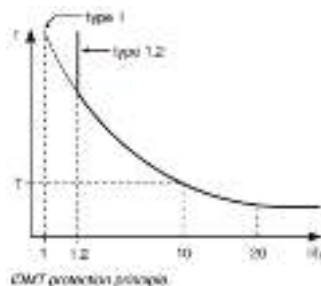
Berikut adalah grafik hubungan antar arus dengan *time delay* dimana  $I_s$  adalah *setting point* yang dinyatakan dalam bentuk ampere dan  $T$  adalah *time delay* operasi untuk perlindungan.



Gambar 3. 43 Hubungan Arus dengan *Time Delay*

Sumber : Sepam seri 40 (2020)

Berikut adalah grafik hubungan arus dengan *time delay* dimana berdasarkan pada IEC 60255-3, BS 142, dan standar IEEE C-37.112.



Gambar 3. 44 Hubungan Arus dengan *Time Delay*

Sumber : Sepam seri 40 (2020)

Pengaturan dari  $I_s$  disesuaikan dengan asimtot kurva *vertical*.



Dilihat dari karakteristik untuk *definite time* dengan *rating* arus 5 Ampere memiliki rentang arus untuk pembacaan Sepam dari 0,1 Ampere hingga 24 terhadap arus primer.

Penjelasan mengenai *overcurrent* pada penyulang sama halnya dengan penjelasan *overcurrent* pada generator yang mana merupakan terjadinya *tripping* yang diakibatkan *short circuit* dimana arus yang dihasilkan oleh *overcurrent* tidak terhingga dikarenakan nilai hambatan saat terjadinya *short circuit* hampir mendekati 0. Berikut perhitungan nilai arus saat terjadinya *short circuit*:

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

$$I = \frac{12000}{0}$$

$$I = \text{infinity}$$

Keterangan:

dimisalkan nilai tegangan rata2 berkisar 12000 Volt

Dari perhitungan di atas didapat bahwa arus yang dihasilkan saat terjadi *short circuit* bernilai tak terhingga dalam waktu kurang dari 1 detik dapat dikatakan bahwa *overcurrent* terjadi dengan waktu yang sangat singkat dan menghasilkan besar arus yang tak terhingga yang mana terjadi pada antar fasa.

Arus yang terbebaskan melebihi batas yang telah diatur menggunakan Sepam seri 40. Pada pengaturan Sepam seri 40 tertera batas arus yang mana telah diatur. Spesifikasi dari *Current Transformator* (CT) yang digunakan untuk area Mandolin berkisar 300 Ampere untuk sisi primer yang mana akan diubah menjadi 5 Ampere untuk sisi sekunder, sedangkan untuk area Ukulele, Harpa sama halnya dengan area Mandolin untuk spesifikasi CT yang digunakan. Dilain hal, untuk area Sasando dan Gambus berkisar 200 Ampere untuk sisi primer yang mana akan diubah menjadi 5 Ampere untuk sisi sekunder serta untuk area Gitar berkisar 300 Ampere untuk sisi primer yang mana akan diubah menjadi 5 Ampere untuk sisi sekunder. Perusahaan ini tidak hanya mengirim secara langsung daya untuk masyarakat sekitar akan tetapi juga mengirim daya untuk distribusi ke masyarakat melalui

Gardu Induk Baturaja.

## 2. ANSI 50N/51N *Earth Fault*

Adanya *earth fault* sebagai pengaman terhadap gangguan tanah. Berbeda dengan phase *overcurrent*, kejadian *earth fault* terjadi pada hubungan antar fasa dengan netral dimana tidak adanya hambatan yang ada yang mana hambatan disini dimisalkan sebagai beban. Inti dari *earth fault* dimana suatu sistem tenaga listrik 3 fasa mengalami gangguan tanah yang mana gangguan tanah ini mengakibatkan terjadinya aliran arus ke tanah.

Berikut karakteristik dari pengaturan *earth fault*

Characteristics	
<b>Tripping curve</b>	
Setting	Definite time, IDMT, chosen according to last page 78
<b>Is0 set point</b>	
Definite time setting	$0.1 \text{ In0} \leq \text{Is0} \leq 15 \text{ In0}^{(1)}$ expressed in Amps
Sum of CTs <sup>(2)</sup>	$0.1 \text{ In0} \leq \text{Is0} \leq 15 \text{ In0}$
With CSH sensor	
2 A rating	0.2 A to 30 A
5 A rating	0.5 A to 75 A
20 A rating	2 A to 300 A
CT	$0.1 \text{ In0} \leq \text{Is0} \leq 15 \text{ In0}$ (min. 0.1 A)
Core balance CT with ACE990	$0.1 \text{ In0} < \text{Is0} < 15 \text{ In0}$
IDMT time setting	$0.1 \text{ In0} \leq \text{Is0} \leq \text{In0}^{(1)}$ expressed in Amps
Sum of CTs <sup>(2)</sup>	$0.1 \text{ In0} \leq \text{Is0} \leq \text{In0}$
With CSH sensor	
2 A rating	0.2 A to 2 A
5 A rating	0.5 A to 5 A
20 A rating	2 A to 20 A
CT	$0.1 \text{ In0} \leq \text{Is0} \leq \text{In0}$ (min. 0.1 A)
Core balance CT with ACE990	$0.1 \text{ In0} < \text{Is0} < \text{In0}$
Resolution	0.1 A or 1 digit
Accuracy <sup>(3)</sup>	$\pm 5\%$ or $\pm 0.01 \text{ In0}$
Drop out/pick-up ratio	93.5 % $\pm$ 5 % (with CSH sensor, CT or core balance CT + ACE990) 93.5 % $\pm$ 5 % or $> (1 - 0.015 \text{ In0/Is0}) \times 100\%$ (sum of CTs)
<b>Harmonic 2 restraint</b>	
Fixed threshold	20 % $\pm$ 5 %
<b>Time delay T (operation time at 18 Is0)</b>	
Setting	Definite time IDMT
	inst. 50 ms $\leq T \leq 300$ s $100 \text{ ms} \leq T \leq 12.5$ s or TMS <sup>(4)</sup>
Resolution	10 ms or 1 digit
Accuracy <sup>(5)</sup>	Definite time IDMT
	$\pm 2\%$ or from -10 ms to +25 ms class 5 or from -10 ms to +25 ms
<b>Timer hold delay T1</b>	
Definite time (timer hold)	0; 0.05 to 300 s
IDMT <sup>(6)</sup>	0.5 to 20 s
<b>Characteristic times</b>	
Operation time	Pick-up $< 35$ ms at 2 Is0 (typically 25 ms) Confirmed instantaneous: ■ inst. $< 50$ ms at 2 Is0 for Is0 $> 0.3 \text{ In0}$ (typically 35 ms) ■ inst. $< 70$ ms at 2 Is0 for Is0 $\leq 0.3 \text{ In0}$ (typically 50 ms)
Overshoot time	$< 35$ ms
Reset time	$< 40$ ms (for T1 = 0)

Gambar 3. 48 Karakteristik dalam Pengaturan *Earth Fault*

Sumber : Sepam seri 40 (2020)

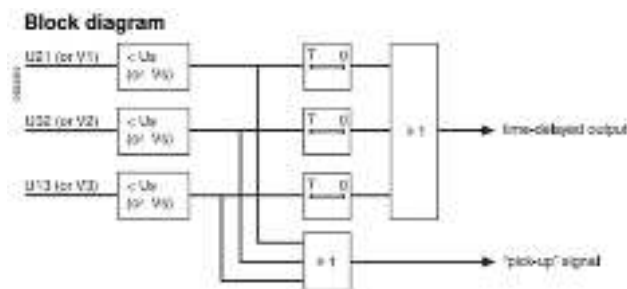




Fungsi dari proteksi 3 fasa dan beroperasi sesuai dengan pengaturan parameter dari tegangan antar fasa atau tegangan fasa dengan netral jika terjadi:

1. Tegangan salah satu fasa dengan netral ataupun fasa dengan fasa turun di bawah *setting point*
2. Dilihat dari *definite time delay*-nya

Berikut *block diagram* dalam pembacaan *undervoltage*



Gambar 3. 51 *Block Diagram*

Sumber : Sepam seri 40 (2020)

#### 4. ANSI 59 *Overvoltage*

Memproteksi terhadap tegangan jaringan yang nilainya di atas tegangan *setting* (tegangan normal). Proteksi ini bekerja berdasarkan pengukuran tegangan antar phase dan tegangan *phase* ke netral yang dimonitor terpisah.

