

LAPORAN KERJA PRAKTIK

ANALISA SISTEM PROTEKSI *TURBO GENERATOR 12MW*
DENGAN WANLIDA MGPR 620Hb (*BACKUP PROTECTION*)

PLTU BATURAJA

PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY



Oleh :
Sony Adyatama
I0717039

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SEBELAS MARET

2020

LAPORAN KERJA PRAKTIK

ANALISA SISTEM PROTEKSI *TURBO GENERATOR 12MW* DENGAN WANLIDA MGPR 620Hb (*BACKUP PROTECTION*) PLTU BATURAJA PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY

Diajukan untuk memenuhi persyaratan kelulusan
Mata Kuliah Kerja Praktik



Oleh :
Sony Adyatama
I0717039

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

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA SISTEM PROTEKSI *TURBO GENERATOR 12MW*
DENGAN WANLIDA MGPR 620Hb (*BACKUP PROTECTION*)
PLTU BATURAJA
PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY**

Oleh :

Sony Adyatama

10717039

Koordinator Kerja Praktik



Jaka Sulistya Budi, S.T.

NIP. 196710191999031001

Pembimbing Kerja Praktik

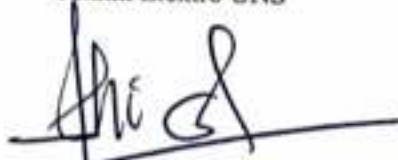


Irwan Iftadi, S.T, M.Eng.

NIP. 197004041996031002

Kepala Program Studi

Teknik Elektro UNS



Feri Adriyanto, S.Pd, M.Si, Ph.D.

NIP. 196801161999031001

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

**ANALISA SISTEM PROTEKSI *TURBO GENERATOR 12MW* DENGAN
WANLIDA MGPR 620Hb (*BACKUP PROTECTION*) PLTU BATURAJA
PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY**

Disusun oleh :

Nama : Sony Adyatama
Nomor Induk Mahasiswa : 10717039
Jurusan : Teknik Elektro
Perguruan Tinggi : Universitas Sebelas Maret
Waktu Kerja Praktik : 20 Januari s.d 20 Februari 2020

Telah Diperiksa pada tanggal : 15 Februari 2020

Pembimbing 1



Aris Afriyadi

General Affair

Pembimbing 2



Agus Wijaya

Foreman Elektrik

Pembimbing 3



Edi Rudianto

Supervisor Elektrik

Menyetujui



Nuriaya

Superintendent Teknik



Muji Widodo, S.H.

Manager HRD & GA

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis hantarkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Kerja Praktik dengan judul “ ANALISA SISTEM PROTEKSI *TURBO GENERATOR 12MW* DENGAN WANLIDA MGPR E20Hb (*BACKUP PROTECTION*) PLTU BATURAJA ” dengan lancar tanpa kendala yang berarti.

Tujuan dari penulisan laporan ini sebagai syarat untuk menyelesaikan segala rangkaian kegiatan Kerja Praktik di PT. Bakti Nugraha Yuda *Energy* sehingga penulis mendapatkan nilai untuk mata kuliah Kerja Praktik dan pada akhirnya dapat menyelesaikan studi pada Universitas Sebelas Maret.

Dalam penulisan laporan pastilah terdapat berbagai halangan dan rintangan. Maka dalam kesempatan kali ini penulis akan menyampaikan rasa terimakasih karena tanpa kontribusi mereka maka laporan ini mungkin tidak akan selesai. antara lain:

1. Allah SWT yang selalu memberikan berbagai petunjuk dan keajaiban-Nya pada penulis selama melaksanakan kegiatan Kerja Praktik.
2. Kedua Orang Tua penulis, Bapak Surono dan Ibu Niniek Marsusiyatni yang selalu memberikan dukungan doa, motivasi, serta finansial sehingga penulis dapat menjalankan kegiatan dengan baik
3. Bapak Feri Adriyanto, Ph.D sebagai Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Sebelas Maret
4. Bapak Chico Hermanu Brillianto Apriwibowo, S.T, M.Eng sebagai Pembimbing Akademik penulis
5. Bapak Irwan Iftadi, S.T, M.Eng sebagai Pembimbing Kerja Praktik
6. Dosen – dosen Teknik Elektro UNS yang tidak pernah jenuh memberikan ilmunya untuk penulis selama menempuh studi
7. Bapak Muji Widodo sebagai Manager Human Resource Departemen PT. Bakti Nugraha Yuda *Energy* beserta *Staff* yang telah menerima penulis untuk menimba ilmu dan pengalaman di perusahaan ini
8. Bapak Agus Wijaya yang tidak pernah pelit ilmu dan pengalaman dalam membimbing penulis selama melaksanakan Kerja Praktik

9. Staff teknisi mulai dari Pak Agung Dwi Rahmadi, Pak Yanuar Eka Putra, Pak Rahmat Dedi Marwansyah yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat
10. Bapak Ade Harsanto selaku Kepala *Health Safety Environment* (HSE) serta Staff HSE, bapak Aziz yang telah memberikan ilmu tambahan mengenai keselamatan kerja dan motivasi agar menjalankan kegiatan dengan baik
11. Bapak Drs. Hendra Setiadi yang selalu memberikan *support* yang sangat bermanfaat bagi penulis
12. Bapak Kantin yang tidak pernah lelah untuk mengantarkan makanan sebanyak 3 kali sehari untuk menunjang aktivitas penulis
13. Teman Kerja Praktik seperjuangan yang telah membantu penulis serta sebagai lokasi untuk saling bertukar pikiran serta informasi yang sangat bermanfaat bagi penulis
14. Seluruh staff dan karyawan PT. Bakti Nugraha Yuda *Energy* yang telah menerima penulis dengan baik dan ramah namun tidak bisa saya sebutkan satu per satu

Terima kasih atas segala bantuannya untuk semua individu yang telah membantu penulis. Dalam penulisan laporan ini, penulis menyadari ada banyak kekurangan, sehingga diharapkan adanya saran maupun kritik yang membangun untuk pengembangan penulis kedepannya. Segala hal baik datang dari Allah SWT sedangkan kekurangan dari penulis pribadi. Akhir kata terima kasih dan semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi siapapun yang membacanya.

Baturaja Timur, 15 Februari 2020

Penulis

ABSTRAK

Sony Adyatama

Analisa Sistem Proteksi *Turbo Generator 12MW* dengan Wanlida MGPR 620Hb
(*Backup Protection*) PLTU Baturaja

Salah satu komponen utama dalam pembangkitan tenaga listrik yaitu Generator. Generator merupakan mekanisme elektrik yang digunakan untuk menghasilkan daya listrik yang bekerja dengan prinsip perubahan medan magnet terhadap kumparan konduktor. Dalam operasinya, generator dapat mengalami gangguan baik dari faktor internal maupun eksternal sehingga perlu diamankan dengan sistem proteksi. Wanlida MGPR 620Hb sebagai proteksi untuk operasi Generator. Dengan bantuan parameter input dari Trafo Arus (CT) dan Trafo Tegangan (PT) maka dapat mendeteksi gangguan dan mengintervensi dengan memutus kerja generator sebelum gangguan tersebut menjadi lebih besar dan berpotensi untuk merusak generator. Pengamanan dapat diatur dengan mengatur nilai batas ambang (*Set point*) dan toleransi durasi gangguan (*timing*). Ketika gangguan melebihi nilai ambang batas dan durasi toleransi maka secara otomatis akan memberi perintah *trip* (pemutusan) pada PMT berupa *VCB*.

Kata Kunci: Generator, sistem proteksi, PMT.

One of the *main* components in generation of electricity is Generator. Generator is a power plant that is used to produce electricity that works by using rate of change magnetic field oppose change the coil conductor. In its operation, generators can experience interference from internal and external factors that need to be secured with a protection system. Wanlida MGPR 620Hb as protection for generator operation. Input parameters of the protection are Current Transformer (CT) and the Voltage Transformer (PT), it can detect problem and intervene by interrupting the generator before the interference becomes larger and potentially damage the generator. Time limit threshold (Set point) and transition time limit (time setting). In the end, this will give you a travel order (termination) on the PMT in the form of a VCB

Keywords: Generator, Protection System, Circuit Breaker.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penulisan Laporan.....	2
1.4 Waktu dan Lokasi Praktik Kerja Industri.....	3
1.5 Tujuan Kerja Praktik	3
1.6 Metode Pengambilan Data	3
1.7 Sistematika Penulisan Laporan	4
BAB II TINJAUAN UMUM PERUSAHAAN.....	5
2.1 Visi dan Misi PT Bakti Nugraha Yuda <i>Energy</i>	6
2.2 Logo dan Semboyan PT Bakti Nugraha Yuda <i>Energy</i>	6
2.3 Sistem Kerja Produksi PT Bakti Nugraha Yuda <i>Energy</i>	7
2.4 Struktrur Organisasi PT Bakti Nugraha Yuda <i>Energy</i>	9
BAB III DASAR TEORI	10
3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	10
3.1.1 Pengertian Umum PLTU	10
3.1.2 Pengolahan Air (<i>Water Treatment</i>)	12
3.1.3 Pengolahan Batubara (<i>Coal Fired Treatment</i>)	20
3.1.4 Pengelolaan Uap Air (<i>Steam Process</i>).....	25
3.1.5 Prinsip Kerja PLTU	30
3.1.6 Prinsip Termodinamika.....	33
3.2 Generator AC sinkron 3 fasa	35
3.2.1 Generator	35

3.2.2 Prinsip kerja Generator Sinkron	40
3.2.3 <i>Potential Transformer</i>	43
3.2.4 <i>Current Transformer</i>	45
3.2.5 <i>Vacuum Circuit Breaker</i> pada Generator	47
3.3 Relay Proteksi.....	50
3.3.1 Pengertian umum	50
3.3.2 Simbol dan kode <i>relay</i> proteksi (ANSI)	51
3.3.3 <i>Relay</i> proteksi dan fungsinya.....	52
3.3.4 Gangguan generator.....	53
3.3.5 Syarat <i>relay</i>	56
3.4 Wanlida MGPR 620Hb	57
3.4.1 Pengertian umum	57
3.4.2 Spesifikasi umum Wanlida MGPR 620Hb.....	59
3.4.3 Jenis proteksi terhadap gangguan	60
BAB IV PEMBAHASAN.....	64
4.1 Generator AC 3 fasa	64
4.2 Proteksi Generator Wanlida MGPR 620Hb	79
4.2.1 Komponen <i>modular</i> serta Konfigurasi pin-pin.....	79
4.2.2 Status, <i>Set Value</i> , dan <i>Time Delay</i> proteksi	83
4.2.3 Analisa Proteksi Generator	85
4.2.4 Hasil Pengujian Sistem Proteksi.....	106
BAB V PENUTUP	109
5.1 Kesimpulan.....	109
5.2 Saran	111
DAFTAR PUSTAKA	113
LAMPIRAN.....	115

DAFTAR GAMBAR

BAB II TINJAUAN UMUM PERUSAHAAN

Gambar 2. 1 Desain 3D Map PLTU Baturaja	5
Gambar 2. 2 Logo dan Semboyan PT Bakti Nugraha Yuda <i>Energy</i>	6
Gambar 2. 3 Struktur Organisasi PT Bakti Nugraha Yuda <i>Energy</i>	9

BAB III DASAR TEORI

Gambar 3. 1 Komponen dasar PLTU secara umum	10
Gambar 3. 2 <i>Water pond</i>	13
Gambar 3. 3 Proses penggumpalan partikel.....	14
Gambar 3. 4 Proses sedimentasi <i>Vlog</i>	14
Gambar 3. 5 Penampungan hasil sedimentasi.....	15
Gambar 3. 6 <i>Cooling Tower</i>	15
Gambar 3. 7 Proses ultrafiltrasi.....	16
Gambar 3. 8 Tabung pereaksi klorin.....	17
Gambar 3. 9 <i>Reverse Osmosis</i> Primer.....	17
Gambar 3. 10 <i>Reverse Osmosis</i> Sekunder.....	18
Gambar 3. 11 Tabung reaksi ionisasi Anion Kation.....	18
Gambar 3. 12 Penurunan konduktivitas tahap <i>mixbedding</i>	19
Gambar 3. 13 Tangki penyimpanan air.....	19
Gambar 3. 14 <i>Dry Coal Storage</i>	21
Gambar 3. 15 <i>Crushers</i>	21
Gambar 3. 16 Tampilan luar <i>Furnace</i> dan <i>Boiler</i>	22
Gambar 3. 17 <i>Nameplate</i> spesifikasi <i>Boiler</i>	22
Gambar 3. 18 <i>Induced Draft Fan</i>	23
Gambar 3. 19 Grafik hubungan antara <i>Duty cycle</i> PWM dengan Tegangan	24
Gambar 3. 20 Prinsip kerja ESP.....	25
Gambar 3. 21 <i>Chimney</i> (Cerobong asap)	25
Gambar 3. 22 Grafik hubungan antara Tekanan dengan Arus mesin 505	26
Gambar 3. 23 Tampilan 505 (pengontrol turbin)	27
Gambar 3. 24 <i>Steam Electromotor Valve</i>	28
Gambar 3. 25 <i>Monitoring</i> turbin	28
Gambar 3. 26 <i>Safety Valve</i>	29
Gambar 3. 27 Grafik Hubungan antara Kecepatan dengan Pembebanan	30
Gambar 3. 28 Proses konversi energi.....	31
Gambar 3. 29 Siklus perubahan wujud fluida.....	32
Gambar 3. 30 Siklus Rankine ideal.....	33
Gambar 3. 31 Jenis energi berdasarkan luas area siklus Rankine.....	34
Gambar 3. 32 Generator AC 1 fasa kutub tunggal.....	36
Gambar 3. 33 Grafik tegangan keluaran generator 1 fasa kutub tunggal	36
Gambar 3. 34 Prinsip kerja <i>Exciter</i> pada generator	37

Gambar 3. 35 Rotor Silinder	37
Gambar 3. 36 Rotor <i>Salient</i>	37
Gambar 3. 37 Stator laminasi.....	38
Gambar 3. 38 Belitan satu lapis	38
Gambar 3. 39 Gelombang dan sudut fasa Belitan satu lapis.....	39
Gambar 3. 40 Belitan lapis ganda	39
Gambar 3. 41 Gelombang tegangan Belitan lapis ganda	40
Gambar 3. 42 Konfigurasi generator sinkron 3 fasa	41
Gambar 3. 43 Grafik dan rangkaian ekuivalen tanpa beban	41
Gambar 3. 44 Keadaan generator berdasarkan jenis pembebanan.....	42
Gambar 3. 45 Koneksi PT pada rangkaian.....	43
Gambar 3. 46 PT berbasis kapasitor	44
Gambar 3. 47 Diagram fasor PT	45
Gambar 3. 48 CT pada <i>switch</i> yard.....	46
Gambar 3. 49 Koneksi CT pada rangkaian	46
Gambar 3. 50 Bagian-bagian <i>interrupter</i> VCB.....	48
Gambar 3. 51 Jenis geometri kontak VCB.....	49
Gambar 3. 52 Kurva karakteristik <i>Circuit Breaker</i>	49
Gambar 3. 53 Wanlida MGPR 620Hb	57

BAB IV PEMBAHASAN

Gambar 4. 1 <i>Nameplate</i> spesifikasi Turbo Generator.....	64
Gambar 4. 2 Mesin penguatan (<i>Exciter</i>)	65
Gambar 4. 3 ABB Unitrol (AVR)	66
Gambar 4. 4 Trafo AC sumber Eksitasi (AVR).....	66
Gambar 4. 5 Kontak dan Penyearahan Eksitasi (AVR)	67
Gambar 4. 6 <i>Relay</i> Proteksi Eksitasi	68
Gambar 4. 7 SCADA <i>monitoring</i> parameter pada pembangkitan dan beban	68
Gambar 4. 8 Sistem sinkronisasi manual	69
Gambar 4. 9 Sistem sinkronisasi otomatis	70
Gambar 4. 10 Pompa oli DC-AC-HP.....	72
Gambar 4. 11 Purifier oli	73
Gambar 4. 12 Turbin Supervisory Instrument	73
Gambar 4. 13 Interface pada <i>Emergency Trip System</i>	74
Gambar 4. 14 PLC <i>Emergency Trip System</i>	74
Gambar 4. 15 <i>Vacuum Circuit Breaker</i> Generator.....	75
Gambar 4. 16 Pengukuran dan penunjang SCADA <i>monitoring</i> Generator	76
Gambar 4. 17 Bagian dalam <i>Vacuum Circuit Breaker</i>	76
Gambar 4. 18 <i>Array</i> baterai penunjang sumber DC.....	78
Gambar 4. 19 <i>Uninterruptible Power Supply</i> (UPS)	78
Gambar 4. 20 <i>Power Supply</i> Wanlida MGPR 620Hb.....	79
Gambar 4. 21 Penyearahan dan kontak-kontak Wanlida	80
Gambar 4. 22 Input/Output Wanlida MGPR 620Hb	80

Gambar 4. 23 Modul AD dan UART CPU Wanlida MGPR 620Hb	81
Gambar 4. 24 Prosesor CPU (DSP dan <i>Logic device</i>) Wanlida MGPR 620Hb ...	81
Gambar 4. 25 IC <i>timekeeping</i> Dallas pada CPU Wanlida MGPR 620Hb	82
Gambar 4. 26 CT-PT internal Wanlida MGPR 620Hb.....	82
Gambar 4. 27 Konfigurasi pin-pin Wanlida MGPR 620Hb	83
Gambar 4. 28 Kurva hubungan antara arus dengan waktu	88
Gambar 4. 29 Logika proteksi <i>Overcurrent</i>	88
Gambar 4. 30 Logika proteksi <i>Undervoltage</i>	92
Gambar 4. 31 Logika proteksi <i>Overvoltage</i>	95
Gambar 4. 32 Logika proteksi <i>Overload</i>	98
Gambar 4. 33 Logika proteksi <i>Underfrekuensi</i>	100
Gambar 4. 34 Logika proteksi <i>Overfrekuensi</i>	104
Gambar 4. 35 Logika proteksi <i>Reverse power</i>	106
Gambar 4. 36 Megger Sverker 780	107

DAFTAR TABEL

BAB III DASAR TEORI

Tabel 3. 1 Pembagian jenis air berdasarkan tangki.....	19
Tabel 3. 2 Keterangan diagram fasor PT	45
Tabel 3. 3 Tabel Nama, Simbol, dan Kode Relay.....	51
Tabel 3. 4 Spesifikasi umum Wanlida MGPR 620Hb	59

BAB IV PEMBAHASAN

Tabel 4. 1 Status proteksi Generator	83
Tabel 4. 2 Setting Value dan Time delay proteksi	84
Tabel 4. 3 Pengujian proteksi Overload	99
Tabel 4. 4 Pengujian proteksi Underfrekuensi	101
Tabel 4. 5 Pengujian proteksi Overfrekuensi	104
Tabel 4. 6 Pengujian proteksi Reverse Power.....	106
Tabel 4. 7 Hasil pengujian sistem proteksi	107

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Permohonan Pembimbing KP	116
LAMPIRAN 2. Surat Permohonan KP	117
LAMPIRAN 3. Surat Balasan Perusahaan.....	118
LAMPIRAN 4. Lembar Tugas KP.....	119
LAMPIRAN 5. Surat Tugas KP	120
LAMPIRAN 6. Sertifikat KP.....	121
LAMPIRAN 7. Lembar Nilai KP dari Elektro	122
LAMPIRAN 8. Lembar Nilai KP dari Perusahaan.....	123
LAMPIRAN 9. Lembar Konsultasi KP	124
LAMPIRAN 10. Undangan Seminar KP	125
LAMPIRAN 11. Daftar Hadir Seminar KP	126

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan komponen vital yang menunjang segala aktivitas masyarakat dan industri. Perkembangan teknologi dan perekonomian akan selalu berbanding lurus dengan kebutuhan daya listrik sehingga seiring berkembangnya waktu akan memerlukan pembangkit dengan daya yang semakin besar pula. Daya listrik dihasilkan dengan 2 jenis prinsip yaitu konversi energi mekanik menjadi energi listrik seperti PLTU (uap air), PLTG (gas), PLTGU (gas dan uap), PLTB (angin), PLTA (air), dan lain-lain. Sedangkan prinsip lain yang digunakan yaitu konversi non-mekanis yaitu reaksi muatan semikonduktor terhadap foton cahaya matahari seperti PLTS (surya), reaksi *piezoelectric* terhadap tekanan, dan lain-lain. Namun daya yang dihasilkan oleh pembangkit konversi non-mekanis umumnya menghasilkan daya yang lebih rendah bila dibandingkan dengan konversi mekanis sehingga di Indonesia sendiri untuk suplai daya besar lebih cenderung pada PLTU (uap air).

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit yang menggunakan gaya dorong dan tekan dari uap kering yang dihasilkan oleh *boiler* untuk memutar turbin yang telah terhubung dengan generator sehingga dapat membangkitkan daya listrik. Generator tersebut memiliki komponen kumparan konduktor dan rotor yang tereksitasi sehingga apabila diputar oleh turbin akan menghasilkan daya listrik sehingga sebagai pengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

Generator yang paling umum digunakan merupakan generator 3 fasa (AC) dengan koneksi Y (Star) yang dipacu (dieksitasi) dengan sumber DC eksternal. Koneksi tersebut digunakan karena konfigurasi tersebut terdapat titik Netral yang digunakan sebagai pentanahan dari generator. Generator perlu dieksitasi oleh sumber eksternal untuk menciptakan medan magnet pada rotor sehingga apabila poros yang terhubung dengan turbin berputar maka generator akan

dapat menghasilkan daya dengan prinsip hukum Faraday. Listrik AC memiliki 3 jenis parameter yang harus disesuaikan agar dapat saling berhubungan (sinkron) yaitu nominal tegangan (V), frekuensi (Hz), dan beda fasa. Agar generator dapat terhubung dengan sistem jaringan AC maka harus menyesuaikan dengan *set* parameter yang telah ditentukan oleh PLN (sebagai pemilik jalur transmisi-distribusi) yaitu tegangan (berbagai macam jenis tegangan sesuai *busbar* dan trafo yang digunakan), frekuensi (50Hz), dan beda fasa. Dari ketiga parameter tersebut harus diproteksi agar kelangsungan penghasil daya dapat terjaga dan tetap bekerja tanpa adanya gangguan.

Jenis proteksi harus disesuaikan dengan jenis gangguan yang mungkin akan dihadapi oleh generator. Diantaranya arus berlebih (*Over Current*), tegangan berlebih (*Over Voltage*), tegangan rendah (*Under Voltage*), frekuensi rendah (*Under Frequency*), frekuensi tinggi (*Over Frequency*), daya balik (*Reverse Power*), dan lain sebagainya.

1.2 Perumusan Masalah

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

- Bagaimana cara kerja sistem proteksi Generator dengan Wanlida MGPR 620Hb?
- Bagaimanakah *set point* dan *set timing* pada masing-masing proteksi?
- Bagaimana unjuk kerja dari pengamanan *relay* terhadap generator?

1.3 Tujuan Penulisan Laporan

Tujuan penulisan laporan ini adalah sebagai bukti bahwa penulis telah melaksanakan kegiatan Kerja Praktik (KP) sesuai dengan aturan yang ada, baik dari Universitas maupun Instansi yang bersangkutan.

Sedangkan yang paling utama yaitu menambah wawasan penulis tentang cara kerja sistem proteksi, mengapa nilai *set point* dan *set timing* pada setiap proteksi berbeda beda, unjuk kerja proteksi, dan proses pemulihan setelah terjadi gangguan.

1.4 Waktu dan Lokasi Praktik Kerja Industri

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

Waktu : 20 Januari s.d 20 Februari 2020, pukul 08:00 WIB hingga 16:30 WIB

Lokasi : PT Bakti Nugraha Yuda *Energy*, Beralamat di Jalan Rustam Effendy, Tanjung Kemala, Baturaja Timur, Ogan Komering Ulu, Sumatera Selatan

Kegiatan Kerja Praktik (KP) dilaksanakan sesuai dengan kegiatan rutin bagian Pemeliharaan dan Operasional Listrik PLTU Baturaja.

1.5 Tujuan Kerja Praktik

Tujuan kerja praktik bagi seorang mahasiswa (sebagai praktikan) menurut penulis adalah sebagai berikut:

- Praktikan memperoleh pengalaman untuk terjun langsung ke lapangan
- Praktikan dapat menerapkan ilmu yang telah dipelajari di bangku kuliah
- Praktikan dapat mempelajari dan menganalisa berbagai macam hal baru yang belum didapatkan di bangku perkuliahan
- Praktikan dapat menambah hubungan dengan praktikan lain maupun dengan perusahaan

1.6 Metode Pengambilan Data

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

- Melakukan observasi lapangan sesuai dengan situasi yang ada
- Melakukan *interview* secara langsung kepada *Supervisor*, *Foreman*, dan *Staff* Elektrik
- Melakukan *interview* secara langsung kepada Operator dibidang Kontrol Utama (CCR) dan Pusat Pengatur Beban
- Mempelajari literatur melalui jurnal, buku, dan 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 Informasi umum, Visi, Misi, Logo dan Semboyan, Sistem Kerja Produksi, serta Struktur organisasi dari PT Bakti Nugraha Yuda *Energy* seputar Unit Pembangkitan Listrik Tenaga Uap Baturaja.

BAB III : DASAR TEORI

Berisi tentang penjelasan seputar objek pembahasan Kerja Praktik mulai dari PLTU mulai dari pengertian umum, pengolahan air, batubara, dan uap, prinsip kerja PLTU, hingga Prinsip termodinamika. Membahas Generator sinkron mulai dari pengertian umum, prinsip kerja, PT, CT, dan *Vacuum Circuit Breaker*. Membahas *Relay* proteksi, dan Wanlida MGPR 620Hb pada PT Bakti Nugraha Yuda *Energy*.

BAB IV : PEMBAHASAN

Berisi tentang pembahasan dari Kerja Praktik dan data yang didapatkan dari lapangan berupa komponen dan sistem generator. Komponen *modular*, status, *set value*, dan *time delay* Wanlida MGPR 620Hb. Analisa proteksi generator berupa nilai waktu, arus, tegangan, frekuensi, dan daya real (sisi primer) maupun pengaturan (sisi sekunder dan pembacaan prosesor), fungsi logika prosesor dalam memproteksi, dan langkah pemeriksaan fungsi proteksi. Selain itu, terdapat hasil pengujian sistem proteksi.

BAB V : PENUTUP

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

BAB II

TINJAUAN UMUM PERUSAHAAN



Gambar 2. 1 Desain 3D Map PLTU Baturaja

Sumber : www.baktienergy.com (2016)

PLTU Mulut Tambang Baturaja merupakan pembangkit listrik bertenaga uap yang dimiliki oleh PT Bakti Nugraha Yuda *Energy*. PLTU ini mulai direncanakan pada tahun 2009 dan kemudian mulai dibangun pada tanggal 7 Mei 2011 yang ditandai dengan peletakan batu perama oleh Bupati OKU, Drs. H. Yulius Nawawi dan diketahui oleh General Manajer PT. PLN (Persero) WS2JB, Nandi Ranadireksa. PLTU mulai beroperasi untuk menghasilkan listrik pada tanggal 18 Januari 2014 yang dikenal sebagai COD (Commercial Operation Date). PLTU ini dibangun dengan dasar untuk memenuhi kebutuhan pasokan listrik pada daerah Baturaja, Ogan Komering Ulu (OKU) dan sesuai penelitian, di daerah tersebut banyak mengandung batubara sehingga batubara dijadikan sebagai bahan bakar pembangkitan listrik.

PT. Bakti Nugraha Yuda *Energy* merupakan anak perusahaan dari PT. Manggala Gita Karya. PT Bakti Nugraha Yuda *Energy* memiliki 3 cabang usaha, diantaranya PLTU Baturaja, PLTG Musi Dua, dan PLTMh Lahat. PLTU Baturaja merupakan unit usaha dengan daya keluaran terbesar dengan nilai transfer daya bersih 2x10MW. Nilai tersebut masih dapat ditingkatkan lagi sesuai dengan kebutuhan beban saat beban puncak. Sedangkan PLTG Musi Dua dapat menghasilkan daya 3x5MW, dan PLTMh Lahat menghasilkan 3x3,3MW.

Unit cabang usaha PLTU Baturaja PT. Bakti Nugraha Yuda *Energy* terletak di Tanjung Kemala, Baturaja Timur, Ogan Komering Ulu, Sumatera Selatan mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Uap untuk memenuhi beban

puncak pada Kabupaten Ogan Komering Ulu yang mencapai 90MW sehingga keandalan dan kualitas daya pada sisi pembebanan masyarakat lebih baik. PLTU ini membagi konsumen masyarakat dalam 6 konfigurasi penyulang yang hingga menuju daerah Gunung Meraksa.

2.1 Visi dan Misi PT Bakti Nugraha Yuda *Energy*

Visi PT. Bakti Nugraha Yuda *Energy* adalah “Export *Energy* Listrik Ke PLN Minimal 80%” dan “Tidak Ada Kecelakaan”. Misi PT. Bakti Nugraha Yuda *Energy* adalah “Membantu Pemerintah Dalam Memenuhi Kebutuhan Energi Listrik Masyarakat” dan “Meningkatkan Kesejahteraan Karyawan”.

Kelebihan dari PT. Bakti Nugraha Yuda *Energy* yaitu perusahaan pembangkit yang berwawasan lingkungan serta berkomitmen untuk terus meningkatkan produksi energi listrik kepada PT. PLN dari waktu ke waktu dimana didalam kontrak telah disepakati nilai minimum 80% dari kapasitas terpasang

2.2 Logo dan Semboyan PT Bakti Nugraha Yuda *Energy*

Semboyan PT Bakti Nugraha Yuda *Energy* yaitu “*Grow With Togetherness*” merupakan salah satu semangat untuk tumbuh dan berkembang bersama dalam mencapai satu tujuan. Logo perusahaan sebagai berikut :



Gambar 2. 2 Logo dan Semboyan PT Bakti Nugraha Yuda *Energy*

Sumber : www.baktienergy.com (2015)

PLTU Baturaja menggunakan kombinasi berbagai unit kerja. Masing-masing unit kerja memiliki tugas pokok masing-masing dan apabila satu sama lain dipadukan maka akan saling menguatkan sehingga membentuk perusahaan yang memiliki tingkat pelayanan yang baik dan terus bertekad untuk

membangun usaha yang berkelanjutan

2.3 Sistem Kerja Produksi PT Bakti Nugraha Yuda *Energy*

Untuk mencapai keunggulan dalam meraih target memerlukan sistem kerja produksi yang baik. Sistem kerja produksi tersebut akan saling terintegrasi satu sama lain, sehingga target akhir yaitu memaksimalkan daya pembangkitan akan dapat tercapai. Tidak lupa juga bahwa perusahaan memiliki tanggung jawab sosial sehingga terjalin hubungan baik antara perusahaan dengan masyarakat. Sistem kerja produksi dibagi menjadi beberapa unit diantaranya :

a. Sistem Operasional

Didalam sistem operasional PLTU Baturaja ini memiliki bagian kerja penyuplai batubara yang biasa disebut dengan istilah “*Coal Handling*”. Bagian tersebut bertugas untuk mengawasi dan mengontrol jalannya batubara sehingga menghasilkan batubara yang sesuai dengan kebutuhan produksi. Batubara disuplai dari perusahaan tambang batubara yang merupakan anak perusahaan dari Induk perusahaan ini yaitu PT. Manggala Gita Karya.

PLTU memiliki bagian kerja unit kerja pengolahan air baku yang disebut *Water Treatment Plant* yang bertugas untuk mengontrol, mengidentifikasi kandungan air yang akan digunakan sehingga menghasilkan air yang sesuai dengan kebutuhan pembakaran yang terbaik. PLTU juga melakukan upaya *pollution prevention* dengan cara membuat kolam pengendapan di area pembuangan air limbah yang sebelumnya telah dilakukan treatment penjernihan air sesuai dengan standar kajian air bersih dan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Terdapat unit kerja yang bertugas *memonitoring* produksi yang mengonversi uap menjadi tenaga listrik. Unit kerja tersebut adalah *Main Power Building* (MPB). Unit tersebut bertugas mengawasi dan mengontrol jalannya produksi sehingga dapat menghasilkan daya listrik secara maksimal. MPB memiliki peranan yang sangat vital karena memiliki bagian operasional yang mengontrol semua aktivitas yang terjadi dalam sebuah pembangkit listrik.

b. *Sistem Maintenance*

Untuk membantu perawatan dan perbaikan mesin pada PLTU dengan 2 sistem, yaitu preventif dan kuratif sehingga dapat bekerja secara maksimal. Ada beberapa unit kerja yaitu :

- *Mechanic Breakdown Unit*

Merupakan bagian yang mengeahui unit *ready for use* dan *breakdown* sehingga apabila terjadi kerusakan mesin dapat segera diatasi

- *Mechanic Electrical Unit*

Merupakan bagian yang memegang peranan penting dalam bagian instalasi listrik pada seluruh mesin pembangkit sehingga gangguan yang berhubungan dengan kerusakan instalasi dapat segera diatasi. Unit ini juga berperan dalam pencegahan kebakaran akibat gesekan instalasi (hubung singkat).

c. *Logistik Warehouse*

Merupakan unit kerja proses rantai suplai dari titik awal hingga produksi dimulai dari penganggaran, pengadaan, penyimpanan, dan penyaluran hingga pengendalian dilakukan dengan efisien dan efektif sehingga dapat mencapai target produksi secara maksimal.

d. *Keselamatan dan kesehatan kerja (HSE)*

Unit yang berfungsi untuk mengawasi dan mengontrol perlengkapan APD. Penerapan dan pengawasan kerja menjadi prioritas utama unit kerja ini. Antisipasi kecelakaan kerja, penilaian resiko, dan kontrol kegiatan situs kerja karyawan merupakan 3 hal sistem kerja utama unit tersebut. Terdapat unit pertolongan pertama pada kecelakaan atau kesehatan karyawan dan juga merupakan 3 hal penting yang dijadikan visi dan misi HSE yaitu : penanganan gawat darurat dan situasi *emergency*, pencegahan penyakit dan penyuluhan kesehatan, dan pusat informasi kesehatan perusahaan.

e. *Human Resource Departemen*

Mengelola aset yang tidak ternilai harganya yaitu karyawan. Bertugas untuk menjaga hubungan baik antara karyawan dengan manajemen. Tugas lainnya yaitu menyusun dan mempertimbangkan kebijakan, rekrutmen

pegawai, memberi ulasan kinerja tahunan, dan mengawasi kedisiplinan karyawan agar mematuhi peraturan perusahaan.