#### 5. ANSI 81H *Overfrequency*

Proteksi terhadap frekuensi tinggi yang dibandingkan dengan frekuensi operasi normal yang dibutuhkan. Proteksi ini bermanfaat untuk memonitor kualitas sebuah *power supply* dan untuk peralatan yang memerlukan frekuensi yang stabil.

#### 6. ANSI 81L *Underfrequency*

Proteksi terhadap frekuensi rendah yang dibandingkan dengan frekuensi operasi normal yang dibutuhkan. Proteksi ini bermanfaat untuk memonitor kualitas sebuah *power supply* dan untuk peralatan yang memerlukan frekuensi yang stabil

#### 7. ANSI 38/49T *Temperature Monitoring*

Proteksi yang mendeteksi kelainan temperatur pada sebuah peralatan berdasarkan pengukuran temperatur melalui sebuah sensor yang terpasang pada peralatan tersebut, seperti temperatur lilitan primer maupun sekunder pada sebuah transformator maupun temperatur pada lilitan rotor atau stator pada sebuah motor atau generator

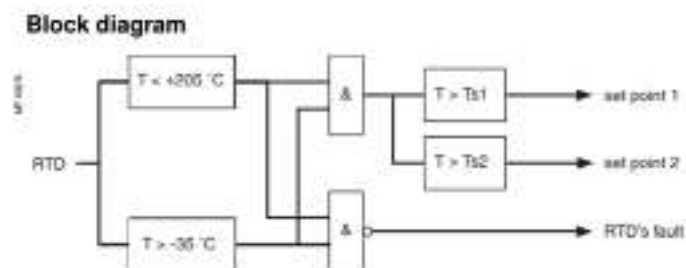
Characteristics		
Ts1 and Ts2 set points	°C	°F
Setting	0 °C to 180 °C	32 °F to 356 °F
Accuracy (%)	±1.5 °C	±2.7 °F
Resolution	1 °C	1 °F
Pick-up/drop-out difference	3 °C ±0.5 °	
Characteristic times		
Tripping time	< 5 seconds	
(T) See "connection of MET148-2 module" chapter for accuracy denoting according to wiring cross-section		

Gambar 3. 52 Karakteristik *Temperature Monitoring*

Sumber : Sepam seri 40 (2020)

Karakteristik untuk penentuan *setting point* suhu berkisar 0°C hingga 180°C jika dikonversi pada Fahrenheit berkisar 32°F hingga 356°F dengan tingkat akurasi berkisar ±1,5°C atau ±2,7°F.

Berikut *block diagram* dalam pembacaan suhu (Protection, 2018)



Gambar 3. 53 *Block Diagram*

Sumber : Sepam seri 40 (2020)

## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1. Tranformator *Step Up* ONAF



Gambar 4. 1 Transformator *Step Up* ONAF

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Berikut spesifikasi dari Trafo yang digunakan yang mana terlihat pada *nameplate* yang ada:

Daya Semu	: 16000 kVA
	: $\sqrt{3} \cdot V \cdot I$
	: 1,73.6300.1466,3
	: 15981203,7 VA
Frekuensi	: 50 Hz
<i>Number of Phase</i>	: 3
<i>Temperature rise of top oil</i>	: 55 °C
<i>Impedance</i>	: 8%

Dimisalkan Transformator dalam keadaan ideal diketahui:

Tegangan pada Lilitan Primer	: 6300 Volt
Arus pada Lilitan Primer	: 1466,3 Ampere
Tegangan pada Lilitan Sekunder	: 21000 Volt
Arus pada Lilitan Sekunder	: 439,9 Ampere

Adanya prinsip kerja dari adanya *Tap Changer* dimana prinsip

pengaturan tegangan sekunder berdasarkan perubahan jumlah belitan primer atau sekunder yang mana dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{V1}{V2} = \frac{N1}{N2} = a$$

Dimana:

V1 ialah tegangan primer

V2 ialah tegangan sekunder

N1 ialah jumlah lilitan atau belitan primer

N2 ialah jumlah lilitan atau belitan sekunder

Jika lilitan primer berkurang maka tegangan per lilitan akan bertambah sehingga tegangan sekunder bertambah pula. pengurangan lilitan primer mempunyai pengaruh yang sama dengan penambahan lilitan sekunder.

Berikut perhitungan rasio transformator yang mana dimisalkan transformator tersebut dalam kondisi ideal:

$$\frac{V1}{V2} = \frac{N1}{N2} = a$$

$$\frac{6300}{21000} = a$$

$$\frac{63}{210} = a$$

$$\frac{9}{30} = a$$

$$\frac{3}{10} = a$$

Dilihat dari perhitungan di atas bahwa rasio untuk lilitan primer dan sekunder berkisar 3:10 yang mana tegangan sekunder akan bertambah jika jumlah lilitan pada primer berkurang dimana pengurangan lilitan primer memiliki pengaruh yang sama pula dengan adanya penambahan lilitan sekunder.

Pada *nameplate* di atas tertera bahwa nilai impedansi berkisar 8% yang mana merupakan bahwa adanya *drop* tegangan yang disebabkan oleh impedansi tersebut adalah 8% dari tegangan yang diterapkan.

Jika dilihat dari *nameplate* dari trafo tersebut bahwa rasio yang dimiliki

untuk tegangan 6300/21000 Volt memiliki persen impedansi berkisar 8%, maka nilai *drop* tegangan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{drop} &= V_{primer} \times Z(\%) \\ &= 6300 \times 0,08 \\ &= 504 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapat bahwa nilai *drop* tegangan sebesar 504 Volt, hal ini akan adanya penurunan tegangan sebesar 504 Volt di sisi belitan tegangan primer yang ditimbulkan karena adanya rugi-rugi pada belitan ketika trafo tersebut dibebani dengan beban penuh.

Dari nilai persen impedansi sebesar 8% tersebut, hanya 1%-7% yang merupakan nilai yang ditimbulkan oleh nilai impedansi pada inti transformator (rugi-rugi inti), sisanya sebesar 93% lebih disebabkan karena impedansi yang mana ditimbulkan oleh belitan transformator jarang dioperasikan saat terjadi beban penuh, sehingga kemungkinan terjadinya *drop* tegangan menjadi rendah.

Berikut perhitungan nilai dari 8% impedansi transformator tersebut, dapat dilakukan dengan perhitungan:

$$\begin{aligned} Z &= \frac{V_{drop}}{I} \\ &= \frac{504}{1466,3} \\ &= 0,34 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Nilai arus sebesar 1466,3 Ampere didapat dari *nameplate* transformator dimana kapasitas arus yang dihasilkan atau bisa dikatakan bila terjadi pembebanan secara penuh

## 4.2. Sepam Tipe T Series 40

### 4.2.1. Cara Kerja dari Sepam seri 40

Cara kerja bila terjadi *Overcurrent*



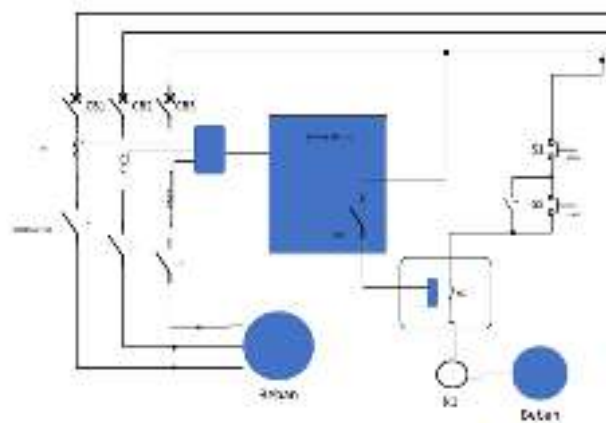
Gambar 4. 2 Prototype Sistem Proteksi Sepam seri 40

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Gambar di atas merupakan *prototype* dari beban 3 phase yang dihubungkan ke sistem pengaturan proteksi pada Sepam seri 40. Komponen yang digunakan dalam pembuatan *prototype* tersebut terdiri dari:

1. *Minimum Circuit Breaker* (MCB)
2. *Current Transformator* (CT)
3. *Relay*
4. Kontaktor (dimisalkan seperti *Voltage Vacuum Circuit Breaker* (VVCB))
5. Motor 3 fasa (dimisalkan seperti beban)
6. *Push button 2 channel*

Berikut *schematic diagram* untuk *prototype* di atas



Gambar 4. 3 *Schematic Diagram*

Sumber : Penulis (2020)

Keterangan:

Kontaktor = *Voltage Vacuum Circuit Breaker* (VVCB)

Motor 3 fasa = Beban

Bila dalam keadaan normal:

1. *Relay* pada Sepam dalam keadaan *normally open*
2. *Relay* pada VVCB dalam keadaan *normally closed*

Bila dalam keadaan *tripping* yang diakibatkan *overcurrent*:

1. Terjadinya hubung singkat antar fasa yang mengakibatkan besar nilai arus yang tak terhingga dikarenakan nilai hambatan bisa dikatakan 0
2. Adanya *socket* pada *Current Transformer* yang difungsikan sebagai pembacaan nilai arus pada sisi primer dan sekunder yang mana adanya pengaturan untuk nilai perbandingan arus bila terjadi hubung singkat atau *short circuit* yang telah terprogram pada mikrokontroler yang berada di dalam Sepam seri 40 serta untuk mengetahui pada *line* berapa terjadinya hubung singkat dan juga sebagai *monitoring* besar nilai arus saat terjadinya hubung singkat
3. *Relay* pada VVCB akan berganti menjadi *normally open* dari *normally closed* dimana sebelumnya adanya perintah dari mikrokontroler untuk *relay* yang ada pada Sepam seri 40 yang mana keadaan sebelumnya



4. *normally open* menjadi *normally closed*

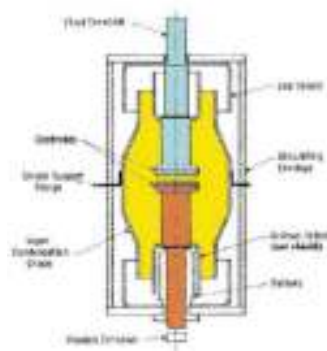
Berikut adanya 2 bagian yang ada pada VVCB



Gambar 4. 4 *Voltage Vacuum Circuit Breaker*

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

- Bagian sisi kanan yang mana terdapat 2 pegas, rantai yang dikopel dengan motor, manual *spring charging access port* serta adanya *manual close button* yang difungsikan sebagai kontak yang mana berada pada bagian dalam *vacuum* yang berwarna merah.
  - Bagian sisi kiri yang mana terdapat *manual open push button* yang difungsikan saat adanya perawatan terhadap VVCB yang digunakan.
5. Posisi kontak di bagian *vacuum* akan terbuka atau berjauhan. Berikut gambar kontak yang berada di dalam *vacuum*



Gambar 4. 5 *Interrupter VVCB*

Sumber : *Website* (2020)

#### 4.2.2. Sistem Proteksi



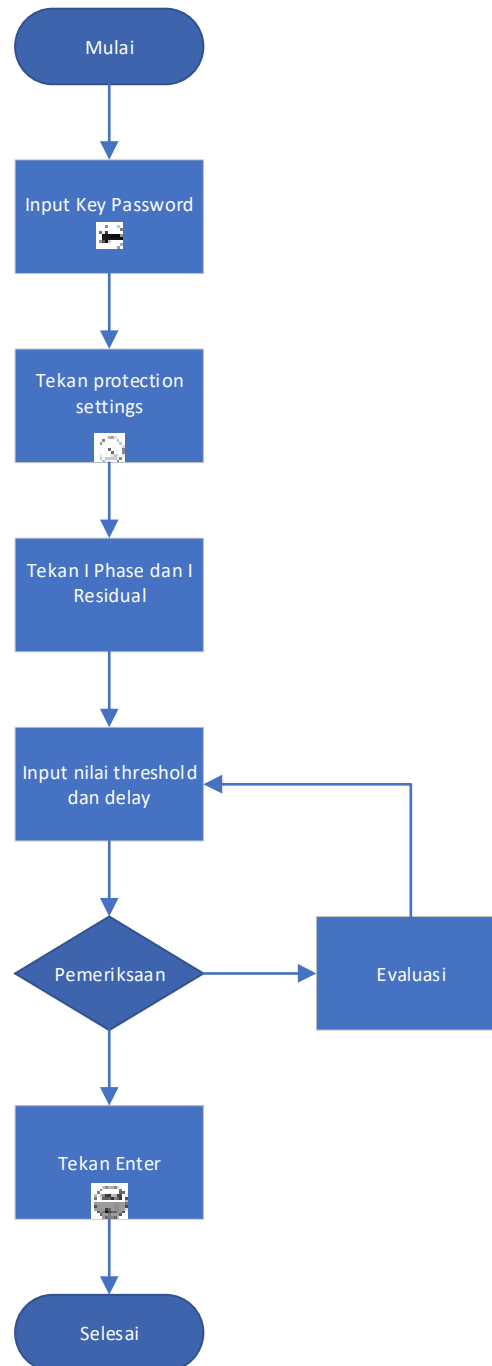
Gambar 4. 6 *Interface* Sepam seri 40

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Penggunaan sistem proteksi pada suatu perusahaan khususnya perusahaan yang bergerak dalam bidang energi sangatlah penting, bahkan adanya pekerja yang memang dikhususkan untuk bagian sistem proteksi.

Gambar di atas merupakan tampilan atau *interface* dari suatu alat proteksi yaitu Sepam Seri 40 yang digunakan pada penyulang 20 kV di daerah Gambus yang mana dibagi menjadi 2 bagian yaitu Lubuk Batang dan Gunung Meraksa yang mana untuk gambar satelit telah dipaparkan pada bagian penyulang atau distribusi 20 kV.