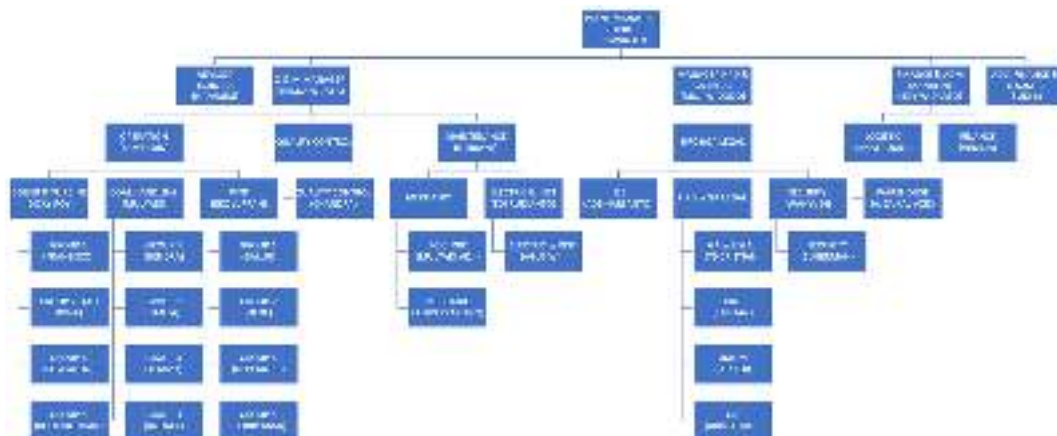
f. Unit Kerja *Finance*

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

g. CSR (Corporate Social Responsibility)

Untuk membangun hubungan baik antara masyarakat dengan perusahaan dimana perusahaan melakukan *caring action* dengan *motivator company* (memotivasi masyarakat untuk berpikir kreatif dan inovatif), memenuhi kebutuhan sosial budaya masyarakat dalam bentuk usaha menjaga hubungan antara komunitas masyarakat dan perusahaan, dan *helper and giver company* sebagai program pengembangan infrastruktur yang berada disekitar perusahaan karena infrastruktur berperan penting sebagai penggerak aspek ekonomi.

2.4 Struktrur Organisasi PT Bakti Nugraha Yuda Energy



Gambar 2. 3 Struktur Organisasi PT Bakti Nugraha Yuda Energy

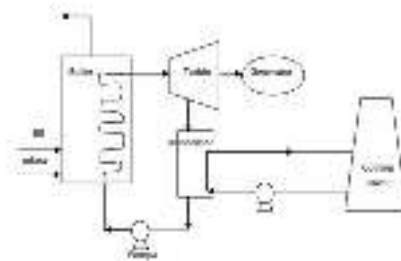
Sumber : Arsip pribadi PT Bakti Nugraha Yuda Energy (2019)

BAB III DASAR TEORI

3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

3.1.1 Pengertian Umum PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap adalah pembangkit yang mengendalikan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang di hubungkan ke turbin. Turbin tersebut diputar oleh energi kinetik dari uap panas atau kering. Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan berbagai macam bahan bakar terutama batu-bara dan minyak bakar (diesel). Komponen utama pada pembangkitan listrik pada PLTU serta fungsinya digambarkan dengan sketsa sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Komponen dasar PLTU secara umum

Sumber : Repository Universitas Guna Darma (2020)

- *Boiler* : Merupakan pipa-pipa panjang berliku pada *furnace* yang digunakan untuk menciptakan uap air baik kering maupun basah.
- *Furnace* (Tungku) : Merupakan tempat pembakaran serbuk batubara yang disuplai udara (oksigen) secara paksa oleh kipas paksa (primer dan sekunder) untuk menciptakan api untuk memanaskan pipa *boiler*.
- *Steam drum* : merupakan tempat pemisahan uap basah dan uap kering. Uap kering akan langsung disalurkan menuju turbin sehingga energi kinetik uap tersebut digunakan untuk memutar turbin. Sedangkan uap basah akan disalurkan menuju *superheater* untuk menciptakan uap kering dan disalurkan kembali pada *steam drum*.

- *Force Draft Fan* : merupakan kipas yang digunakan untuk memasok udara menuju ruang *furnace*. Di PT BNYE ada 2 jenis *Force Draft Fan* yang digunakan yaitu PAF (Primer) dan SAF (Sekunder). Primer merupakan kipas yang menghembuskan udara dari bawah sedangkan sekunder menghembuskan udara dari samping. Keduanya membentuk angin yang berputar (*cyclon*) pada sekitar *boiler* untuk memaksimalkan pemanasan.
- *Governor* : merupakan katup yang digunakan untuk mengatur volume udara yang masuk menuju ruang turbin. Pada *governor* ini diatur dengan menggunakan input arus yang diatur secara terprogram.
- Generator : merupakan alat yang digunakan untuk mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Generator memerlukan mesin eksitasi untuk menciptakan medan magnet pada bagian rotor.
- Kondensor : merupakan alat yang digunakan untuk mendinginkan uap kering panas yang keluar dari turbin untuk didinginkan dengan menggunakan air dingin sehingga uap tersebut kembali menjadi titik-titik air.
- *Cooling tower* : merupakan alat yang digunakan untuk memberikan aliran udara dingin pada kondensor kemudian menerima air panas keluaran dari kondensor. *Cooling tower* dilengkapi dengan kipas berukuran besar untuk menangkap uap air panas dan kemudian menjatuhkan air dingin dengan formasi aliran air terjun agar pendinginan lebih maksimal.
- *Water Treatment Plant* : merupakan tempat yang digunakan untuk memproses air dari air sungai menjadi air *demineral* (tanpa mengandung mineral) karena untuk menghindari timbulnya mikroba yang menyebabkan lumut dan yang terpenting yaitu menghindari pengkristalan pada pipa saluran uap akibat silika dan karat pada bagian dalam turbin akibat panas dan bereaksi dengan oksigen dan zat besi
- ESP (*Electrostatic Precipitator*) : merupakan alat yang digunakan

untuk menangkap partikel debu halus hasil pembakaran batubara dengan media listrik statis. Terdapat 2 jenis komponen yang digunakan yaitu *induction (discharge) plate* dan elektrode. Penangkapan partikel debu halus dengan menggunakan variasi tegangan DC dimana ketika tegangan kecil maka penangkapan debu berkurang dan sebaliknya.

- *Chimney* : merupakan cerobong yang digunakan sebagai pembuangan gas yang sudah bersih dan aman (tidak mengandung partikel debu berbahaya). Cerobong memiliki ketinggian sekitar 60 meter dari permukaan tanah.

Sistem kerja PLTU menggunakan bahan bakar HSD (*High Speed Diesel*) untuk *starting* pemanasan kemudian setelah cukup panas dan stabil menggunakan batu bara secara terus menerus. Kelebihan PLTU yaitu daya yang dihasilkan sangat besar, namun kekurangan PLTU yaitu menggunakan bahan bakar tidak diperbarui dan sensitif terhadap isu lingkungan. PLTU juga membutuhkan suplai daya untuk *Auxiliary* (pembantu) sebagai penunjang operasi PLTU sendiri dengan melalui putaran turbin uap sendiri. PLTU akan mengonversi energi kimia menjadi energi listrik karena menggunakan sistem kerja uap air sebagai fluida berenergi kinetik, kemudian digunakan untuk mendorong kisi-kisi sudut turbin sehingga turbin berputar. Turbin yang terhubung dengan generator akan menghasilkan energi listrik yang selanjutnya akan ditarik oleh beban. Untuk memastikan kerja PLTU tetap baik dan kualitas daya yang dihasilkan stabil maka perlu dilakukan proses pengolahan air, batubara, dan uap yang digunakan.

3.1.2 Pengolahan Air (*Water Treatment*)

Air merupakan salah satu bahan yang sangat dibutuhkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) karena air inilah yang akan dipanaskan sehingga terbentuk uap dan pada akhirnya untuk memutar turbin. Air yang digunakan harus diproses terlebih dahulu karena salah satu variabel yang menentukan kualitas daya listrik yang dihasilkan

bergantung dari kualitas air. Apabila kualitas air baik (sesuai ketentuan) maka proses dapat berlangsung lebih baik dan memperpanjang masa kerja seluruh peralatan penunjang seperti pipa *boiler*, *steam drum*, pipa konektor, pompa, turbin, dan lain-lain.

Proses pengolahan air dimulai dari pengambilan air dari sumber sungai terdekat (Sungai Ogan). Jarak antara PLTU dengan sumber air sekitar ± 2 kilometer. Pompa yang digunakan untuk mengambil air sungai memiliki kekuatan sebesar 40 Bar. Pompa tersebut dapat menarik air dengan debit sebesar $130\text{m}^3/\text{jam}$ pada frekuensi kerja 50 Hz. Air akan mengalir menuju bak penampungan air sekaligus tempat pengendapan lumpur tahap awal sebelum menuju *water treatment* yang disebut sebagai *Water pond* (Kolam air). Ilustrasi kolam air sebagai berikut :



Gambar 3. 2 *Water pond*

Sumber : Penulis (2020)

Kolam tersebut memiliki kapasitas sekitar 4000m^3 dengan kedalaman sekitar 6 meter. Kemudian air akan disalurkan pada *Water Treatment Tower* (WTT) Disana terjadi proses penjernihan air dengan standar kualitas PDAM (air bersih layak guna). Proses yang terjadi pada WTT yaitu air akan diproses dalam 2 tahapan yaitu :

- Tahap 1 : Proses penggumpalan partikel halus

Penggumpalan dilakukan dengan memisahkan air dari partikel lumpur yang sangat halus dengan menggunakan Koagulan dan PAC. Gumpalan yang terbentuk disebut *vlog* dan kemudian akan jatuh pada dasar. Komposisi koagulan dan PAC bergantung dari keadaan air yang diterima dari *water pond*. Parameter yang digunakan untuk menentukan komposisi yaitu *Turbidity* (kekeruhan) air. Proses

penentuan komposisinya dilakukan pengetesan di laboratorium dengan jartes dimana sampel air direaksikan dengan keduanya harus menghasilkan 20-40 ppm (*part per million*) kemudian akan dihitung pada debit nyatanya dan dimasukkan pada pipa menuju filter 1



Gambar 3. 3 Proses penggumpalan partikel

Sumber : Penulis (2020)

Pada ilustrasi diatas nampak bahwa pada bagian kanan air masih keruh karena partikel sangat halus kemudian pada bagian kiri, *vlog* mulai terbentuk dan sebagian akan jatuh pada dasar.

- Tahap 2 : Proses sedimentasi *vlog*

Vlog yang berhasil melewati tahap satu akan diendapkan lagi dengan metode sedimentasi bertingkat sehingga *vlog* akan jatuh dan mengendap pada bagian dasar menyisakan air bersih yang siap digunakan (dengan standar PDAM).



Gambar 3. 4 Proses sedimentasi *Vlog*

Sumber : Penulis (2020)

Air yang sesuai dengan standar PDAM akan disalurkan menuju *reservoir* sedangkan sisa endapan akan disalurkan menuju bak penampungan dan kemudian akan dibuang secara manual dengan menggunakan truk pengeruk pasir (*exavator*).



Gambar 3. 5 Penampungan hasil sedimentasi

Sumber : Penulis (2020)

Air yang bersih akan disalurkan menuju *reservoir*. Dan pada *reservoir* akan dibagi menjadi 3 bagian sesuai kebutuhan yaitu 2 bak untuk persiapan *demineral*-isasi sedangkan 1 bak digunakan untuk suplai menuju *cooling tower* dan sebagai pendingin pada motor *auxiliary*. Air pada *cooling tower* digunakan sebagai suplai menuju kondenser karena pada kondenser terjadi proses kondensasi yaitu pengembunan uap kering hasil keluaran dari turbin dengan media air dingin *cooling tower*. Air dingin pada *cooling tower* dilewatkan pada pipa pipa kecil pada kondenser dan menghasilkan air keluaran kondenser yang panas akan disalurkan kembali menuju *cooling tower* dengan menggunakan formasi air terjun. Uap air yang panas akan tertangkap oleh kipas penghisap karena massa jenis uap lebih rendah dibandingkan massa jenis air. Air dingin yang jatuh akan ditampung pada kolam dan proses akan berlangsung secara siklus tertutup. Ilustrasi *cooling tower* sebagai berikut :



Gambar 3. 6 *Cooling Tower*

Sumber : Penulis (2020)

Sedangkan air *reservoir* untuk keperluan *demineral*-isasi diproses dengan beberapa tahap secara bertingkat untuk menghilangkan mikroba

dan mineral yang terkandung dengan hasil akhir air yang memiliki nilai konduktivitas yang sangat rendah. Proses penghilangan mineral dilakukan dengan proses RO (*Reverse Osmosis*). Proses *Reverse Osmosis* dilakukan dengan memberi tekanan tinggi pada air yang dialirkan melalui membran *semi permeable* (diameter celah membran 0,0001 Mikron) dimana pemisahan ion terjadi. Dengan pemisahan ion, molekul air membentuk barier yang memungkinkan molekul air lainnya untuk melewati dan menghalangi lewatnya hampir semua kontaminan. Tingkat penolakan kontaminan ini berkisar antara **85-97%** yang tergantung pada kualitas awal dari air yang diolah. Tahapan *demineralisasi* yaitu :

- Tahap 1 : Ultrafiltrasi

Pada ultrafiltrasi, air *reservoir* akan disaring dengan menggunakan membran *Hollow Fiber* dengan lubang berdiameter 1 nanometer.



Gambar 3. 7 Proses ultrafiltrasi

Sumber : Penulis (2020)

Air hasil ultrafiltrasi masih mengandung mineral dan beberapa jenis mikroba sehingga perlu proses lebih lanjut.

- Tahap 2 : *Dosing Pump* Klorin dan Biosene

Air hasil proses ultrafiltrasi akan dicampurkan dengan bahan kimia klorin (kaporit) dan biosene. Hal ini dilakukan agar air tersebut tidak dapat digunakan sebagai media tumbuhnya lumut dan mikroba lain yang berpotensi mengganggu proses produksi.



Gambar 3. 8 Tabung pereaksi klorin

Sumber : Penulis (2020)

- Tahap 3 : RO (*reverse osmosis*) primer

Pada tahap ini air akan mengalami proses pengurangan kandungan mineral dengan kadar pemurnian *demineral* sekitar 97%



Gambar 3. 9 Reverse Osmosis Primer

Sumber : Penulis (2020)

Pada layar tertera angka masukan memiliki nilai konduktivitas 89 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (dibaca : mikrosimen/centimeter). Sedangkan keluaran memiliki nilai konduktivitas 6,3 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Penentuan keadaan filter didalamnya masih bagus tidaknya berdasarkan perbandingan konduktivitas input dan output yaitu :

$$\frac{out}{in} = \frac{6,3}{89} \times 100\% = 92,92\%$$

Karena nilai masih diatas 90% maka filter dikatakan layak pakai. Nilai tersebut turun karena berbagai efek, salah satunya yaitu tekanan berlebih pada filter (pompa bertekanan 1,5Mpa). Pada tahap ini terdapat mekanisme *chemical cleaning* dimana menggunakan asam-basa untuk memperbaiki nilai konduktivitas. Apabila asam maka menutup pori-pori filter dan basa akan membuka pori-pori sehingga menyisakan air yang memiliki kandungan mineral yang lebih rendah

dari sebelumnya

- Tahap 4 : RO (*reverse osmosis*) sekunder

Pada tahap ini air akan mengalami proses pemurnian secara RO tahap kedua dimana nilai konduktivitas akan semakin rendah



Gambar 3. 10 *Reverse Osmosis* Sekunder

Sumber : Penulis (2020)

Pada layar tertera angka masukan memiliki nilai konduktivitas 5,5 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Sedangkan keluaran memiliki nilai konduktivitas 2,4 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Sama halnya dengan RO primer, terdapat mekanisme *chemical cleaning* untuk menurunkan nilai konduktivitas.

- Tahap 5 : *Mixbedding*

Pada tahap ini merupakan akhir dari proses *demineral*-isasi karena air keluaran RO sekunder akan dimurnikan mineralnya dengan menggunakan ion positif dan negatif.



Gambar 3. 11 Tabung reaksi ionisasi Anion Kation

Sumber : Penulis (2020)

Ion tersebut masih dicampur dengan resin anion dan kation sehingga nilai konduktivitasnya akan turun drastis dari 2,4 $\mu\text{s}/\text{cm}$ menjadi 0,02 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (penurunan nilai konduktivitas sekitar 99,16%).



Gambar 3. 12 Penurunan konduktivitas tahap *mixbedding*

Sumber : Penulis (2020)

Dari proses tersebut akan dimasukkan pada tangki-tangki *outdoor* dimana lebih jelasnya yaitu sebagai berikut :



Gambar 3. 13 Tangki penyimpanan air

Sumber : Penulis (2020)

Pembagian tangki sebagai berikut (dibaca dari paling kanan) :

Tabel 3. 1 Pembagian jenis air berdasarkan tangki

Tangki 1	<i>Reservoir</i>	Tangki kecil 1	Ultrafiltrasi
Tangki 2	Air Demin	Tangki kecil 2	Output RO primer
Tangki 3	Air Demin	Tangki kecil 3	Output RO sekunder

Sumber : Chandra (2020)

Air yang berada pada tangki 2 dan 3 merupakan air *demineral* yang siap digunakan ketika *boiler* membutuhkan pasokan air tambahan. Pada siklus air-uap-air sebenarnya tidak memerlukan air *demineral* tambahan apabila siklus tersebut berjalan secara ideal (sempurna). Pada praktiknya masih terjadi *water losses* (rugi-rugi air) seperti pada pembuangan air yang mengandung silika pada *steam drum*, kebocoran pada pipa-pipa saluran, proses pembuangan uap air ketika tekanan pada *boiler* meningkat drastis sehingga tetap memerlukan air *demineral* untuk

menutupi *water losses*. Sehingga air demin yang dibutuhkan sekitar 12m^3 tiap tangki dalam interval 8 jam operasi atau sekitar $72\text{m}^3/\text{hari}$. Air tersebut akan digunakan dengan menyalurkan pada deareator untuk dihubungkan dengan air kondensat (air hasil proses kondensasi) sehingga debit air dari air demin yaitu :

$$Q_{\text{demin}} = Q_{\text{total}} - Q_{\text{losses}}$$

Hubungan antara air demin dengan air losses yaitu air demin harus sama dengan water losses. Maka dari data diatas dapat disimpulkan *water losses* dalam sistem ini yaitu sekitar $72\text{m}^3/\text{hari}$. Kemudian air demin akan dipanaskan tahap awal dan disalurkan menuju deareator untuk digabungkan dengan air kondensat, kemudian air akan disalurkan menuju ekonomizer dan pada akhirnya menuju pipa *boiler*.

3.1.3 Pengolahan Batubara (*Coal Fired Treatment*)

Batubara yang digunakan merupakan batubara dengan kalori yang rendah (<2000) sehingga panas yang dihasilkan tidak terlalu tinggi. Akibatnya, memerlukan suplai bahan bakar yang lebih banyak. Batu bara diperoleh dari lokasi tambang milik PT. Bakti Nugraha Yuda. Kebutuhan batubara untuk operasional PLTU sebesar 13-16 ton/jam. Batubara tersebut juga akan menentukan kualitas daya yang dihasilkan karena semakin bagus komposisi batubara maka panas yang dihasilkan semakin besar dan akibatnya proses pembentukan uap akan semakin cepat. Namun terdapat batasan dalam penentuan komposisi bahan bakar karena harus menyesuaikan dengan spesifikasi *boiler* dan *furnace* yang digunakan.

Batubara yang baru dipasok harus melewati tahap *Wet Coal Storage* dan selanjutnya terjadi 2x pemrosesan *Dry Coal Storage* (DCS). Hal tersebut dilakukan untuk memastikan batubara dalam keadaan kering sebelum disalurkan menuju *Crusher* melalui *conveyor belt* dengan kecepatan dalam satuan Hertz. Pada *conveyor belt* terdapat sensor berat (*load cell*) untuk proses weighing (membaca konsumsi batubara).

Gambar 3. 14 *Dry Coal Storage*

Sumber : Penulis (2020)

Pada *crusher* terdapat 2 kali pemrosesan batubara yaitu pengayakan dan penghancuran. Batubara yang diambil dari DCS memiliki ukuran yang bervariasi, maka batubara harus diayak terlebih dahulu dengan menggunakan *roller screener*. Setelah dilakukan proses pengayakan, batubara dengan ukuran yang masih besar (tidak bisa lolos melewati proses pengayakan) akan dihancurkan dengan menggunakan *ringhammer* sehingga batubara yang dihasilkan memiliki ukuran partikel yang sangat kecil untuk mempercepat proses pembakaran. Setelah tingkat kehalusan memenuhi standar maka serbuk batubara akan disalurkan pada tungku (*furnace*) dengan menggunakan *conveyor belt*. Sama halnya *conveyor belt* dari DCS, *conveyor belt* dari *crushers* memiliki sensor berat dan modul pengatur kecepatan dengan satuan Hertz (sekitar 7-9,5Hz) sehingga dapat diketahui nilai konsumsi batubara dalam satuan *tonnes/hours*.

Gambar 3. 15 *Crushers*

Sumber : Penulis (2020)

Pada tungku terjadi pembakaran batubara yang dibantu dengan kipas PAF (*primary Auxiliary Fan*) dan SAF (*Secondary Auxiliary Fan*). PAF

menyuplai udara dari bawah sedangkan SAF menyuplai udara dari samping sehingga terjadi perputaran api pada sekitar pipa *boiler* agar pemanasan lebih maksimal. Pada saat kondisi *starting*, *boiler* dipanaskan dengan bantuan solar dan kompresor (sebagai injektor) terlebih dahulu untuk membantu menyalakan api pada batubara dan selanjutnya setelah terjadi pembakaran batubara yang stabil maka hanya perlu menggunakan batubara saja. Ilustrasi *furnace* dan *boiler* sebagai berikut :



Gambar 3. 16 Tampilan luar *Furnace* dan *Boiler*

Sumber : Penulis (2020)

Spesifikasi *boiler* yang digunakan tertera pada *nameplate* dibagian sisi *boiler* sebagai berikut :



Gambar 3. 17 *Nameplate* spesifikasi *Boiler*

Sumber : Penulis (2020)

Debit air pada *boiler* sendiri yaitu 65 Ton/jam ($65 \text{ m}^3/\text{jam}$), temperatur kerjanya 485°C , tekanan uap 5,3Mpa, dan seterusnya. Terjadi pemisahan jenis uap air pada komponen *steam drum* dimana uap kering akan

disalurkan menuju turbin, sedangkan uap basah akan menuju *superheater* untuk kembali membentuk uap kering dan pemrosesan uap basah hingga mencapai titik jenuh karena uap air tersebut mengandung silika. Setelah itu, uap kering bertekanan akan menghasilkan energi kinetik yang sangat besar dan cukup kuat untuk memutar turbin hingga kecepatan kurang lebih 3000rpm (listrik 50Hz). Turbin akan dikopel dengan generator untuk menghasilkan energi listrik.

Sedangkan sisa pembakaran batubara dibagi menjadi 2 bagian yaitu *bottom ash* dan *fly ash*. *Bottom ash* merupakan sisa pembakaran yang akan mengendap pada bagian dasar *furnace* yang sebagian mengandung kadar bebatuan maupun batu hasil suplai limestone (batu kapur). Batu tersebut digunakan oleh *furnace* untuk mengatur suhu didalamnya sehingga tidak langsung dibuang karena untuk menstabilkan suhu internal *furnace*. Sedangkan *fly ash* merupakan sisa pembakaran batubara yang memiliki massa jenis yang ringan (partikel debu). *Fly ash* akan diserap oleh IDF (*Induced Draft Fan*). Kipas tersebut digunakan untuk menarik debu keluar dari *furnace* menuju *chimney*. Sebelum *fly ash* dibuang maka debu tersebut akan ditangkap pada ESP (*Electrostatic Precipitator*).

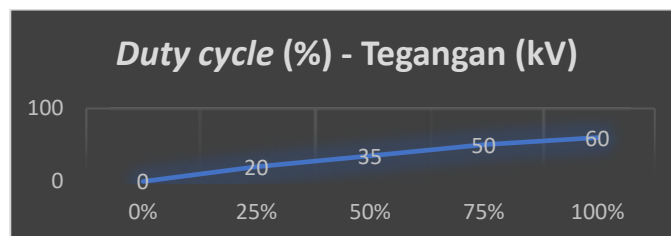


Gambar 3. 18 *Induced Draft Fan*

Sumber : Penulis (2020)

Didalam ESP, debu ditangkap dengan prinsip medan magnet elektostatik. Secara garis besar terdiri dari 2 bagian yaitu *Induced plate* (*discharge plate*) dan elektroda. Terdapat 2 sistem ESP (karena jumlah *furnace* ada 2), dan didalam satu sistem ESP terdapat 18 pasang *induced plate* dan elektroda. Keduanya (*induced plate*-elektroda) dialiri oleh

listrik arus searah (DC) dengan level tegangan sekitar 20kVDC hingga 60kVDC. *Induced plate* bermuatan listrik positif sedangkan elektroda bermuatan listrik negatif sehingga debu akan menempel pada *induced plate* dan akan dijatuhkan dengan motor *ringhammer*. Pengaturan level tegangan dengan menggunakan masukan listrik AC 380VAC menjadi 30-60kVAC dengan menggunakan trafo step-up. Keluaran listrik tersebut diubah menjadi DC dengan menggunakan penyearahan arus tinggi dengan *dioda* SCR agar besar keluaran dapat diatur dengan masukan arus gate berupa PWM yang telah diatur *duty cycle*-nya. Pada bagian atas ESP terdapat isolator agar tegangan tidak mengalir pada body ESP (arus bocor). ilustrasi hubungan *duty cycle* terhadap tegangan keluaran yaitu sebagai berikut :

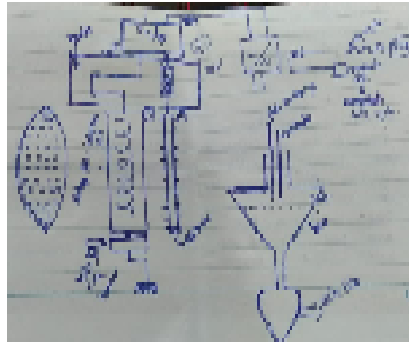


Gambar 3. 19 Grafik hubungan antara *Duty cycle* PWM dengan Tegangan

Sumber : Agus Wijaya (2020)

Pengaruh tegangan terhadap medan magnet yaitu semakin tinggi tegangan yang diberikan maka medan magnet yang tercipta semakin besar. Karena medan magnet semakin besar sehingga kemampuan penangkapan partikel debu semakin kuat, dan sebaliknya. Pengaturan tegangan dapat diatur secara manual dengan mengatur *setpoint* PWM pada gate SCR. Pengaturan tegangan berdasarkan ketinggian level debu pada konikal (bawah ESP), semakin rendah level debu maka tegangan semakin tinggi, dan sebaliknya. Sedangkan pengaturan pembuangan debu menuju tabung slag silo secara otomatis dengan menggunakan sistem PLC yang terhubung dengan input sensor level dan temperatur. Pada bagian dalam ESP juga terdapat *heater* untuk menghindari pembentukan gumpalan debu akibat partikel air sehingga air akan

diuapkan. Ilustrasi kerja ESP sebagai berikut :



Gambar 3. 20 Prinsip kerja ESP

Sumber : Penulis (2020)

Debu yang tertangkap pada ESP selanjutnya akan disalurkan pada tabung ash silo dengan bantuan kompresor. Debu *fly ash* akan diserahkan kepada PT. Semen Baturaja untuk diolah menjadi bahan campuran dalam produksi semen.

Karena debu telah terperangkap pada bagian ESP maka udara keluaran adalah gas yang bersih. Gas tersebut selanjutnya dibuang melalui cerobong asap (*chimney*).



Gambar 3. 21 *Chimney* (Cerobong asap)

Sumber : Penulis (2020)

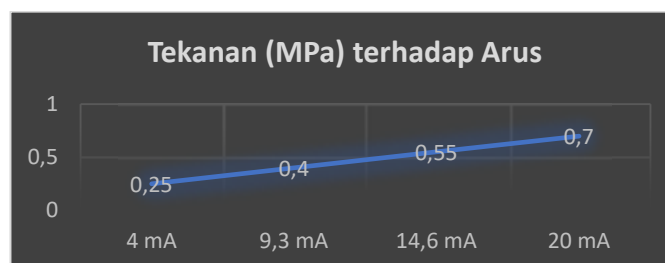
3.1.4 Pengelolaan Uap Air (Steam Process)

Uap air diperoleh dari proses pemanasan bahan bakar terhadap air. Dalam keadaan startup memerlukan waktu 4-6 jam untuk menghasilkan uap yang siap digunakan. Uap air ini dimulai dari air *demineral* yang melalui pipa *boiler*. Kemudian air akan menguap dan menuju *steam drum*. Disana terdapat proses pemisahan antara uap basah dan uap kering. Uap basah dialirkan menuju *superheater* untuk dipanaskan lebih

lanjut sehingga molekul air akan dipisahkan menyisakan uap kering yang kemudian disalurkan kembali menuju *steam drum*. Molekul air yang jenuh harus dibuang karena mengandung silika. Uap kering hasil pemrosesan pada *boiler* dan *superheater* akan disalurkan menuju pipa menuju turbin. Sebelum memasuki turbin maka tekanannya harus disesuaikan terlebih dahulu dengan ketentuan sebagai berikut :

- Suhu : 470-500°C
- Tekanan : 4,68-5MPa

Nilai tersebut harus memenuhi persyaratan untuk memutar turbin dengan kecepatan 3000rpm dan tetap menjaga suhu internal turbin. Maka pada saat kondisi startup diperlukan katup untuk mengatur bukaan uap yang masuk pada turbin. Katup tersebut dibagi menjadi 2 jenis yaitu MSV (*Main Stop Valve*) dan GV (*Governor Valve*). MSV digunakan untuk pengatur laju aliran utama uap kering yang masuk pada turbin tekanan tinggi sedangkan GV digunakan untuk mengatur laju aliran uap sekaligus sebagai pengontrol beban saat sinkronisasi. Pengaturan GV dilakukan dengan mesin Woodward 505. Pada mesin tersebut dapat diatur nilai *setting point* bukaan katup (langsung dikonversi berdasarkan kecepatan turbin) sehingga kecepatan menjadi konstan dan stabil. Woodward 505 akan mengirimkan arus dengan range 4-20mA yang kemudian akan dikonversikan menjadi tekanan oleh CPC (*Current to Pressure Converter*). CPC akan mengatur bukaan katup *governor* (GV) dengan hubungan linear. Maka hubungan antara arus dan tekanan digambarkan dalam grafik sebagai berikut :



Gambar 3. 22 Grafik hubungan antara Tekanan dengan Arus mesin 505

Sumber : Agus Wijaya (2020)

Dari perubahan tekanan maka akan menentukan besarnya lebar pembukaan katup. Diameter bukaan yaitu sekitar 0 mm sampai 60 mm tergantung arus yang diberikan, semakin besar diameter maka arus yang diterima CPC semakin tinggi. Dalam kondisi normal, ketika telah tersinkron dengan PLN (tegangan 6,3kV dan frekuensi 50Hz) maka pada mesin woodward 505 diatur nilainya sebagai berikut :



Gambar 3. 23 Tampilan 505 (pengontrol turbin)

Sumber : Penulis (2020)

Kecepatan agar frekuensi stabil pada nilai 50Hz yaitu 3000 rpm. Pembacaan kecepatan pada mesin 505 adalah 3003,2 rpm (50,05 Hz). Nilai *setpoint* pada mesin 505 tersebut adalah 3007,3rpm maka besar nilai frekuensi adalah :

$$F = \frac{P \times N}{120} = \frac{2 \times 3007,3}{120} = 50,12 \text{ Hz}$$

Nilai tersebut masih berada di range toleransi frekuensi yaitu 48,5 – 50,5 Hz. Namun dalam keadaan startup maka MSV harus dalam keadaan tertutup terlebih dahulu. Hal tersebut dilakukan untuk memperoleh tekanan dan suhu yang sesuai terlebih dahulu. Keduanya harus terpenuhi dan bila tidak maka uap akan dibuang melalui katup buang. Katup buang terdiri dari 2 jenis yaitu *Steam Electromotor Valve* dan *Safety Valve*.

Steam electromotor valve yaitu katup yang digunakan untuk membuang uap bertekanan dengan menggunakan 3 metode yaitu manual, semi-manual dan otomatis. Manual dapat dilakukan dengan memutar tuas yang terdapat pada fisik katup. Semi-manual dilakukan dengan menekan tombol pada meja kontrol utama untuk mengaktifkan

motor induksi 3 fasa untuk membuka/menutup katup. Sedangkan otomatis dilakukan dengan sistem PLC yang terhubung dengan sensor, apabila sensor mendeteksi nilai tekanan melebihi batas pengaturan maka secara otomatis akan memutar motor induksi. Ilustrasi *steam electromotor valve* sebagai berikut :



Gambar 3. 24 *Steam Electromotor Valve*

Sumber : Penulis (2020)

Pada bagian tengah (warna putih) merupakan indikator besar bukaan katup. Indikator tersebut terhubung dengan poros motor induksi sehingga dapat digunakan untuk menentukan besar bukaan katup. Sedangkan kotak hitam dan 2 lingkaran dibawah pada gambar tersebut merupakan kontak torsi perputaran CW (searah jarum jam) dan CCW (berlawanan jarum jam). Dengan logika PLC, katup tersebut dapat terbuka secara otomatis ketika tekanan yang terbaca sensor lebih dari 5,4MPa (tanpa perlu menekan tombol pada ruang kontrol).



Gambar 3. 25 *Monitoring turbin*

Sumber : Penulis (2020)

Safety valve merupakan katup mekanis yang menggunakan pegas sebagai pembacaan tekanan. Pegas harus diatur pada koefisien tertentu agar dapat membuka secara otomatis pada tekanan tertentu. Rumus

pegas Hooke sebagai berikut :

$$F_p = -k * \Delta x$$

Rumus tersebut menentukan kekakuan pegas. Ketika k besar maka pegas menjadi kaku (keras) sedangkan ketika k kecil aka pegas menjadi lunak. Dengan perubahan jarak yang sama maka pegas diatur untuk dapat membuka secara otomatis pada tekanan 5,6 MPa.



Gambar 3. 26 *Safety Valve*

Sumber : Penulis (2020)

Sehingga urutan kerja katup yaitu pengamanan dilakukan dengan *steam electromotor valve* terlebih dahulu. Hal tersebut dilakukan agar pengaturan tekanan uap dilakukan secara terkontrol terlebih dahulu. Namun apabila lonjakan tekanan sudah tidak terkendali dan melebihi nilai *setpoint*, maka secara otomatis akan diamankan dengan menggunakan *safety valve*. Apabila tekanan sangat tinggi dan tidak diamankan dengan *safety valve* maka tekanan *boiler* yang tidak terkendali dapat menyebabkan kerusakan konstruksi *furnace*, katup MSV, turbin, bahkan *boiler* dapat meledak.