Berikut alur bagaimana cara mengoperasikan Sepam seri 40



Gambar 4. 7 *Flowchart* Alur Pengoperasian Sepam

Sumber : Penulis (2020)

Sepam Seri 40 dilengkapi dengan berbagai proteksi diantaranya sebagai berikut:

1. *Phase overcurrent*
2. *Earth fault*

3. *Undervoltage*
4. *Overvoltage*
5. *Overfrequency*
6. *Underfrequency*
7. *Temperature monitoring*

Berikut penjelasan mengenai sistem proteksi yang ada pada Sepam Seri 40:

1. ANSI Kode: 50/51 *Phase Overcurrent*

Penjelasan mengenai overcurrent pada penyulang sama halnya dengan penjelasan *overcurrent* pada generator yang mana merupakan terjadinya *tripping* yang diakibatkan *short circuit* dimana arus yang dihasilkan oleh *overcurrent* tidak terhingga dikarenakan nilai hambatan saat terjadinya *short circuit* hampir mendekati 0. Berikut perhitungan nilai arus saat terjadinya *short circuit*:

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

$$I = \frac{12000}{0}$$

$$I = \text{infinity}$$

Keterangan:

dimisalkan nilai tegangan rata-rata berkisar 12000 Volt

Dari perhitungan di atas didapat bahwa arus yang dihasilkan saat terjadi *short circuit* bernilai tak terhingga dalam waktu kurang dari 1 detik dapat dikatakan bahwa *overcurrent* terjadi dengan waktu yang sangat singkat dan menghasilkan besar arus yang tak terhingga yang mana terjadi pada antar fasa.

Arus yang terbebaskan melebihi batas yang telah diatur menggunakan Sepam seri 40. Pada pengaturan Sepam seri 40 tertera batas arus yang mana telah diatur. Spesifikasi dari *Current Transformator* (CT) yang digunakan untuk area Mandolin berkisar 300 Ampere untuk sisi primer yang mana akan diubah menjadi 5 Ampere untuk sisi sekunder, sedangkan untuk area Ukulele, Harpa sama halnya dengan area Mandolin untuk spesifikasi CT

yang digunakan. Dilain hal, untuk area Sasando dan Gambus berkisar 200 Ampere untuk sisi primer yang mana akan diubah menjadi 5 Ampere untuk sisi sekunder serta untuk area Gitar berkisar 300 Ampere untuk sisi primer yang mana akan diubah menjadi 5 Ampere untuk sisi sekunder. Perusahaan ini tidak hanya mengirim secara langsung daya untuk masyarakat sekitar akan tetapi juga mengirim daya untuk distribusi ke masyarakat melalui Gardu Induk Baturaja.

## 2. ANSI 50N/51N *Earth Fault*

Adanya *earth fault* sebagai pengaman terhadap gangguan tanah. Berbeda dengan *phase overcurrent*, kejadian *earth fault* terjadi pada hubungan antar fasa dengan netral dimana tidak adanya hambatan yang ada yang mana hambatan disini dimisalkan sebagai beban. Inti dari *earth fault* dimana suatu sistem tenaga listrik 3 fasa mengalami gangguan tanah yang mana gangguan tanah ini mengakibatkan terjadinya aliran arus ke tanah.

## 3. ANSI 27 *Undervoltage*

Proteksi *undervoltage* pada Sepam seri 40 diperuntukkan untuk perlindungan motor terhadap tegangan rendah atau sebagai pendeteksi tegangan pada suatu jaringan yang nantinya akan mengaktifkan pengaturan otomatis *load shedding*. Proteksi ini bekerja berdasarkan pengukuran tegangan antar fasa

## 4. ANSI 59 *Overvoltage*

Memproteksi terhadap tegangan jaringan yang nilainya di atas tegangan *setting* (tegangan normal). Proteksi ini bekerja berdasarkan pengukuran tegangan antar *phase* dan tegangan *phase* ke netral yang dimonitor terpisah.

## 5. ANSI 81H *Overfrequency*

Proteksi terhadap frekuensi tinggi yang dibandingkan dengan frekuensi operasi normal yang dibutuhkan. Proteksi ini bermanfaat untuk memonitor kualitas sebuah power supply dan untuk peralatan yang memerlukan frekuensi yang stabil.

## 6. ANSI 81L *Underfrequency*

Proteksi terhadap frekuensi rendah yang dibandingkan dengan frekuensi

operasi normal yang dibutuhkan. Proteksi ini bermanfaat untuk memonitor kualitas sebuah *power supply* dan untuk peralatan yang memerlukan frekuensi yang stabil

#### 7. ANSI 38/49T *Temperature Monitoring*

Proteksi yang mendeteksi kelainan temperatur pada sebuah peralatan berdasarkan pengukuran temperatur melalui sebuah sensor yang terpasang pada peralatan tersebut, seperti temperatur lilitan perimer maupun sekunder pada sebuah transformator maupun temperatur pada lilitan rotor atau stator pada sebuah motor atau generator

#### 4.2.2.1. ANSI 50/51-*Phase Fault*

Proteksi hubung singkat antar fasa, pengukuran sensitif terhadap arus fasa yang mana sangat tinggi.

Karakteristik

- Adanya 2 kelompok pengaturan
- Dapat diatur tanpa adanya *delay* dan adanya *delay* saat terjadi *tripping*
- Adanya waktu pasti (Definite Time) yang mana membentuk kurva antara arus dan waktu.

Pengaturan untuk *Phase Fault* pada penyulang Gambus terdapat 2 bagian yang digunakan. Pertama ialah 1A yang mana dipergunakan untuk *low set*, yang dimaksud dari *low set* adalah jenis perlindungan yang digunakan. Perlindungan *low set* diperuntukkan untuk pembebanan yang berlebih yang mana terlihat kenaikannya secara fluktuatif dan tidak terjadi secara tiba-tiba tanpa adanya jeda waktu. Kedua ialah 2A yang mana dipergunakan untuk *high set*, yang dimaksud dari *high set* sama halnya dengan *low set* (jenis perlindungan yang digunakan). Perlindungan *high set* diperuntukkan untuk gangguan yang terjadi secara seketika tanpa adanya jeda waktu yang sama halnya dengan terjadinya hubung singkat antar fasa. Berikut pengaturan *phase fault* pada Sepam seri 40:

1A : 200 Ampere

Delay : 0,1 detik

2A : 1,2 kA

Delay : 0,1 detik

#### 4.2.2.2. ANSI 50N/51N -*Earth Fault*

Proteksi *earth fault* berdasarkan nilai arus sekunder yang telah terukur:

- ANSI 50N/51N: perhitungan arus residual atau arus sekunder yang diukur melalui sensor arus 3 fasa

Karakteristik

- Adanya 2 kelompok pengaturan
- Adanya waktu pasti (*Definite Time*) yang mana membentuk kurva antara arus dan waktu
- Dengan atau tanpa adanya *delay* atau adanya jeda terhadap waktu

Pengaturan untuk *earth fault* pada penyulang Gambus terdapat 2 bagian yang ada. Pertama ialah 1A dan B yang mana dipergunakan untuk *low set*, yang dimaksud dari *low set* adalah jenis perlindungan yang digunakan. Perlindungan *low set* diperuntukkan untuk pembebanan yang berlebih yang mana terlihat kenaikannya secara fluktuatif dan tidak terjadi secara tiba-tiba tanpa adanya jeda waktu. Kedua ialah 2A dan B yang mana dipergunakan untuk *high set*, yang dimaksud dari *high set* sama halnya dengan *low set* (jenis perlindungan yang digunakan). Perlindungan *high set* diperuntukkan untuk gangguan yang terjadi secara seketika tanpa adanya jeda waktu yang sama halnya dengan terjadinya hubung singkat antar fasa. Berikut pengaturan *earth fault* pada Sepam seri 40:

1A : 200 Ampere

Delay : 0,05 detik

1B : 1,26 Ka

Delay : 0,3 detik

2A : 800A

Delay : 0 detik

#### 4.2.2.3. *Overload*

*Current Transformer* merupakan salah satu alat transformator yang diletakkan dalam rangkaian tenaga listrik yang berguna sebagai alat untuk menurunkan besaran arus dari kumparan primer atau sisi primer menuju kumparan sekunder atau sisi sekunder yang mana dari nilai arus yang besar menuju pada nilai arus yang rendah dan juga untuk mengisolasi bagian yang bertegangan tinggi terhadap komponen yang ada di dalamnya. CT juga dihubungkan dengan *relay* pengaman yang mana dilakukan untuk memperluas batas pengukuran dari suatu alat ukur.

*Overload* merupakan arus yang terbebaskan melebihi batas dari kemampuan dari CT yang telah digunakan pada penyulang. Jika dilihat dari spesifikasi CT yang mana menggunakan rasio 200/5A, maka kapasitas arus pada kumparan kumparan primer berkisar 200 Ampere yang mana akan diubah menjadi 5 Ampere. Pada pengaturan Sepam Seri 40 adanya pengaturan nilai arus maksimum berkisar 200 Ampere dalam kurun waktu maksimal 0,1 detik.



Gambar 4. 8 Penyulang saat keadaan beban siang hari

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Untuk pemilihan CT pada penyulang Gambus pada keadaan belum mencapai beban penuh daya yang dihasilkan berkisar 1091 kW, sedangkan untuk tegangan berkisar 20891 Volt serta untuk *power factor* atau  $\cos \theta$  berkisar 0,98 dengan rasio berkisar 200/5A telah sesuai. Hal ini dapat



dibuktikan dengan rumus sebagai berikut:

$$P = V.I.\sqrt{3}. \cos \theta$$

$$1091 = 20,89.I.1,732.0,98$$

$$I = \frac{1091}{20,89.1,732.0,98}$$

$$I = \frac{1091}{35,4578}$$

$$I = 30,768 \text{ Ampere}$$



Gambar 4. 9 Penyulang saat keadaan beban penuh

Sumber : PT.Bakti Nugraha Yuda Energy (2020)

Berikut penyulang Gambus pada keadaan beban puncak yang mana daya yang dihasilkan berkisar 1474 kW, sedangkan untuk tegangan berkisar 20889 Volt serta untuk *power factor* atau  $\cos \theta$  berkisar 0,99 dengan rasio berkisar 200/5A telah sesuai. Hal ini dapat dibuktikan dengan rumus sebagai berikut:

$$P = V.I.\sqrt{3}. \cos \theta$$

$$1474 = 20,889.I.1,732.0,99$$

$$I = \frac{1474}{20,889.1,732.0,99}$$

$$I = \frac{1474}{35,817}$$

$$I = 41,153 \text{ Ampere}$$

Pemilihan rasio 200/5A karena rasio CT yang ada dimulai dari 5, 10, 25, 50, 75, 100, 200, 300, 600, dst. Jika pemilihan rasio dengan besar berkisar 50/5A tidaklah mungkin dikarenakan menurut perhitungan di atas bahwa arus primer dimana berada pada keadaan beban puncak berkisar 41,153 Ampere. Jika tetap memilih menggunakan rasio 50/5A maka CT akan mencapai titik maksimum pada saat keadaan beban penuh dikarenakan arus yang terukur sangatlah dekat dengan rentang arus dari CT yang digunakan dan juga harus disesuaikan dengan karakteristik Sepam yang digunakan. Hal mengenai spesifikasi Sepam telah dijelaskan pada bagian spesifikasi.

Untuk pemilihan PT yang digunakan disesuaikan dengan tegangan masukan yang mana berkisar  $\frac{20000}{\sqrt{3}}$  Volt untuk tegangan primernya, sedangkan rating tegangan sekundernya dipilih berkisar  $\frac{100}{\sqrt{3}}$  Volt. Hal ini disesuaikan dengan spesifikasi dari modul atau komponen yang digunakan pada Sepam. Sehingga pemilihan PT yang terpakai memiliki rasio berkisar 11547/57,7Volt.

#### 4.2.2.4. *Overcurrent*

- *Phase Fault*

Untuk daerah Gambus, pengaturan proteksi menggunakan Sepam seri 40 yang mana besar nilai arus maksimum berkisar 1200 Ampere dalam kurun waktu maksimal 0,1 detik. Berikut perhitungan perbandingan *overcurrent*:

$$\frac{200}{5} = \frac{1200}{x}$$

$$x = \frac{1200 \cdot 5}{200}$$

$$x = 6.5$$

$$x = 30 \text{ Ampere}$$

Dilihat dari perhitungan di atas dapat diketahui untuk nilai arus pada sisi

primer berkisar 1200 Ampere dan akan diubah menjadi 30 Ampere pada sisi sekunder dengan kurun waktu maksimal 0,1 detik. Tepat dari batas yang telah ditentukan, Sepam akan mengidentifikasi untuk segera melakukan *tripping*.

Characteristics		
<b>Tripping curve</b>		
Setting		Definite time, IDMT: chosen according to list on page 72
<b>Confirmation</b>		
Setting		by undervoltage (and T) by negative sequence overvoltage none, by confirmation
<b>Is set point</b>		
Setting	Definite time	0.1 In to $\leq 24$ In expressed in Amps
	IDMT	0.1 In to $\leq 2.4$ In expressed in Amps
Resolution		1 A or 1 digit
Accuracy <sup>(1)</sup>		±5 % or ±0.05 In
Drop out/clock up ratio		99.9 % ±5 % or $(1 - 0.015 \text{ In}) \pm 100 \%$
<b>Time delay T (operation time at 10 In)</b>		
Setting	Definite time	inst. to 0 ms to T $\leq 300$ s
	IDMT	100 ms to T $\leq 12.5$ s or TMS IN
Resolution		10 ms or 1 digit
Accuracy <sup>(1)</sup>	Definite time	<0 %, or Inst. to 10 ms to $\pm 25$ ms
	IDMT	Class 5 or Inst. to 0 ms to $\pm 25$ ms
<b>Timer hold delay Th</b>		
Definite time		
Timer hold		0: 0.05 to 300 s
IDMT IN		0 s to 25 s
<b>Characteristics break</b>		
Operation time		Pick-up < 35 ms at 3 In typically 35 ms Continued instantaneous: ■ Inst. = 50 ms at 2 In for In $\geq 0.5$ In typically 50 ms ■ Inst. = 70 ms at 2 In for In $< 0.5$ In typically 60 ms
Overload time		< 3 s ms
Reset time		< 30 ms (for T1 = 0)
<b>Harmonic restraint Z</b>		
Set point		0 to 60 %
<b>Maximum short-circuit current Isc</b>		
Setting		0 to 300 kA

Gambar 4. 10 Karakteristik *Overcurrent Phase Fault*

Sumber : Sepam seri 40 (2020)

Jika dilihat dari gambar di atas bahwa untuk ketentuan pengaturan Sepam yang mana berdasarkan referensi *International Electrical and Electronics Engineering* (IEEE) dan *International Electrotechnical Commission* (IEC) untuk *setting point* pembacaan arus sekunder untuk *definite time* memiliki rentang  $I_s \leq 24 I_n$ .

Dari hasil spesifikasi CT eksternal yang digunakan didapat nilai arus primer sebesar 200 Ampere. Berikut hasil perhitungan nilai *minimum* dan *maximum* untuk *overcurrent* untuk *phase fault* guna mendapatkan rentang nilai pengaturan pada Sepam seri 40

$$\begin{aligned} \text{Max} &= 24 * 200 \\ &= 4800 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Pengaturan dari Sepam didapat untuk *overcurrent* senilai 1200 Ampere, jika dilihat dari perhitungan untuk 1200 Ampere terbilang masuk ke dalam

rentang nilai  $20 \leq I_s \leq 4800$  yang berdasarkan pada IEEE dan IEC.