Apabila uap kering yang telah memenuhi persyaratan maka akan dialirkan pada turbin untuk diputar. Pembukaan katup dilakukan secara bertahap sehingga putaran pada turbin juga akan bertahap untuk menghindari kerusakan pada turbin. Pada kecepatan 3000rpm merupakan syarat minimum untuk melakukan sinkronisasi dengan grid PLN dan kemudian besar penentuan kecepatan tergantung dari kapasitas daya yang akan dicapai. Pengaturan kecepatan dengan menggunakan mesin 505 yang bertugas untuk mensuplai arus pada CPC dan selanjutnya diaktuasi oleh katup *governor* untuk disesuaikan besar

bukaan katup. Semakin besar bukaan, maka tekanan uap semakin tinggi dan semakin besar tekanan maka kecepatan rotasi generator bertambah, sehingga daya yang dihasilkan semakin besar, dan sebaliknya.

Rumus yang digunakan untuk menentukan *setting point* pada mesin 505 yaitu sebagai berikut :

$$Load\% = \left(\frac{Load}{Max\ Load} \right) * 100\%$$

$$Set\ Point = 3000 + (6\% * Load\% * 3000)$$

Nilai tersebut merupakan perhitungan *drop setting point* dimana angka 6% melambangkan *drop* kecepatan dari turbin. Dengan perhitungan tersebut maka hubungan antara Kecepatan dengan beban digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3. 27 Grafik Hubungan antara Kecepatan dengan Pembebanan

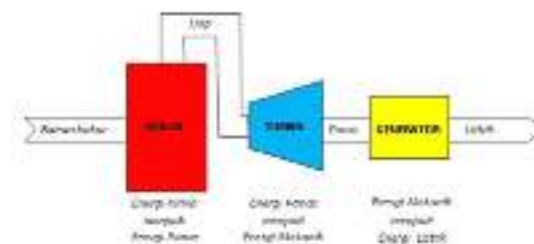
Sumber : Reza (2020) dari Woodward 505

Uap kering yang keluar dari turbin akan dikondensasi dengan menggunakan kondenser. Setelah terkondensasi maka uap kering akan kembali menjadi air kondensat. Pada siklus ini merupakan akhir dari siklus uap dan kembali lagi menjadi wujud cair.

3.1.5 Prinsip Kerja PLTU

Prinsip kerja PLTU yaitu dengan siklus perubahan fluida dari air kemudian dipanaskan dengan bahan bakar (batubara) sehingga menjadi uap bertekanan. Kemudian setelah digunakan untuk memutar turbin maka uap akan didinginkan dengan menggunakan prinsip kondensasi pada bagian kondenser sehingga terbentuk titik-titik embun air. Setelah terbentuk air maka akan disalurkan pada deaerator sebelum dipompa kembali menuju *boiler*. Proses tersebut dilakukan pada sistem tertutup

(*close loop*) dimana air hasil kondensasi tersebut akan dicampur dengan air tanpa mineral (*demineral water*) dipompa oleh pompa kondensat ke pemanas bertekanan rendah. Volume air *demineral* yang digunakan disesuaikan dengan *water losses* yang terjadi. Kemudian air akan dipanaskan dan disalurkan menuju deaerator untuk mengurangi kadar oksigen. Air tersebut akan dipompa oleh *Feed Water Pump* (FWP) untuk disalurkan menuju *Economizer*. Dari situlah air akan kembali disalurkan kembali menuju pipa-pipa *boiler*. Ilustrasi :

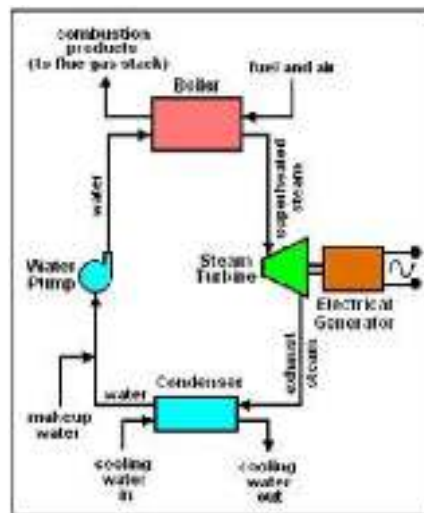


Gambar 3. 28 Proses konversi energi

Sumber : Repository UMY (2020)

Setelah dipanaskan pada pipa *boiler* akan terbentuk uap. Uap akan disalurkan pada *steam drum* untuk dipisahkan antara uap kering dan uap basah. Uap kering akan langsung disalurkan menuju turbin sedangkan uap basah akan disalurkan kembali pada *superheater* untuk memisahkan kembali uap basah antara uap kering dan air yang terkandung. Sedangkan *superheater* menurut Djokosetyoardjo (2003:304) yaitu “*superheater* ialah alat untuk memanaskan uap kenyang menjadi uap yang dipanaskan lebih lanjut (*steam superheater*). Uap yang dipanaskan lebih lanjut bila digunakan untuk melakukan kerja dengan jalan ekspansi di dalam turbin uap tidak akan cepat mengembun, sehingga mengurangi kemungkinan timbulnya bahaya yang disebabkan oleh terjadinya pukulan balik (*back stroke*) yang diakibatkan mengembunnya uap belum pada waktunya sehingga menimbulkan vakum di tempat yang tidak semestinya di daerah ekspansi.” Proses tersebut akan terus berlangsung hingga menghasilkan titik jenuh dimana air tidak dapat menjadi uap kering karena banyak mengandung silika. Silika tersebut akan dibuang melalui pipa. Dari

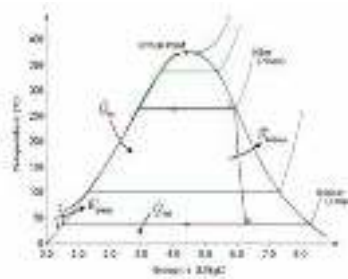
proses *starting* mana uap kering yang dihasilkan harus ditahan oleh katup MSV terlebih dahulu hingga tekanan dan suhu untuk melewati turbin telah memenuhi persyaratan spesifikasi turbin. Setelah sesuai maka uap kering bertekanan akan digunakan untuk mendorong kisi-kisi turbin. Besar tekanan tersebut diatur dengan menggunakan katup *Governor*. Kisi turbin dengan sudut tertentu akan menghasilkan putaran dengan kecepatan rotasi tertentu. Turbin akan dihubungkan pada generator dengan coupling sehingga menghasilkan putaran dan dihasilkan energi listrik. Uap kering yang telah digunakan akan dialirkan menuju kondenser untuk melakukan proses kondensasi dan proses akan berlangsung secara berulang-ulang. Ilustrasi siklus air-uap-air sebagai berikut :



Gambar 3. 29 Siklus perubahan wujud fluida

Sumber : Repository UMY (2020)

Bila digambarkan hubungan antara suhu dan entropi ($T - s$) dalam bentuk rankine ideal digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3. 30 Siklus Rankine ideal

Sumber : Repository UMY (2020)

Urutan langkah proses 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 Economizer.
- 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 Prinsip Termodinamika

Termodinamika yang digunakan yaitu siklus Rankine (siklus tenaga uap). Siklus Rankine menggunakan uap sebagai medium kerja sebagaimana pada PLTU. Komponen terpenting yang digunakan yaitu boiler, turbin uap, dan kondensor. Siklus ini memperhatikan energi yang

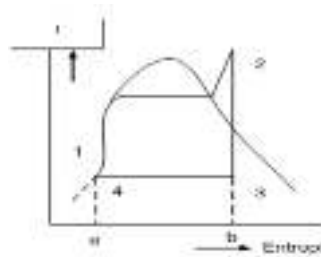
masuk, energi yang digunakan, dan energi yang terbuang (siklus tidak sempurna). Dirumuskan sebagai berikut :

$$Em = Ek + Eb$$

Em merupakan energi yang digunakan untuk memanaskan *boiler*, Ek merupakan energi yang digunakan untuk memutar turbin, dan Eb merupakan energi yang terbuang pada kondensor serta seluruh rugi-rugi. Sehingga efisiensi sistem dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{Ek}{Em} = \frac{Em - Eb}{Em}$$

Energi tersebut apabila digambarkan dalam siklus rankine ssebagai berikut :



Gambar 3. 31 Jenis energi berdasarkan luas area siklus Rankine

Sumber : Repository Universitas Guna Darma (2020)

Energi terhadap luas area diagram konstelasi sebagai berikut :

- $Ek = \text{Luas } 1-2-3-4$
- $Eb = \text{Luas } a-b-3-4$
- $Em = \text{Luas } a-b-2-1$

Empat proses dalam siklus rankine (dalam siklus ideal) menggambarkan keadaan kerja cairan yang diunjukkan sebagai berikut :

1. Proses 1-2 : cairan dipompa dari tekanan rendah sampai tinggi. Karena cairan memerlukan sedikit input pompa yang berenergi. Bila secara ideal maka tidak ada perubahan entropi
2. Proses 2-3 : tekanan cairan yang masuk *boiler* tinggi dimana air panas pada tekanan konstan (isobaris) dari sumber eksternal berubah menjadi uap jenuh kering.
3. Proses 3-4 : uap jenuh kering tersebut memperluas melalui turbin dan menghasilkan listrik. Setelah digunakan maka terjadi penurunan suhu

dan tekanan maka dilanjutkan dengan proses kondensasi

4. Proses 4-1 : uap basah hasil proses kondensasi masuk kondensator konsentrasi tinggi pada suhu dan tekanan konstan (isobaris) sehingga terbentuk cair jenuh

Hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi yaitu dengan menurunkan tekanan pada kondensor. Tekanan kondensor adalah energi tekan yang diserap oleh pompa air suhu rendah yang dipakai sebagai penerima sehingga menurunkan garis 3-4. Solusi lain yang dapat digunakan yaitu menurunkan suhu input kondenser namun keterbatasan ketersediaan karena umumnya hanya diperoleh dari *reservoir* hasil *water treatment*.

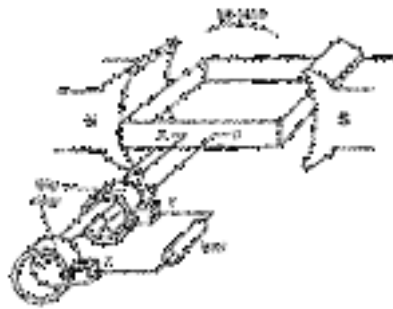
3.2 Generator AC sinkron 3 fasa

3.2.1 Generator

Merupakan alat yang dapat mengubah tenaga mekanik menjadi energi listrik. Tenaga mekanik diperoleh dari perputaran akibat air, uap, angin, dll. Energi yang dihasilkan berupa listrik arus searah (DC) dan bolak balik (AC). Jenis energi listrik tersebut tergantung dari konstruksi generator yang digunakan. Generator erat kaitannya dengan hukum faraday dimana “apabila sepotong kawat penghantar listrik berada dalam medan magnet berubah-ubah, maka dalam kawat tersebut akan terbentuk Gaya Gerak Listrik (GGL)”. GGL tersebut merupakan tegangan (beda potensial) yang timbul karena adanya aliran elektron dalam sebuah kumparan yang dihasilkan dari perubahan medan magnet rotor dan stator. Rumus GGL yaitu sebagai berikut :

$$\varepsilon = \int_c \vec{E} * d\vec{l}$$

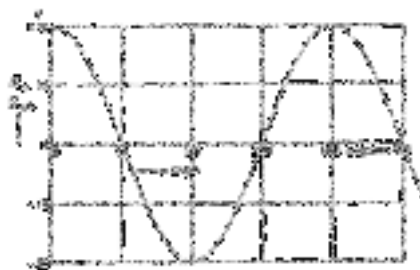
Konstruksi generator AC yaitu terdapat 2 buah *slip ring* yang digunakan sebagai sumber AC. Secara sederhana digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3. 32 Generator AC 1 fasa kutub tunggal

Sumber : Theodore Wildi (2002)

Gambar diatas merupakan prinsip dasar generator AC *brushed* dimana ketika kumparan berotasi, tegangan akan menginduksi terminal A dan D sehingga akan menginduksi beban melalui perantara *slip ring* dan *brush*. Tegangan terbentuk karena kumparan konduktor berputar memotong fluks yang dihasilkan kutub utara dan selatan magnet. Tegangan akan maksimum ketika medan magnet sejajar dengan fluks medan magnet dan sebaliknya, tegangan akan 0 ketika medan magnet tegak lurus terhadap fluks medan magnet. Maka grafik tegangan yang dihasilkan sebagai berikut :

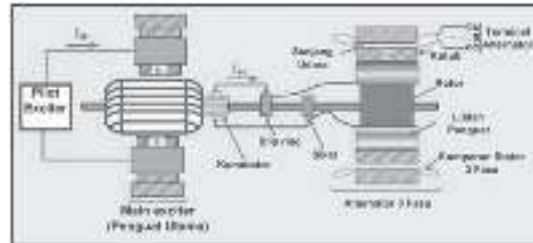


Gambar 3. 33 Grafik tegangan keluaran generator 1 fasa kutub tunggal

Sumber : Theodore Wildi (2002)

Dalam perkembangannya, muncul generator AC *brushless* dimana tidak memiliki mekanisme *slip ring* dan *brush*. Generator jenis ini akan menghasilkan daya dengan efisiensi yang semakin baik. Generator *brushless* menggunakan kumparan pada rotor maupun statornya. Kumparan stator digunakan untuk menghasilkan daya listrik sedangkan kumparan rotor akan terkoneksi dengan sumber listrik DC eksternal

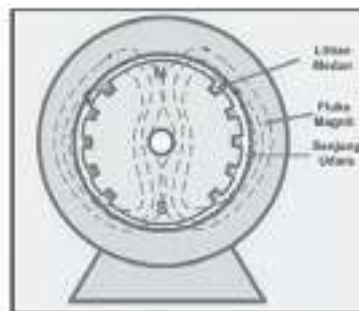
yang digunakan untuk menciptakan medan magnet. Komponen penguatan tersebut disebut dengan *exciter*. *Exciter* akan menginduksi rotor dengan ilustrasi sebagai berikut :



Gambar 3. 34 Prinsip kerja *Exciter* pada generator

Sumber : PT PLN JASDIKLAT (1997)

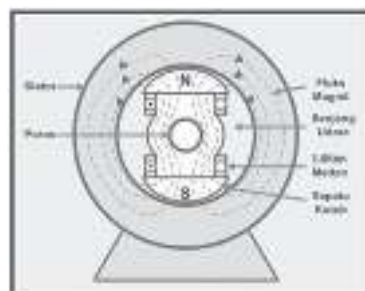
Pilot exciter dapat dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya rangkaian *dioda* silikon, thyristor, maupun AVR (Automatic Voltage Regulator). Sedangkan bentuk rotor yang digunakan bergantung pada kecepatan mesin. Generator dengan kecepatan tinggi (turbo generator) menggunakan bentuk silinder.



Gambar 3. 35 Rotor Silinder

Sumber : PT PLN JASDIKLAT (1997)

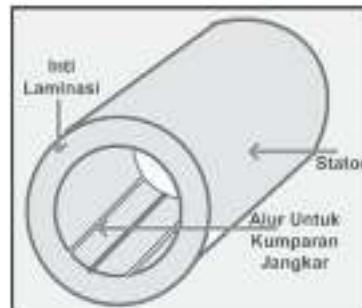
Sedangkan generator kecepatan rendah seperti generator hidroelektrik memiliki rotor kutub menonjol (*salient pole*).



Gambar 3. 36 Rotor *Salient*

Sumber : PT PLN JASDIKLAT (1997)

Stator terbuat dari bahan ferromagnetik yang berbentuk laminier (berlapis-lapis) untuk mengurangi rugi-rugi arus pusar (*eddy current*). inti ferromagnetik yang baik berarti permeabilitas dan resistivitas tinggi.

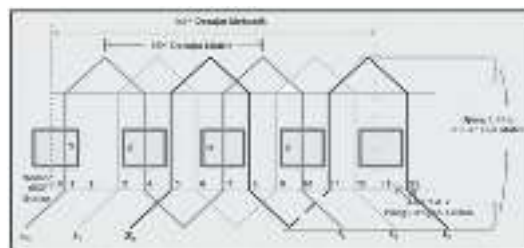


Gambar 3. 37 Stator laminasi

Sumber : PT PLN JASDIKLAT (1997)

Belitan jangkar yang umum digunakan pada generator 3 fasa ada dua tipe, yaitu belitan satu lapis (*single layer winding*) dan belitan lapis ganda (*double layer winding*).