- *Earth Fault*

Untuk daerah Gambus pengaturan proteksi menggunakan Sepam seri 40 yang mana besar nilai arus maksimum berkisar 800 Ampere dalam kurun waktu maksimal 0 detik. Berikut perhitungan perbandingan *overcurrent*:

$$\frac{200}{5} = \frac{800}{x}$$

$$x = \frac{800.5}{200}$$

$$x = 20 \text{ Ampere}$$

Dilihat dari hasil perhitungan di atas diketahui untuk nilai arus pada sisi primer berkisar 800 Ampere dan akan diubah menjadi 20 Ampere pada sisi sekunder dalam kurun waktu maksimal 0 detik. Tepat dari batas yang telah ditentukan, Sepam akan mengidentifikasi untuk segera melakukan *tripping*.

Parameter	Value
General	
Model	SEPAM 40
Version	1.0
Factory	SEPAM 40
Serial	123456789
Overcurrent	
Pickup current	200 A
Time delay	0 s
Earth Fault	
Pickup current	20 A
Time delay	0 s

Gambar 4. 11 Karakteristik *Overcurrent Earth Fault*

Sumber : Sepam seri 40 (2020)

Jika dilihat dari gambar di atas bahwa untuk ketentuan pengaturan Sepam yang mana berdasarkan referensi *International Electrical and Electronics Engineering* (IEEE) dan *International Electrotechnical Commision* (IEC) untuk *setting point* pembacaan arus sekunder untuk *definite time* memiliki rentang  $I_{s0} \leq 15I_{n0}$ .

Dari hasil spesifikasi CT eksternal yang digunakan didapat nilai arus primer sebesar 200 Ampere. Berikut hasil perhitungan nilai *minimum* dan *maximum* untuk *overcurrent* untuk earth fault guna mendapatkan rentang nilai pengaturan pada Sepam seri 40

$$\begin{aligned}\text{Max} &= 15 * 200 \\ &= 3000 \text{ Ampere}\end{aligned}$$

Pengaturan dari Sepam didapat untuk *overcurrent* senilai 800 Ampere, jika dilihat dari perhitungan untuk 800 Ampere terbilang masuk ke dalam rentang nilai  $I_s \leq 3000$  yang berdasarkan pada IEEE dan IEC.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan sistem proteksi Sepam seri 40 pada penyulang Gambus dapat ditarik kesimpulan :

1. Rele proteksi yang mana salah satu diantaranya diperuntukkan untuk *overcurrent* penting bagi Sepam seri 40 jika terjadi kelebihan arus yang disebabkan adanya hubung singkat antar fasa maupun fasa dengan netral dan *overload* jika terjadi kelebihan pembebanan yang disebabkan oleh penyulang melebihi dari batas ketentuan *setting point* yang digunakan.
2. Arus setting *overcurrent* yang dipasang pada penyulang Gambus untuk bagian *Phase Fault* berkisar 1200 Ampere dalam kurun waktu 0,1 detik dengan arus pembacaan pada Sepam berkisar 30 Ampere dari hasil konversi terhadap 1200 Ampere dengan CT yang memiliki rasio 200/5.
3. Arus setting *overcurrent* yang dipasang pada penyulang Gambus untuk bagian *Earth Fault* berkisar 800 Ampere dalam kurun waktu 0 detik dengan arus pembacaan pada Sepam berkisar 20 Ampere dari hasil konversi terhadap 800 Ampere dengan CT yang memiliki rasio 200/5. Arus setting *overload* yang dipasang pada penyulang Gambus berkisar 200 Ampere yang mana pemilihan tersebut adanya perhitungan dimana saat terjadi pembebanan pada siang hari berkisar 30,678 Ampere sedangkan pada saat beban puncak yang terjadi pada pukul 7 hingga 9 malam berkisar 41,153 Ampere yang mana dimungkinkan untuk memilih *range* arus hingga 200 Ampere dikarenakan kemungkinan adanya penambahan beban berupa adanya pembangunan baru dan bila memilih *range* hanya 50 Ampere sangatlah dekat dengan keadaan beban puncak
4. Dari data dan kondisi langsung dari lapangan, dapat disimpulkan bahwa sistem proteksi pada penyulang Gambus bekerja dengan baik dan dalam kondisi yang baik pula.

## 5.2.Saran

Saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk perusahaan, universitas dan praktikan tersendiri antara lain :

Untuk PT Bakti Nugraha Yuda Energy

- Sebaiknya ditambahkan buku referensi untuk peserta PKL agar mahasiswa dapat mempelajari materi tentang pembangkitan dengan mudah
- Perlu pemeliharaan berkala untuk mengurangi gangguan akibat peralatan ataupun hewan sekitar yang dapat mengganggu sistem distribusi atau untuk memperkecil gangguan dari gesekan antara pohon dengan kawat
- Perlu adanya komunikasi lebih antara PT BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY dengan PT PLN INDONESIA agar dapat mengetahui mengapa *setting point* pada penyulang diatur sedemikian rupa

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Fatoni, R. S. W. A. S., 2016. Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv PT.PLN Rayon Lumajang dengan Metode FMEA (Failure Modes and Effects Analysis). *JURNAL TEKNIK ITS*, Volume 5 No. 2, pp. B-462 – B-467.
- I Gusti Putu Arka, N. M. I. G. N. S., 2015. Analisis Pengaruh Pemasangan Sistem Proteksi Rele Terhadap Profil Tegangan dan Keandalan Jaringan. *Logic*, Volume 15. No. 3, pp. 153-158.
- Partaona Harahap, M. A. A. P., 2019. Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload dan Jatuh Tegangan Pada Trafo B1 11 Rayon Tanah Jawa dengan Simulasi Etap 12.6.0. *Rekayasa Elektrikal dan Energi*, Volume 1. No. 2, pp. 62-69.
- Protection, E. N., 2018. *Sepam series 20, series 40, series 60, series 80*. S.1.:Schneider Electric Industries SAS.
- Riyan Phanama, Y. M. S. M. I., 2019. Analisa Eksergi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Di PT. INDONESIA POWER Unit Jasa Pembangkit Sanggau.



# LAMPIRAN

## Lampiran 1. Surat Permohonan Kerja Praktek



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
**FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Ir. Sutami 36A Ketingan Surakarta 57126  
Telp. (0271)647069, Fax. (0271)662118  
laman: <http://ft.uns.ac.id>

Nomor : 4022/UN27-08/kp/2019  
Lampiran : Proposal KP  
Hal : Permohonan Kerja Praktek

19 December 2019

Yth. **Manager HRD and GA**  
**PT.BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY**  
**Jalan Desa Terusan, Tanjung Kemala, Bati**  
**Raja Oku, Sumatera Selatan**

Dengan Hormat,

Dengan surat ini kami bermaksud mengajukan permohonan kepada Bapak/Ibu untuk menerima mahasiswa kami kerja praktek / magang pada perusahaan yang Bapak/Ibu pimpin. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah sebagai berikut:

Nama : **ATTAR AL MUFASHAL RASYID**  
N I M : **I0717007**  
Prodi : **Teknik Elektro**

Untuk pelaksanaan kerja praktek tersebut di atas dimohonkan mulai tanggal **20-01-2020** sampai **19-02-2020** atau dalam waktu yang lain sesuai dengan kebijakan perusahaan Bapak/Ibu.

Untuk surat balasan mohon dialamatkan kepada:

**Kepala Program Studi Teknik Elektro**  
**Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret**  
**Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126 Telp. 0271-647069**

Atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.