- **Belitan satu lapis**



Gambar 3. 38 Belitan satu lapis

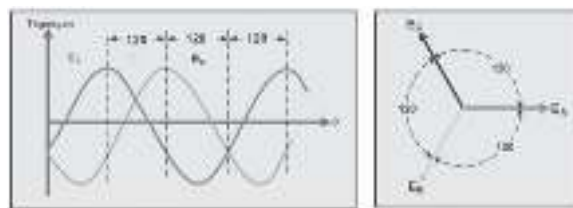
Sumber : PT PLN JASDIKLAT (1997)

Gambar diatas merupakan belitan satu lapis dimana hanya ada satu sisi lilitan didalam masing-masing alur. Bila kumparan tiga *phasa* dimulai pada Sa, Sb, dan Sc dan berakhir di Fa, Fb, dan Fc bisa disatukan dalam dua cara, yaitu hubungan bintang dan segitiga. Antar kumparan *phasa* dipisahkan sebesar 120 derajat listrik atau 60 derajat mekanik, satu siklus ggl penuh akan dihasilkan bila rotor dengan 4 kutub berputar 180 derajat mekanis. Satu siklus ggl penuh

menunjukkan 360 derajat listrik, adapun hubungan antara sudut rotor mekanis α_{mek} dan sudut listrik α_{lis} , adalah:

$$\alpha_{lis} = \frac{P}{2} * \alpha_{mek}$$

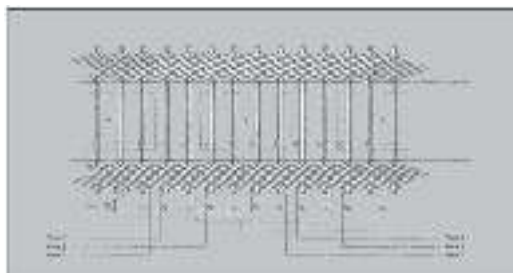
Untuk menunjukkan arah dari putaran rotor (searah jarum jam), urutan *phasa* yang dihasilkan oleh suplai tiga *phasa* adalah ABC, dengan demikian tegangan maksimum pertama terjadi dalam *phasa* A, diikuti *phasa* B, dan kemudian *phasa* C. Kebalikan arah putaran dihasilkan dalam urutan ACB, atau urutan *phasa* negatif, sedangkan urutan *phasa* ABC disebut urutan *phasa* positif. Jadi ggl yang dibangkitkan sistem tiga *phasa* secara simetris adalah: $E_A = E_A \angle 0^\circ$ Volt, $E_B = E_B \angle -120^\circ$ Volt, $E_C = E_C \angle -240^\circ$ Volt. Ilustrasi urutan fasa sebagai berikut :



Gambar 3. 39 Gelombang dan sudut fasa Belitan satu lapis

Sumber : PT PLN JASDIKLAT (1997)

- **Belitan lapis ganda**



Gambar 3. 40 Belitan lapis ganda

Sumber : PT PLN JASDIKLAT (1997)

Belitan lapis ganda digunakan untuk memperbaiki kelemahan belitan satu lapis dimana terjadi permasalahan variasi kerapatan fluks dalam inti akan melokalisir pengaruh panas dalam daerah alur dan menimbulkan harmonik. Pada belitan lapis ganda, masing-

masing alur ada dua sisi lilitan dan masing-masing lilitan memiliki lebih dari satu putaran. Bagian lilitan yang berada diluar alur disebut winding overhang.

Faktor distribusi dalam belitan lapis ganda berhubungan dengan ggl yang dihasilkan. Ggl pada terminal menjadi kecil bila dibandingkan dengan kumparan yang dipusatkan. Faktor distribusi (K_d) yang dikalikan dengan ggl kumparan menghasilkan ggl total. Rumus :

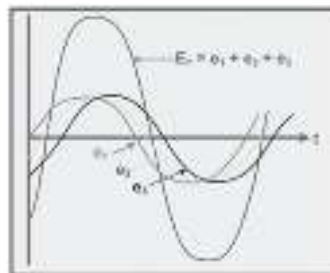
$$\psi = \frac{180 \text{ derajat listrik}}{n * m}$$

n menggambarkan alur perfasa dan m menyatakan jumlah fasa. Semua ggl ditunjukkan masing-masing oleh phasor E_1 , E_2 , E_3 , dan E_4 . Total ggl stator per *phasa* E adalah jumlah dari seluruh vektor dan faktor distribusi sebagai berikut :

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$$

$$K_d = \frac{\sin(\frac{1}{2m\psi})}{n * \sin(\frac{\psi}{2})}$$

Kelebiha dari kumparan distribusi yaitu memperbaiki bentuk gelombang tegangan yang dibangkitkan. Ilustrasi :



Gambar 3. 41 Gelombang tegangan Belitan lapis ganda

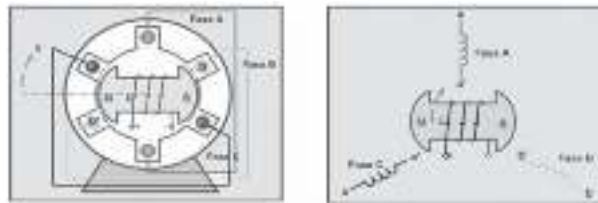
Sumber : PT PLN JASDIKLAT (1997)

3.2.2 Prinsip kerja Generator Sinkron

Generator sinkron menggunakan prinsip dasar perhitungan kecepatan rotasi terhadap frekuensi sebagai berikut :

$$f = \frac{p * n}{120} \text{ (Hertz)}$$

Untuk generator sinkron 3 fasa, terdapat 3 belitan yang masing-masing terpisah sebesar 120 derajat listrik dalam ruang sekitar keliling celah udara seperti diperlihatkan pada kumparan a – a', b – b' dan c – c'. ilustrasi :



Gambar 3. 42 Konfigurasi generator sinkron 3 fasa

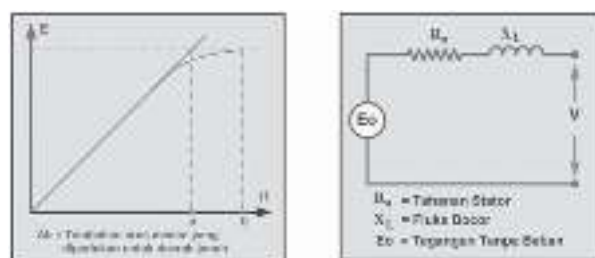
Sumber : Sumanto (1996)

Masing-masing lilitan akan menghasilkan gelombang Fluks sinus satu dengan lainnya berbeda 120 derajat listrik. Dalam keadaan seimbang besar-nya fluks sesaat yaitu : $\Phi_A = \Phi_m \cdot \sin \omega t$, $\Phi_B = \Phi_m \cdot \sin (\omega t - 120^\circ)$, $\Phi_C = \Phi_m \cdot \sin (\omega t - 240^\circ)$

Ketika generator tanpa beban, maka kumparan jangkar stator akan memperoleh induksi tegangan tanpa beban sebesar :

$$E_o = 4,44 * K_d * K_p * f * \phi_m * T \text{ (Volt)}$$

Dalam keadaan **tanpa beban**, arus jangkar tidak mengalir pada stator, sehingga tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan (I_f). Bila besarnya arus medan dinaikkan, maka tegangan output juga akan naik sampai titik saturasi (jenuh) seperti diperlihatkan sebagai berikut :



Gambar 3. 43 Grafik dan rangkaian ekuivalen tanpa beban

Sumber : Sumanto (1996)

Apabila Generator diberi **pembebanan** yang berubah-ubah maka besarnya tegangan terminal V akan berubah-ubah pula. Hal ini

disebabkan adanya kerugian tegangan pada:

- Resistansi jangkar (menyebabkan terjadinya tegangan jatuh)
- Reaktansi bocor jangkar (arus mengalir melalui penghantar jangkar dan sebagian fluks yang terjadi tidak mengimbas pada jalur yang telah ditentukan (fluks bocor))
- Reaksi jangkar (arus mengalir pada kumparan jangkar saat generator terbeban dan menimbulkan fluks jangkar (ϕ_A) yang terintegrasi dengan fluks yang dihasilkan pada kumparan rotor (ϕ_F) sehingga menghasilkan resistansi fluks sebesar :

$$\phi_R = \phi_F + \phi_A$$

interaksi kedua fluks menghasilkan reaksi jangkar yang diilustrasikan sebagai berikut :



Gambar 3. 44 Keadaan generator berdasarkan jenis pembebanan

Sumber : Sumanto (1996)

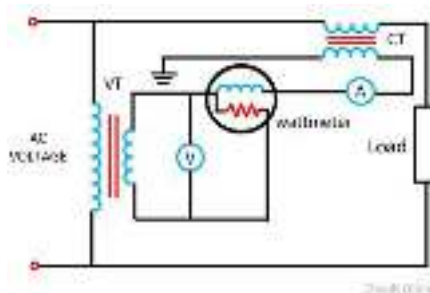
- memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat generator dibebani tahanan (resistif) sehingga arus jangkar I_a sefasa dengan ggl E_b dan ϕ_A akan tegak lurus terhadap ϕ_F
- memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat generator dibebani kapasitif, sehingga arus jangkar I_a mendahului ggl E_b sebesar θ dan ϕ_A terbelakang terhadap ϕ_F dengan sudut $(90 - \theta)$
- memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat dibebani kapasitif murni yang mengakibatkan arus jangkar I_a mendahului ggl E_b sebesar 90° dan ϕ_A akan memperkuat ϕ_F yang berpengaruh terhadap pemagnetan
- memperlihatkan kondisi reaksi jangkar saat arus diberi beban induktif murni sehingga mengakibatkan arus jangkar I_a terbelakang dari ggl E_b sebesar 90° dan ϕ_A akan memperlemah ϕ_F yang berpengaruh terhadap pemagnetan

3.2.3 *Potential Transformer*

Merupakan perangkat yang mengubah tegangan tinggi menjadi tegangan rendah. Digunakan sebagai penunjang kegiatan pengukuran pada alat ber- tegangan rendah. *Potential transformer* terbuat dari inti berkualitas baik dengan densitas fluks sehingga arus magnetisasi kecil. Terminal didesain agar dapat menerima variasi tegangan dengan beban minimum dan beda fasa tegangan input dan output minimum.

Sesuai perhitungan kumparan bahwa trafo step down maka memiliki jumlah lilitan yang lebih banyak bila dibandingkan dengan lilitan sekunder. Untuk mengurangi rekatan bocor, co-axial kumparan digunakan pada PT.

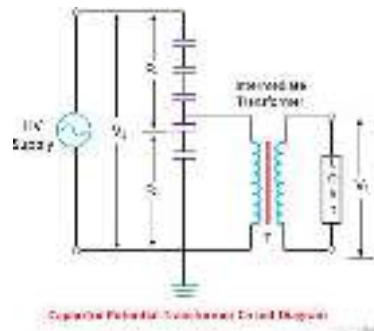
Potential transformer dihubungkan paralel pada rangkaian. Kumparan primer dihubungkan langsung pada rangkaian dengan tegangan yang akan diukur kemudian kumparan sekunder dihubungkan pada instrumen pengukuran. Ilustrasi koneksi *potential transformer* :



Gambar 3. 45 Koneksi PT pada rangkaian

Sumber : www.circuitglobe.com (2017)

Tipe PT secara utama diklasifikasikan menjadi 2 tipe yaitu kumparan dan rangkaian kapasitor. Umumnya menggunakan kapasitor karena memperkecil biaya, lebih ringkas, rasio magnetik PT lebih kecil. Rangkaian kapasitor digunakan dengan prinsip pembagi tegangan yang diilustrasikan sebagai berikut :



Gambar 3. 46 PT berbasis kapasitor

Sumber : www.circuitglobe.com (2017)

Keduanya (*potential divider* dan *intermediate transformer*) memiliki rasio dan insulasi yang dibutuhkan pada desain dan konstruksi yang ekonomis. Rumus tegangan sekunder pada terminal voltage dirumuskan sebagai berikut :

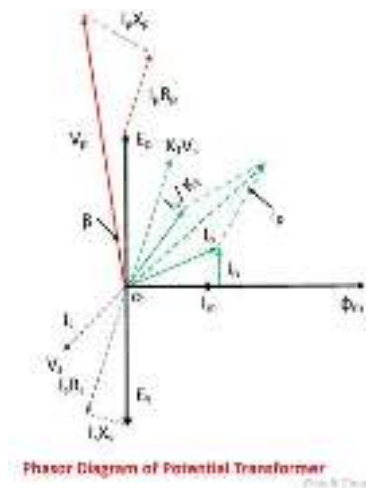
$$V2 = V1 * \frac{C1}{C1 + C2}$$

Rasio error tegangan dirumuskan sebagai berikut :

$$Ratio\ Error = \frac{KtIs - Ip}{Ip}$$

Error pada sudut fasa merupakan error antara tegangan terminal sekunder yang mana sefasa berlawanan dengan tegangan terminal primer. Semakin banyak instrumen pada hubungan *relay* maka akan memperbesar error pada *potential transformer*.

Diagram fasor pada *potential transformer* digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3. 47 Diagram fasor PT

Sumber : www.circuitglobe.com (2017)

Keterangan :

Tabel 3. 2 Keterangan diagram fasor PT

I_s	Arus sekunder	R_p	Resistansi lilitan primer
E_s	Tegangan induksi sekunder	X_p	Reaktansi lilitan primer
V_s	Tegangan terminal sekunder	K_t	Rasio kumparan
R_s	Resistansi lilitan sekunder	I_o	Arus eksitasi
X_s	Reaktansi lilitan sekunder	I_m	Komponen magnetisasi I_o
I_p	Arus primer	I_w	$Loss$ inti I_o
E_p	Tegangan induksi primer	Φ_m	Fluks utama
V_p	Tegangan terminal primer	B	Error sudut fasa

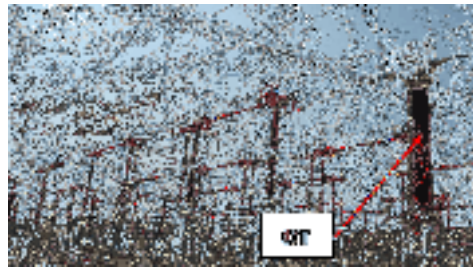
Sumber : www.circuitglobe.com (2017)

Pengaplikasian *potential transformer* sebagai tujuan metering, proteksi penyulang, proteksi generator, dan sinkronisasi antara generator dan feeder.

3.2.4 Current Transformer

Current transformer merupakan alat yang digunakan untuk mengubah nominal arus. Digunakan pada instalasi yang memberi gambaran arus pada *relay* proteksi, perangkat pengukuran dan didesain

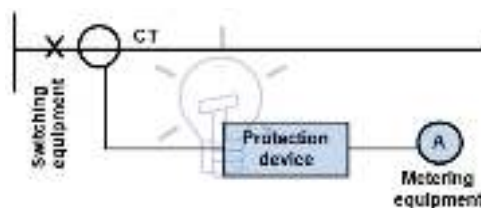
untuk menampilkan arus sekunder yang proporsional terhadap arus yang mengalir pada sisi primer. Ilustrasi *Current transformer* :



Gambar 3. 48 CT pada *switch yard*

Sumber : Manuel Bolotinha (2018)

Current transformer dihubungkan secara seri pada perangkat pengukuran dan perangkat pengukuran juga digunakan sebagai parameter proteksi perangkat. Pengukuran dibaca dengan menggunakan arus sekunder CT yang juga terhubung secara seri. Ilustrasi rangkaian :



Gambar 3. 49 Koneksi CT pada rangkaian

Sumber : Manuel Bolotinha (2018)

CT memiliki kumparan primer dan sekunder. Meskipun beberapa transformer menggunakan inti udara. Arus bolak balik primer akan menghasilkan medan magnet bolak balik pada intinya dan kemudian akan menginduksi kumparan sekunder dan timbul arus bolak balik. Rangkaian primer secara garis besar tidak terpengaruh dari penambahan CT. akurasi CT harus dalam kopling tertutup antara primer dan sekunder untuk memastikan arus sekunder proporsional terhadap arus dalam rentang arus yang lebar. Rumus arus sekunder ideal sebagai berikut :

$$I_s = \frac{I_p}{N_s}$$

CT umumnya menggunakan kumparan berinti cincin besi yang dicampur dengan silikon. Konduktor akan membawa arus melewati ring. Pada bagian primer merupakan “kumparan tunggal”. Sedangkan pada sisi sekunder terdapat kumparan yang melingkar pada sebuah cincin besi (tororoida). Untuk keakurasian maka sisi primer berada tepat ditengah cincin besi. CT memiliki rasio arus primer terhadap sekunder. Misalnya pada CT 2000:5A maka ketika arus mengalir pada sisi primer sebesar 2000A maka pada sisi sekunder akan mengalir arus sebesar 5A. rasio tersebut juga dapat digunakan untuk menentukan impedansi atau tegangan pada sisi transformer. Maka impedansi dan tegangan sekunder pada kondisi ideal yaitu sebagai berikut :

$$Z_s = NZ_p = 400Z_p \qquad V_s = NV_p = 400V_p$$

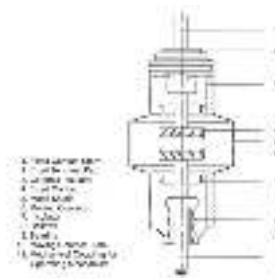
Bentuk dan ukuran CT tergantung dari pabrikan *switch gear*. Pada tegangan rendah, CT berasio satu berupa tipe ring dan dikemas dengan bahan plastik. sedangkan split core CT memiliki 2 bagian inti atau inti dengan bagian terpisah sehingga trafo dapat ditempatkan disekitar konduktor tanpa harus memutus sambungan terlebih dahulu. Digunakan untuk pengukuran arus rendah, portabilitas tinggi, dan menampilkan operasi baterai.

Tingkat keakurasian CT dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu : *Burden, Burden class, Rating factor, Load, External electromagnet field, Temperature, Physical configuration, tap selection, phase change, capatitive coupling, resistance primary and secondary, core magnetization current*. Kelas akurasi sesuai IEC 61869-1 yaitu kelas 0.1; 0,2s; 0,2; 0,5; 0,5s; 1; dan 3.

3.2.5 *Vacuum Circuit Breaker* pada Generator

Secara umum, *Vacuum Circuit Breaker* (VCB) merupakan komponen Pemutus Tenaga. Pada proses pemutusan tenaga ketika terbeban (*loaded*) maka akan timbul busur api (*arc*) akibat lompatan elektron. Pada VCB, *arc* terjadi pada vakum. Prinsipnya, *vacuum interrupter* terdapat pada pusat tabung baja hampa udara yang disusun

simetris dengan isolator keramik. Ilustrasi *vacuum interrupter* yaitu sebagai berikut :

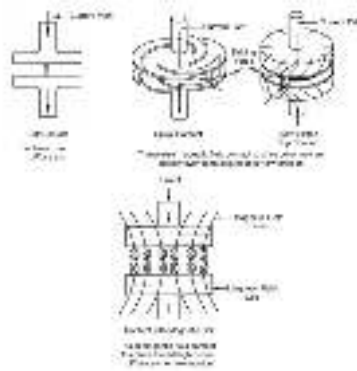


Gambar 3. 50 Bagian-bagian *interrupter* VCB

Sumber : Bharat Heavy Electricals Limited (2007)

Konstruksi modern dari *interrupter* yaitu memiliki pelindung metal yang menyelubungi kontak *arc*-ing. Diameter kontak dan batangnya sesuai dengan ukuran tabung *arc* dan isolator. Kontak bergerak dibuat dapat bergerak dengan *metallic bellows*. Tabung *arc* dilas pada kedudukan jalur pipa sehingga pada akhirnya *interrupter* menjadi kedap udara. Tekanan vakum pada umumnya sekitar 10^{-6} bar (0,9 mikroAtmosfer).

Pemilihan material kontak akan sangat berpengaruh pada performa VCB. Material yang sekarang umum digunakan yaitu CuBi, CuCr, atau CuAg. CuCr menjadi solusi paling ideal pada nilai nominal *interrupter* 8-63kA. Dengan material tersebut maka tingkat arus akan terpankas menjadi 2 atau 3 Ampere. Perkembangan teknologi dan waktu semakin memperkecil ukuran diameter tabung dalam rating tegangan dan arus yang sama. Yang dikembangkan yaitu teknologi vakum, pemrosesan vakum, material kontak, dan evolusi desain *vacuum interrupter*. Bentuk geometri kontak pada awalnya yaitu *plain butt*, namun seiring perkembangan jaman muncul geometri baru seperti *spiral*, *cup*, *axial magnetic field*. Ilustrasi :



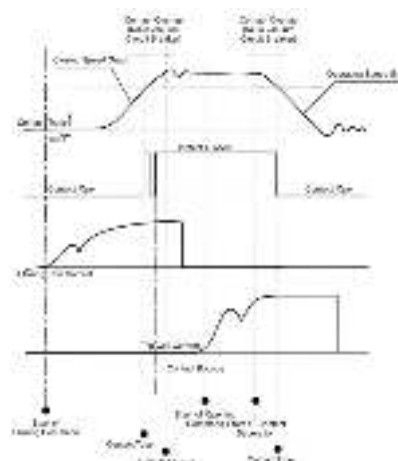
Gambar 3. 51 Jenis geometri kontak VCB

Sumber : Bharat Heavy Electricals Limited (2007)

Transverse magnetic field (TMF) dimana medan magnet dihasilkan oleh arus rangkaian yang mengalir pada lengan spiral atau kontak *skew slit*. Hasilnya ditampilkan dalam 2 efek yaitu kontak permukaan memiliki erosi yang sama (kondisi lebih halus setelah *arc-ing* tinggi), dan kolom tidak dapat berlanjut ketika arus jatuh (*chopping*). Kelebihan VCB dila dibandingkan dengan yang lain yaitu :

- Tahan lama
- Ramah lingkungan
- Memiliki performa yang sangat baik

Kurva karakteristik operasi dari *Circuit Breaker* dapat ditampilkan dengan ilustrasi sebagai berikut :



Gambar 3. 52 Kurva karakteristik *Circuit Breaker*

Sumber : Bharat Heavy Electricals Limited (2007)

Hubungan antara VCB, Generator, dan Wanlida yaitu ketika generator berjalan normal, maka wanlida tidak mendeteksi adanya gangguan berdasarkan beberapa parameter yang digunakan. Namun ketika terjadi gangguan, maka wanlida memperoleh informasi gangguan berdasarkan logika program yang diproses oleh prosesor. Prosesor akan mengirimkan perintah kepada *relay* proteksi untuk mengamankan generator dengan cara melakukan *tripping* pada VCB. Pada VCB terdapat *relay* yang berfungsi untuk mengatur kerja solenoid agar secara otomatis melakukan *tripping* sehingga sistem tetap aman walaupun terjadi gangguan.

3.3 Relay Proteksi

3.3.1 Pengertian umum

Merupakan pernagkat kerja proteksi yang bertujuan untuk melindungi sistem dengan cara :

- Memberikan sinyal alarm atau melepas pemutus tenaga (*Circuit Breaker*) dengan tujuan mengisolir gangguan/kondisi yang tidak normal
- Melepas/mentriapkan peralatan yang berjalan tidak normal untuk mencegah timbulnya kerusakan.
- Melepas/mentriapkan peralatan yang terganggu secara cepat dengan tujuan mengurangi kerusakan yang lebih berat.
- Melokalisir kemungkinan dampak akibat gangguan dengan memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem. Peralatan yang terganggu dapat menyebabkan gangguan pada peralatan yang lain yang berada pada sistemnya
- Melepas peralatan/bagian yang terganggu secara cepat dengan maksud menjaga stabilitas sistem, kontinuitas pelayanan dan unjuk kerja sistem

Klasifikasi *relay* berdasarkan asas kerja dan penggunaannya yaitu sebagai berikut :

1. *Relay* tarikan magnet listrik
Tipe konstruksi *relay* yaitu *plunger*, *balanced beam*, *hinged armature*, *polarized moving iron*, dan *permanent magnet moving coil*. Digunakan sebagai *relay* seketika (*instantaneous*) tanpa waktu tunda
2. *Relay* induksi magnet listrik
Tipe konstruksi induksi piringan dan cup. Digunakan sebagai *relay* dengan waktu tunda (*variable time delay relay*)
3. *Relay* suhu
tipe konstruksi *strip bimetal* dan *thermocouple*. Digunakan sebagai proteksi motor, generator, dan trafo dari suhu berlebih
4. *Relay* yang digerakkan gas
Tipe konstruksi bucholz dan *relay* tekanan gas mendadak. Digunakan sebagai proteksi trafo
5. *Relay* statik
Tipe konstruksi berupa rangkaian elektronik kompleks. Digunakan untuk melindungi sistem elektronik kompleks pada generator dan motor.

3.3.2 Simbol dan kode *relay* proteksi (ANSI)

Pengamanan perangkat dari bermacam gangguan dengan menggunakan *relay* proteksi harus sesuai dengan kode standar ANSI (*American National Standard Institute*) dengan kode IEEE C37.2-2008.

Tabel 3. 3 Tabel Nama, Simbol, dan Kode Relay

No	NAMA RELAI	SIMBOL	KODE
1	Relai jarak	Z <	21
2	Relai periksa sinkron	Uf =	25
3	Relai <i>under voltage</i>	U <	27
4	Relai <i>reverse power</i>	P	32
5	Relai under current	I <	37

6	Relai <i>loss excitation</i>	B = O	40
7	Relai <i>negative sequence</i> (arus)	I_i >	46
8	Relai thermal		49
9	Relai instant <i>over current</i>	I >	50
10	Relai <i>delay over current</i>	I >	51
11	Relai <i>over excitation</i>	V/f	59/81
12	Relai <i>over voltage</i>	U >	59
13	Relai voltage balance	U_d	60
14	Relai <i>inverse delay auxiliary</i>		62
15	Relai gas <i>pressure</i>	P	63
16	Relai ground fault		64
17	Relai frequency (under and over)	f	81
18	<i>Lock out relay</i>		86
19	Relai differential	I	87
20	Relai Bucholz		95

Sumber : Irwan Rinaldi Saragi (2017)

3.3.3 Relay proteksi dan fungsinya

Setelah mengetahui simbol dan kode ANSI *relay* proteksi, maka fungsi masing-masing *relay* proteksi yang ada di generator yaitu sebagai berikut:

- **Relai jarak** digunakan sebagai pendeteksi gangguan 2 atau 3 fasa dimuka generator sampai batas jangkauan tegangan
- **Relai periksa sinkron** untuk mendeteksi syarat sinkronisasi / paralel
- **Relai under voltage** mendeteksi turunnya tegangan sampai dibawah nilai yang diatur
- **Relai reverse power** mendeteksi daya balik sehingga mencegah generator berperan sebagai motor
- **Relai loss excitation** mendeteksi kehilangan arus penguat pada rotor

- **Relai *negative sequence* (arus)** mendeteksi arus urutan negatif yang disebabkan oleh beban tidak seimbang dari batas-batas yang diijinkan
- **Relai *instant over current*** mendeteksi besaran arus yang melebihi batas yang ditentukan dalam waktu seketika
- **Relai *delay over current*** mendeteksi besaran arus yang melebihi batas dalam waktu yang ditentukan
- **Relai *over excitation*** mendeteksi penguat lebih pada generator
- **Relai *over voltage*** mendeteksi gangguan stator hubung tanah (titik netral), dan mendeteksi tegangan lebih (titik terminal)
- **Relai *voltage balance*** mendeteksi hilangnya tegangan dari trafo tegangan ke pengatur tegangan otomatis (AVR) dan ke relay
- **Relai *time delay auxiliary*** sebagai pengatur waktu dimana dapat diatur agar lebih cepat/lambat
- **Relai *ground fault*** mendeteksi gangguan hubung tanah pada stator
- **Relai *frequency* (under and over)** mendeteksi besaran frekuensi rendah/lebih di luar harga yang ditentukan
- ***Lock out relay*** menerima signal *trip* dari relai-relai proteksi dan kemudian meneruskan signal *trip* ke PMT, alarm, dan peralatan lain serta penguncinya
- **Relai *differential*** mendeteksi gangguan hubung singkat pada daerah yang diamankan

3.3.4 Gangguan generator

- **Gangguan listrik**

Merupakan gangguan yang timbul dan terjadi pada bagian-bagian listrik generator. Diantaranya :

a. Hubung singkat 3 fasa

Hubung singkat yang terjadi pada ketiga fasanya sehingga arus akan meningkat. Gangguan ini menimbulkan loncaan bunga api (*arc*) dengan suhu tinggi yang berpotensi melelehkan

belitan dan berujung pada kebakaran bila tidak segera diputuskan arusnya.

b. Hubung singkat 2 fasa

Hubung singkat yang terjadi pada 2 fasa yang akan lebih berbahaya dibandingkan dengan hubung singkat 3 fasa karena terjadi vibrasi pada kumparan stator. Kerusakan lain yang timbul adalah pada poros/*shaft* dan kopling turbin akibat adanya momen torsi yang besar.

c. Hubung singkat 1 fasa ke tanah / *stator ground fault*

Hubung singkat yang terjadi karena kerusakan laminasi besi sehingga arus akan mengalir menuju tanah.

d. Rotor hubung tanah / *field ground*

Pada rotor generator yang belitannya tidak dihubungkan oleh tanah (*ungrounded system*). Bila salah satu sisi terhubung ke tanah belum menjadikan masalah. Tetapi apabila sisi lainnya terhubung ke tanah, sementara sisi sebelumnya tidak terselesaikan maka akan terjadi kehilangan arus pada sebagian belitan yang terhubung singkat melalui tanah. Akibatnya terjadi ketidakseimbangan fluksi yang menimbulkan vibrasi yang berlebihan serta kerusakan fatal pada rotor.

e. Kehilangan medan penguat / *loss of excitation*

Hilangnya medan penguat akan membuat putaran mesin naik, dan berfungsi sebagai generator induksi. Kondisi ini akan berakibat pada rotor dan pasak/*slot wedges*, akibat arus induksi yang bersirkulasi pada rotor. Kehilangan medan penguat dapat dimungkinkan oleh hubung singkat pada belitan penguat, kerusakan kontak sikat arang penguat, dan kerusakan sistem AVR.

f. Tegangan lebih / *over voltage*

Tegangan yang berlebihan melampaui batas maksimum yang diijinkan dapat berakibat tembusnya (*breakdown*) design insulasi yang akhirnya akan menimbulkan hubungan singkat

antara belitan. Tegangan lebih dapat disebabkan karena putaran mesin terlalu tinggi/overspeed atau kerusakan pada pengatur tegangan otomatis/AVR.

- **Gangguan mekanik**

- a. **Generator sebagai motor (*reverse power*)**

Gangguan yang disebabkan karena turunnya daya masukan dari penggerak utama sehingga arus dari grid mengalir menuju generator dan generator berubah menjadi motor. Menyebabkan pemanasan pada sudut-sudut turbin, kavitasi (turbin air), ketidakstabilan turbin gas

- b. **Pemanasan lebih setempat**

Gangguan yang berupa suhu yang melonjak pada sebagian stator yang disebabkan karena kerusakan laminasi dan kendornya bagian generator seperti pasak stator (*stator wedges*).

- c. **Kesalahan paralel**

Kesalahan dalam memparalel generator karena syarat-syarat sinkron tidak terpenuhi dapat mengakibatkan kerusakan pada bagian poros dan kopling generator, dan penggerak utamanya karena terjadinya momen puntir. Kemungkinan kerusakan lain yang timbul, kerusakan PMT dan kerusakan pada kumparan stator akibat adanya kenaikan tegangan sesaat.

- d. **Gangguan pendingin stator**

Gangguan pada media sistem pendingin *stator* (pendingin dengan media udara, hidrogen, atau air) akan menyebabkan kenaikan suhu belitan *stator*. Apabila suhu belitan melampaui batas ratingnya akan berakibat kerusakan belitan.

- **Gangguan sistem**

- a. **Frekuensi operasi tidak normal**

Perubahan frekuensi keluar dari batas-batas normal di sistem dapat berakibat ketidakstabilan pada turbin generator. Perubahan frekuensi sistem dapat dimungkinkan oleh *trip*nya unit-unit pembangkit atau penghantar (transmisi).

b. Lepas sinkron / *loss of synchron*

Adanya gangguan di sistem akibat perubahan beban mendadak, *switching*, hubung singkat dan peristiwa yang cukup besar akan menimbulkan ketidakstabilan sistem. Apabila peristiwa ini cukup lama dan melampaui batas-batas ketidakstabilan generator, generator akan kehilangan kondisi paralel. Keadaan ini akan menghasilkan arus puncak yang tinggi dan penyimpangan frekuensi operasi yang keluar dari seharusnya sehingga akan menyebabkan terjadinya stress pada belitan generator, gaya puntir yang berfluktuasi serta resonansi yang akan merusak turbin generator. Pada kondisi ini generator harus dilepas dari sistem

c. Arus beban kumparan tidak seimbang / *unbalance armature*

Pembebanan yang tidak seimbang pada sistem/adanya gangguan 1 *phasa* dan 2 *phasa* pada sistem yang menyebabkan beban generator tidak seimbang yang akan menimbulkan arus urutan negatif. Arus urutan negatif yang melebihi batas, akan mengiduksikan arus medan yang berfrekuensi rangkap yang arahnya berlawanan dengan putaran rotor akan menyebabkan adanya pemanasan lebih dan kerusakan pada bagian-bagian konstruksi rotor

3.3.5 Syarat *relay*

Untuk memastikan sistem proteksi berjalan dengan baik maka dalam proses perancangan perlu memastikan relay telah memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- 1) Sensitif : *relay* yang digunakan pada daerah pengamanan harus sensitif terhadap gangguan dengan rangsangan semimum mungkin
- 2) Selektif : dalam memilih *relay* harus cermat karena *relay* sebagai pelindung sistem saat kondisi tidak normal.

- 3) Cepat : untuk memperkecil akibat gangguan dan memperkecil peluang meluasnya akibat yang ditimbulkan gangguan
- 4) Handal : sistem proteksi harus dapat diandalkan dalam kurun waktu yang lama. Namun perlu ada perawatan dan pengujian *relay* agar keandalannya tetap dipertahankan
- 5) Ekonomis : sistem proteksi diharapkan dapat dibangun dengan biaya seminimal mungkin tanpa mengurangi kualitas dan performanya
- 6) Sederhana : perangkat dibuat dalam bentuk yang sederhana dan fleksibel

3.4 Wanlida MGPR 620Hb

3.4.1 Pengertian umum

Wanlida MGPR 620Hb merupakan produk pabrikan Zhuhai Wanlida Elecric Co., Ltd. Yang berasal dari RRC (Republik Rakyat China). MGPR 620Hb merupakan komputer mikro yang digunakan untuk proteksi backup pada generator. Selain untuk proteksi, juga digunakan sebagai pengukuran dan perangkat kontrol. MGPR 620Hb mampu untuk mengamankan generator dari *over current* 3 fasa. Ilustrasi Wanlida MGPR 620Hb yaitu sebagai berikut :



Gambar 3. 53 Wanlida MGPR 620Hb

Sumber : Penulis (2020)

Pengaturan nilai dan *time* pada berbagai variabel dilakukan secara manual dengan menggunakan tombol fisik dan nilai akan ditampilkan

pada layar yang tersedia. Selain layar terdapat 6 lampu sinyal indikator yang terdiri dari *run*, *communication*, *operation*, *alarm*, *non-electric*, dan *fault*. Parameter listrik yang dapat ditampilkan yaitu : arus 3 fasa (IA, IB, dan IC), Tegangan antar fasa (Vab, Vbc, dan Vca), Daya aktif (P), Daya semu (Q), dan Faktor daya ($\cos \phi$).