**Dr. tecp. Ir. Sholihin As'ad, M.T.**  
**NIP. 196710011997021001**

## Lampiran 2. Surat Balasan Kerja Praktek



### PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY

**Head Office :**

Jl. Raya Kelapa Hibrida PT-23/12 Kelapa Gading Permai Jakarta 14250

Phone : (+6221) 45865675 -- 45865676 fax : (+6221) 45865678 E-mail : [baktienergy@ptbny.com](mailto:baktienergy@ptbny.com)

**Site Office :**

PLTU Baturaja, Desa Tanjung Kemala -- BATURAJA, Sumatera Selatan

Phone : (+62235) 7044644 E-mail : [ptb.baturaja@baktienergy.com](mailto:ptb.baturaja@baktienergy.com)

Nomor : 141/SPM/HRD/SITE/XII.19  
 Lampiran : -  
 Perihal : Balasan Surat Permohonan Kerja Praktek

**Kepada**

Yth, Dekan Fakultas Teknik / Kepala Studi Teknik Elektro  
 Universitas Sebelas Maret Surakarta  
 Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta

Dengan Hormat,

Sehubungan dengan surat yang kami terima dari Universitas Sebelas Maret Surakarta Fakultas Teknik dengan No. Surat : 4022/UN27.08/LEP/2019, tertanggal 19 Desember 2019, perihal : Permohonan Kerja Praktek di PT. Bakti Nugraha Yuda Energy untuk mahasiswa/wi :

No.	Nama Mahasiswa/wi	NIM	Jurusan/Program Studi
1	ATTAR AL MUFASHAL RASYID	10717007	TEKNIK ELEKTRO
<i>Jumlah Peserta PKL : 1 Orang</i>			

Kami menerima bahwa mahasiswa/wi tersebut diatas untuk melakukan Kerja Praktek di PT. Bakti Nugraha Yuda Energy sesuai dengan jadwal pelaksanaan yang disetujui yaitu tanggal 20 Januari 2020 s/d 20 Februari 2020.

Demikian surat ini disampaikan atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih,

Baturaja, 27 Desember 2019

PT. Bakti Nugraha Yuda Energy

**Muji Widodo, SH**  
 HRD Manager

### Lampiran 3. Lembar Tugas Kerja Praktek



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
FAKULTAS TEKNIK  
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**  
Jl. Ir. Sutami 36 A Ketingan Surakarta  
telp. 0271 647069 web: <http://elektro.ft.uns.ac.id>


#### LEMBAR TUGAS KERJA PRAKTEK

Nama Mahasiswa : **ATTAR AL MUFASHAL RASYID**  
N I M : **10717007**  
Dosen Pembimbing : **Chico Hermanu Brilliyanto Apribowo, S.T., M.Eng.**  
NIP : **198804162015041002**  
Tempat Kerja Praktek (KP) : **PT.BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY**  
Alamat Tempat KP : **Jalan Desa Terusan, Tanjung Kemala, Bati Raja Oku, Sumatera Selatan**  
Tanggal Kerja Praktek (KP) : **s.d. 20 Jan - 20 Feb 2020**

#### Diskripsi Tugas Mahasiswa

- ① Wala Beluk Dalam Batubara di PTU.
- ② Operasi dan Maintenance pembangkit PTU.
- ③ Perencanaan dan Perancangan pembangunan pembangkit PTU
- ④ Mengetahui Sistem dan Handtool di Industri
- ⑤ Mengetahui Mekanisme jangkakan antara LINS dan Industri (Pembimbing Lapangan)

Surakarta, 9-1-2020  
Dosen Pembimbing Kerja Praktek

  
**Chico Hermanu Brilliyanto Apribowo, S.T., M.Eng.**  
NIP. 198804162015041002

TF.KP.005

#### Lampiran 4. Surat Penugasan Kerja Praktek

[illegible]

### Lampiran 5. Sertifikat Kerja Praktek

**PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY**  
**PLTU BATURAJA 2X 10 MW**  
 Head Office : Jl. Raya Kelapa Hibrida PK-23/11 Kelapa Gadang Permai Jakarta 14250, Phone : 021-45865475/45865476  
 Site Office : PLTU Baturaja, Desa Tanjung Kemudi - Baturaja - OKU - Sumatera Selatan, Phone : 0735-7455021/7455022

**SERTIFIKAT**  
 NO. 026/MG/BNYE/SITE/IL.20

Diberikan Kepada :

Nama : ATTAR AL MUFASHAL RASYID  
 NIM : 10717007  
 Perguruan Tinggi : UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
 Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

Atas keikutsertaannya pada :

Praktek Kerja Lapangan / Magang di PT. Bakti Nugraha Yuda Energy PLTU Baturaja 2 x 10 MW  
 Pada Tanggal : 20 Januari 2020 s/d 20 Februari 2020  
 Dengan Predikat Nilai : A "Sangat Baik"

Baturaja, 20 Februari 2020  
 Manajer HRD & GA  
  
 Muji Widodo, SH

## Lampiran 6. Lembar Nilai Kerja Praktek



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
FAKULTAS TEKNIK  
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**  
Jl. Ir. Sutami 36 A Kentingan Surakarta  
Tlp. 0271 647069 web: <http://elektro.ft.uns.ac.id>

### LEMBAR PENILAIAN KERJA PRAKTEK

Nama : **ATTAR AL MUFASHAL RASYID**

N I M : **10717007**

#### A. Nilai Perusahaan (bobot 60%)

No	Kriteria	Nilai Angka	Nilai Huruf
<b>Sikap Kerja :</b>			
1.	Kerajinan dan Kedisiplinan		
2.	Kerjasama		
3.	Inisiatif		
<b>Hasil Kerja :</b>			
4.	Ketrampilan		
5.	Kerapian		
	Nilai Rata-rata	74	A

#### B. Nilai Seminar KP/Dosen (bobot 40%)

1.	Tata tulis, Penyampaian Makalah, Penguasaan Materi, Kemampuan Menjawab Pertanyaan	90	A
----	---	----	---

Nilai Akhir

92.4 A

Catatan :

- a. 85 s/d 100 : A  
b. 80 s/d 84 : A-  
c. 75 s/d 79 : B+

- d. 70 s/d 74 : B  
e. 65 s/d 69 : C+  
f. 60 s/d 64 : C

Dosen Pembimbing KP

Pembimbing Lapangan,

Onco Hermanu Briliyanto Apribowo,  
S.T., M. Eng.  
NIP. 198804162015041002

## Lampiran 7. Lembar Nilai Kerja Praktek



### PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY

PLTU BATURAJA 2 X 10 MW

Site Office : PLTU Baturaja, Desa Tanjung Kemala – BATURAJA, Sumatera Selatan

Phone : (+62735) 7044644 E-mail : pltu-baturaja@baktienergy.com

### PENILAIAN PESERTA KERJA PRAKTEK / MAGANG

Nama Mahasiswa : ATTAR AL MUFASHAL RASYID  
 Nama Instansi Pendidikan : UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
 NIM : 10717007  
 Program Studi : TEKNIK ELEKTO

No	Unsur yang Dinilai	Nilai		
		Angka	Huruf	Ket
<b>I</b>	<b>Kepribadian / Etos Kerja</b>			
	1. Kedisiplinan	98	A	
	2. Motivasi	98	A	
	3. Inisiatif	95	A	
	4. Tanggung Jawab	95	A	
<b>II</b>	<b>Kemampuan Penerapan Kerja</b>			
	1. Keahlian Bidang Ketenagalistrikan	88	B	
	2. Pengetahuan dan Pemahaman Bidang	91	A	
	3. Penerapan Kerja Praktek Lapangan	94	A	
	4. Pemaparan Hasil Magang Kerja	96	A	
	Jumlah	755	A	
	Nilai Rata-rata	94		

#### Keterangan Penilaian :

1. Sangat Baik [A] : 90 - 100 (Mampu Mengaplikasikan Ilmu dan Menransfer)
2. Baik [B] : 76 - 89 (Mampu Mengaplikasikan Ilmu)
3. Cukup [C] : 66 - 75 (Cukup Mampu Mengaplikasikan)
4. Kurang [D] : 0 - 65 (Kurang Memperhatikan pembimbing, tidak disiplin, sering tidak hadir dalam kegiatan magang)
5. Kemampuan kerja disesuaikan dengan pekerjaan yang ada diinstansi

Baturaja 20 Februari 2020

PT. Bakti Nugraha Yuda Energy

**AGUS WUAYA**

Pembimbing



# Lampiran 8. Lembar Konsultasi Kerja Praktek

## LEMBAR KONSULTASI KERJA PRAKTEK

Nama Mahasiswa : ATTAR AL MUFASHAL RASYID  
 N I M : 10717007  
 Dosen Pembimbing : Chico Hermanu Brilliyanto  
 Apribowo, S.T.,  
 M.Eng./198804162015041002  
 Pembimbing Lapangan :  
 Tempat Kerja Praktek (KP) : PT.BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY  
 Alamat Tempat KP : Jalan Desa Terusan, Tanjung  
 Kemala, Bati Raja Oku, Sumatera  
 Selatan  
 Tanggal Kerja Praktek (KP) : s.d.

No	Tanggal	Uraian Kegiatan	Paraf Pemb.
1.	9/10/2019	Konsultasi Tempat & Topik kp.	
	9/11/2019	Konsultasi Proposal 1	
	10/11/2019	Konsultasi Proposal 2	
	11/12/2019	Konsultasi Proposal 3	
	12/12/2019	Persiapan proposal kp	
	24/01/2020	Konsultasi pulang dari kp	
	24/3/2020	Persiapan Seminar kp	
	4/3/2020	Konsultasi Seminar PPT	

### Catatan :

1. Lembar pantauan ditandatangani dosen pembimbing selama penyusunan proposal & laporan akhir
2. Lembar konsultasi ditanda tangani pembimbing lapangan dan distempel selama

TE-KP-002

## Lampiran 9. Lembar Absensi Kerja Praktek

ABSENSI MAHASISWA PRAKTEK KERJA LAPANGAN  
UNIVERSITAS 11 MARET SOLO  
PERIODE BULAN : 02 FEBRUARI S/D 30 FEBRUARI 2020

NO	NAMA KARYAWAN	MINGGU 02		SENIN 03		SELASA 04		RABU 05		KAMIS 06		JUMAT 07		SABTU 08	
		Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf
1	ATTAR AL-MUFASHAL BASYID			07:05		07:05		08:20		08:40		09:10		09:00	
				16:30		16:30		16:30		16:30		16:30		16:30	
2	SONY ADYATAMA			07:44		07:34		08:20		08:40		08:40		08:40	
				16:30		16:30		16:30		16:30		16:30		16:30	
NO	NAMA KARYAWAN	MINGGU 09		SENIN 10		SELASA 11		RABU 12		KAMIS 13		JUMAT 14		SABTU 15	
		Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf
1	ATTAR AL-MUFASHAL BASYID			07:00		07:00		08:10		08:00		08:00		08:00	
				10:00		11:30		11:00		11:00		11:00		11:00	
2	SONY ADYATAMA			08:00		08:00		08:20		08:00		08:00		08:00	
				16:00		16:30		11:00		11:00		11:00		11:00	
NO	NAMA KARYAWAN	MINGGU 16		SENIN 17		SELASA 18		RABU 19		KAMIS 20					
		Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf				
1	ATTAR AL-MUFASHAL BASYID			07:00		07:30		08:00		08:00					
				08:00		16:00		08:15		08:00					
2	SONY ADYATAMA			08:30		16:30		08:30		08:00					
				09:00		16:00		08:15		08:00					

KET:  Hari Minggu / Libur Nasional

DIBUAT OLEH

  
EMILIAN SAFRANTI

DIPERIKSA OLEH

  
MULI WIDODO

ABSENSI MAHASISWA PRAKTEK KERJA LAPANGAN  
UNIVERSITAS 11 MARET SOLO  
PERIODE BULAN : 20 JANUARI S/D 01 FEBRUARI 2020

NO	NAMA KARYAWAN	SENIN 20		SELASA 21		RABU 22		KAMIS 23		JUMAT 24		SABTU 25		MINGGU 26	
		Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf
1	ATTAR AL-MUFASHAL RASYID	Masuk 09:55		Masuk 08:00		Masuk 08:05		Masuk 08:05		Masuk 08:10		Masuk 08:05			
		Pulang 16:50		Pulang 16:50		Pulang 16:50		Pulang 16:50		Pulang 16:50		Pulang 11:15			
2	SONY ADYATAMA	Masuk 07:59		Masuk 08:00		Masuk 08:05		Masuk 08:05		Masuk 08:10		Masuk 08:05			
		Pulang 16:50		Pulang 16:50		Pulang 16:50		Pulang 16:50		Pulang 16:50		Pulang 11:15			
NO	NAMA KARYAWAN	SENIN 27		SELASA 28		RABU 29		KAMIS 30		JUMAT 31		SABTU 01			
		Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf	Jam	Paraf		
1	ATTAR AL-MUFASHAL RASYID	Masuk 08:00		Masuk 08:05		Masuk 08:00		Masuk 08:10		Masuk 08:05		Masuk 08:00			
		Pulang 16:50		Pulang 16:50		Pulang 16:50		Pulang 16:50		Pulang 16:50		Pulang 16:50			
2	SONY ADYATAMA	Masuk 08:00		Masuk 08:05		Masuk 08:00		Masuk 08:10		Masuk 08:05		Masuk 08:00			
		Pulang 16:50		Pulang 16:50		Pulang 16:50		Pulang 16:50		Pulang 16:50		Pulang 16:50			

KET: Hari Minggu / Libur Nasional

DIBUAT OLEH

EMILIAN SAFRIANTI

DIPERIKSA OLEH

PT. Bina Graha Yuda Energy

MUJI WIDODO



22	Congress of the	1078006	
23	Reverend Father	1078030	
24	Michael H. H. H.	1078047	
25	Michael H. H. H.	1078064	
26	Michael H. H. H.	1078081	
27	Michael H. H. H.	1078098	
28	Michael H. H. H.	1078115	
29	Michael H. H. H.	1078132	
30	Michael H. H. H.	1078149	
31	Michael H. H. H.	1078166	
32	Michael H. H. H.	1078183	
33	Michael H. H. H.	1078200	
34	Michael H. H. H.	1078217	
35	Michael H. H. H.	1078234	
36	Michael H. H. H.	1078251	
37	Michael H. H. H.	1078268	
38	Michael H. H. H.	1078285	
39	Michael H. H. H.	1078302	
40	Michael H. H. H.	1078319	
41	Michael H. H. H.	1078336	
42	Michael H. H. H.	1078353	
43	Michael H. H. H.	1078370	
44	Michael H. H. H.	1078387	
45	Michael H. H. H.	1078404	
46	Michael H. H. H.	1078421	
47	Michael H. H. H.	1078438	
48	Michael H. H. H.	1078455	
49	Michael H. H. H.	1078472	
50	Michael H. H. H.	1078489	