Menu yang tersedia pada wandlida ada 9 yaitu *state display*, *signal revert*, *report display*, *output test*, *system parameter*, *setting value*, *clock setting*, *password*, dan *version info*. Penjelasanannya yaitu :

- *State display* merupakan bagian yang menampilkan data proteksi, data pengukuran, input biner, energi pulsa, sudut fasa, data harmonik, data input DC, dan waktu *trip*. Menampilkan nilai pengaturan arus, tegangan, frekuensi, daya, dan impedansi.
- *Signal revert* untuk mengembalikan sinyal pada aturan pabrik.
- *Report display* merupakan bagian yang akan melaporkan *trip*, biner, kejadian, dan membersihkan laporan. Data yang ditampilkan berupa detail jenis gangguan dan waktu terjadinya gangguan,
- *Output test* untuk mengatur apakah proteksi diaktifkan atau tidak.
- *System parameter* untuk untuk mengatur *setting* komunikasi (RS485, IP address, subnet mask, dll), *setting* parameter (Nominal arus, PT, CT, dan Kanal harmonik), *setting* D/A (memiliki 2 luaran 4~20mA), *setting* pulsa energi, dan menghapus jumlah *breaker* bekerja.
- *Setting value* untuk memeriksa nilai pengaturan dan waktu tunda yang diterapkan pada alat tersebut
- *Clock setting* untuk mengatur waktu sehingga dapat terkoneksi pada sistem SCADA yang akan memberikan informasi waktu ketika gangguan terjadi
- *Password* untuk mengamankan perangkat dari perubahan nilai pengaturan sehingga hanya dapat diakses oleh pihak yang berkepentingan. Bagian ini untuk mengubah password yang telah diatur
- *Version info* untuk mengetahui model perangkat, versi perangkat,

dan waktu saat operator memeriksa alat tersebut

3.4.2 Spesifikasi umum Wanlida MGPR 620Hb

Spesifikasi Wanlida MGPR 620Hb (Backup Generator Protection) sebagai berikut :

Tabel 3. 4 Spesifikasi umum Wanlida MGPR 620Hb

Nominal operasi	Konversi tegangan	DC/AC 86~265V
	Tegangan operasi	DC 220V or DC 110V
	Tegangan AC (PT)	$100/\sqrt{3}$ V or 100V
	Arus AC (CT)	5A or 1A
	Frekuensi (Hz)	50Hz
Konsumsi daya	Rangkaian DC	<10W (normal) ; <15W (proteksi)
	Tegangan AC	<0,5VA/phase
	Arus AC	<1VA/phase (In 5A) ; <0,5VA/phase (In 1A)
Kemampuan <i>overload</i>	Tegangan AC	1.2 kali tegangan operasi kontinyu (normal)
	Arus pengukuran	1.2 kali arus operasi kontinyu (normal)
	Arus proteksi	2 kali arus operasi normal, 10 kali (10s), dan 40 kali (1s)
Rentang pengaturan nilai min-max	Tegangan	1V ~ 120 V
	Arus	0.1 I ~ 20 I (normal)
	Frekuensi	45Hz ~ 55Hz
	Waktu tunda	0.00s ~ 100s
Error pengaturan nilai	Arus	$\leq \pm 3\%$ Nilai pengaturan
	Frekuensi	$\leq \pm 0.02$ Hz
	Sudut fasa	$\leq \pm 2^\circ$

Akurasi pengukuran	Arus AC	Kelas 0.2
	Tegangan AC	Kelas 0.2
	4~20mA input dan output DC	$\leq \pm 1\%$
	Daya	Kelas 0.5
	Integral energi	Kelas 1 (aktif) dan kelas 2 (reaktif)
	Frekuensi	$\leq \pm 0.02$ Hz
	Resolusi SOE	≤ 2 ms
	Lebar pulsa dari jumlah pulsa	≥ 10 ms

Sumber : Zhuhai Wanlida Electric (2011)

3.4.3 Jenis proteksi terhadap gangguan

Wanlida MGPR 620Hb digunakan untuk memproteksi generator dari beberapa jenis gangguan yang mungkin terjadi. Terdapat 15 jenis gangguan yang dapat diproteksi oleh Wanlida MGPR 620Hb dan definisi singkatnya, diantaranya :

a. *Overcurrent*

Merupakan proteksi generator dari aliran arus berlebih. Terdapat 4 jenis *overcurrent* diantaranya :

- **Two-section composite voltage block (general)**

Tegangan gabungan merupakan kombinasi dari tegangan *negative sequence* U_2 (*overvoltage*) dan tegangan antar fasa low voltage $U_{<}$ (nilai minimum tegangan 3 fasa). Bila keduanya memenuhi persyaratan maka proteksi akan berjalan agar tidak terjadi *overcurrent*.

- **Negative sequence**

OC *Negative sequence* digunakan untuk merefleksikan *overload* pada bagian permukaan rotor

- **Negative sequence inverse time**

OC *Inverse time* ditentukan oleh permukaan rotor generator

yang menahan *negative* OC. Hubungan dari OC *negative sequence* singkat generator dengan arus tahanan dapat dirumuskan untuk mencari durasi pengamanan sebagai berikut:

$$t = \frac{\tau}{I^2 - I I t^2}$$

Keterangan : τ (konstanta waktu permukaan rotor menahan arus NS), I (arus normal negatif generator), $I I t^2$ (arus normal negatif generator dalam jangka waktu yang lama).

- ***Zero sequence***

Terdapat CT yang digunakan khusus untuk mendeteksi arus urutan nol (ZS CT). Apabila ZS CT mendeteksi adanya arus lebih dari waktu yang ditentukan maka akan mengaktifkan proteksi.

b. Undervoltage

Merupakan proteksi generator ketika produksi tegangan yang lebih rendah dari pengaturan.

c. Overvoltage

Merupakan proteksi generator ketika produksi tegangan yang lebih tinggi dari pengaturan.

- **General**

- **Logitudinal zero sequence**

Untuk generator yang dilengkapi PT tegangan urutan nol longitudinal maka dapat diblok dengan parameter lain dari komponen *Negative sequence* directional dan PT *failure*. *Negative sequence* directional memiliki maksimum sudut negatif -90 derajat.

d. Overload

Merupakan proteksi generator dari permintaan daya berlebih dari beban kepada generator yang menyebabkan generator menjadi sangat terbeban penuh. Ditentukan dari nilai maksimum arus fasa.

e. Underfrekuensi

Merupakan proteksi generator ketika terjadi penurunan frekuensi

yang lebih rendah dari pengaturan. Penurunan frekuensi dideteksi dengan perubahan besar tegangan yang semakin rendah. Hal tersebut terjadi karena pembebanan yang sangat tinggi pada generator

f. Overfrekuensi

Merupakan lawan dari *underfrekuensi* dimana terjadi kelonjakan frekuensi yang lebih tinggi dari pengaturan. Tegangan akan naik dan putaran generator akan semakin tinggi akibat kehilangan pembebanan. Contohnya pada saat *island mode*.

g. Loss of excitation

Merupakan peristiwa dimana generator kehilangan daya eksitasi. Hal tersebut terjadi karena peristiwa arus eksitasi yang bocor menuju bodi generator.

h. Reverse power

Merupakan peristiwa pembalikan daya menuju generator sehingga generator berubah menjadi motor. Ketika generator sudah mencapai sinkronisasi dengan PLN namun tegangan generator lebih rendah dari PLN menyebabkan pembalikan arah aliran arus dari grid menuju generator. Hal tersebut dapat merusak komponen turbin, eksiter, dll.

i. PT failure

PT yang digunakan berdasarkan wiring yang digunakan. Jenis wiring ada 2 yaitu :

- Metode wiring V-V : maksimum arus fasa lebih rendah dari maksimum arus beban. Maksimum tegangan antar fasa dibawah 30V (1890V) dan salah satu fasa lebih tinggi dari 0,1In (40A), dan tegangan *negative sequence* lebih tinggi dari 8V (504V). Setelah salah satu kondisi terpenuhi dan waktu tunda terpenuhi maka terjadi PT failure
- Metode wiring Y-Y : maksimum arus fasa lebih rendah dari maksimum arus beban. Ketika $|V_a + V_b + V_c| > 7V$, perbedaan absolut antara tegangan line tertinggi dan terendah lebih dari

18V, maka dapat dianggap salah satu atau 2 PT mati. Ketika $|V_a+V_b+V_c|>7V$, tegangan line erendah menjadi lebih rendah dari 18V maka dapat dipastikan PT kedua fasanya mati. Dan ketika maksimum $\{V_{ab},V_{bc},V_{ca}\}<7$ dna salah sau arus fasa lebih tinggi dari $0,1I_n$, maka dianggap PT pada ketiga fasanya mati

j. Voltage under than 5%

Pendeteksian dilakukan melalui tegangan antar fasa maksimum. Apabila fasa tertingginya lebih rendah dari pengaturan ketika arus menjadi lebih rendah dari $1,2I_n$ maka proteksi akan bekerja.

k. Voltage over than 90%

Pendeteksian dilakukan melalui tegangan antar fasa maksimum. Bila tegangan melebihi dari pengaturan dalam kurun waktu tunda 0,5 detik maka proteksi akan bekerja.

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Generator AC 3 fasa

Generator yang digunakan merupakan generator 3 fasa yang dieksitasi dengan sumber listrik DC. PLTU umumnya menggunakan generator putaran tinggi karena tekanan pada uap air sangat tinggi, sehingga hanya memerlukan pole yang kecil agar frekuensi yang dihasilkan sesuai standar frekuensi internasional (50/60Hz). Pada PLTU PT. Bakti Nugraha Yuda *Energy* (BNYE) ini menggunakan nilai frekuensi yang sudah ditetapkan oleh PT. PLN yaitu sekitar 50 Hertz. Artinya dalam satu detik terjadi osilasi gelombang listrik (tegangan maupun arus) sebanyak 50 kali.

Di PLTU BNYE ini menggunakan 2 buah generator sinkron dimana masing-masing generator memiliki spesifikasi sebagai berikut :



Gambar 4. 1 *Nameplate* spesifikasi Turbo Generator

Sumber : Penulis (2020)

Tegangan kerja pada generator ini yaitu 6,3kV pada tegangan antar fasanya atau sekitar 3,63kV pada tegangan fasa-netralnya. Generator tersebut mampu menghasilkan daya aktif sekitar 12000kW (12MW) dengan faktor daya sekitar 0,8 lagging. Daya semu pada generator tersebut sekitar 15000kVA (15MVA). Generator tersebut membutuhkan arus eksitasi sebesar 224A agar menghasilkan medan magnet pada bagian rotor generator. Hubungan generator menggunakan koneksi Y (bintang) karena sebuah generator haruslah

diamankan dengan menggunakan NGR (Neutral Grounding Resistance) pada titik penetralannya.

Daya reaktif generator dapat dihitung dengan menggunakan prinsip segitiga daya sebagai berikut :

$$\theta = \arccos 0,8 = 36,869^\circ$$

$$Q = S * \sin \theta = 15MVA * \sin 36,869 = 9000kVar$$

Bila tanpa melihat *nameplate*, apabila diketahui nilai tegangan, arus, dan faktor daya generator maka daya aktif dan reaktif dapat dihitung dengan menggunakan prinsip segitiga daya juga sebagai berikut :

$$P = \sqrt{3} * V_{ll} * I * \cos \theta = \sqrt{3} * 6300 * 1375 * 0,8 = 12000.31kW$$

$$S = \frac{P}{\cos \theta} = \frac{12000.31kW}{0,8} = 15000.38kVA$$

Nilai tersebut sesuai dengan apa yang telah tertera pada *nameplate* generator. Generator memerlukan eksitasi dari eksternal berupa *exciter* yang juga berperan sebagai AVR (Automatic Voltage Regulator). Ilustrasi *exciter* :



Gambar 4. 2 Mesin penguatan (*Exciter*)

Sumber : Penulis (2020)

Exciter tersebut memperoleh daya dari sumber AC 3 fasa 6,3kV dan kemudian disearahkan dengan menggunakan *dioda* penyearah. Nilai daya eksitasi bervariasi tergantung dari pembebanan dan secara otomatis dapat diatur pada bagian panel *exciter* yang terdapat pada ruang kontrol utama. Selain itu, pengaturan daya eksitasi juga digunakan untuk mempengaruhi faktor daya dimana ketika tegangan naik maka faktor daya semakin naik



Gambar 4. 3 ABB Unitrol (AVR)

Sumber : Penulis (2020)

ABB Unitrol merupakan perangkat AVR yang mengatur tegangan dan arus eksitasi pada *exciter*. Nilai tegangan yang ditampilkan yaitu sekitar 6,5kVDC (sekitar 104,1% dari tegangan rel input AC 6,3kVAC). Arus yang dikeluarkan sebesar 1250 Ampere. Nilai arus eksitasi bervariasi, tergantung dari besar pembebanan yang terjadi pada generator sehingga tegangan menjadi konstan. Alat tersebut digunakan untuk melakukan kontak dengan *relay-relay*, dan komponen pengamanan generator lainnya. Didalam box panel eksitasi juga terdapat trafo untuk sumber daya panel eksitasi dengan sumber masukan generator sendiri dan kemudian distep down menjadi 220V dengan PT, selanjutnya akan disearahkan menjadi listrik DC untuk penyesuaian tegangan antara eksiter dengan tegangan generator. Didalam sistem eksitasi tersebut juga dapat disuplai dengan listrik DC langsung dengan baterai. Hal tersebut dilakukan untuk memastikan operasi tetap dapat berjalan walau dalam keadaan blackout. Trafo AC :



Gambar 4. 4 Trafo AC sumber Eksitasi (AVR)

Sumber : Penulis (2020)

Mekanisme penyearahan dilakukan dengan menggunakan *dioda* penyearah dimana tegangan yang telah diturunkan baru dilewatkan pada *dioda* penyearah dan hasil pembacaan tegangan akan dikonversi dengan prinsip perhitungan perbandingan balik. Pada layar kontroler akan dikonversi sesuai dengan perbandingan tegangan input dan output *dioda* penyearah terhadap besar perbandingan trafo step down yang ada. Ilustrasi penyearahan dan kontak-kontak sebagai berikut :



Gambar 4. 5 Kontak dan Penyearahan Eksitasi (AVR)

Sumber : Penulis (2020)

Penyearahan dapat diatur nilai tegangan dan arus yang dibutuhkan melalui ABB Unitrol melalui serial port sehingga memerlukan teknisi khusus dari ABB yang memiliki perangkat lunak untuk memprogram kontroler tersebut berdasarkan spesifikasi generator dan *exciter* yang digunakan.

Untuk pengamanan sistem eksitasi maka diperlukan *relay* yang saling terhubung dengan sistem pengamanan generator (Wanlida MGPR 620Hb). Ketika terjadi gangguan yang berhubungan dengan sistem eksitasi. Ketika *exciter* mengalami masalah, maka Unitrol akan mengirimkan informasi menuju pengaman generator (Wanlida) untuk mematikan kerja generator dengan mengirimkan sinyal *trip* pada ETS (*Emergency Trip System*). Dan sebaliknya, ketika telah diputus, maka wanlida akan memerintahkan Unitrol untuk mematikan daya penguatan (eksitasi). Ilustrasi rangkaian *relay* pada sistem eksitasi sebagai berikut :



Gambar 4. 6 *Relay* Proteksi Eksitasi

Sumber : Penulis (2020)

Generator sinkron sangat memerlukan panel yang digunakan untuk sinkronisasi dengan jaringan PLN. Sinkronisasi dilakukan dengan maksud agar daya yang dihasilkan dapat disalurkan pada grid PLN untuk didistribusikan kepada beban-beban terpasang.



Gambar 4. 7 SCADA *monitoring* parameter pada pembangkitan dan beban

Sumber : Penulis (2020)

Beban terbagi menjadi 2 jenis yaitu beban rumah tangga dan beban yang terhubung dengan jalur transmisi dan distribusi PLN pada Gardu Induk. Beban rumah tangga terbagi menjadi 6 penyulang (feeder) dan daerah pembebanannya, yaitu:

- Ukulele : sebagian Baturaja Barat, Semidang Aji, dan Ulu Ogan
- Mandolin : Muara Dua sampai simpang Muara Dua
- Harpa : Batu Marta (terdapat Gardu Hubung)
- Sasando : Kecamatan Peninjauan sampai perbatasan OKU-OKI (Ogan Komering Ulu-Iilir)
- Gambus : Lubuk Batang sampai Gunung Meraksa

- Gitar : Baturaja Timur (Pusat kota Baturaja), Batu Putih, Sebagian Baturaja Barat

Setiap beban memiliki rating *Circuit Breaker* masing-masing tergantung kapasitas daya yang ditarik oleh beban.

Beban PLN disalurkan melalui 2 jalur Express Feeder. Konfigurasi 2 buah jalur ini digunakan sebagai backup apabila ada salah satu jaringan putus maka arus dapat tetap tersalurkan menuju Gardu Induk dengan baik tanpa mengalami kondisi Island Mode (arus yang dihasilkan tidak tersalurkan menuju beban karena generator kehilangan sinkronisasi dengan jalur PLN (Express Feeder)). Express Feeder diberi nilai arus maksimum 360A. hal tersebut berdasarkan kemampuan hantar arus kabel yang digunakan. *Monitoring* pembebanan menggunakan komputer yang telah terhubung dengan sistem SCADA untuk *monitoring*, logging (mencatat hasil *monitoring*), dan mendeteksi ketika terjadi gangguan.

Generator sinkron harus memiliki sistem sinkronisasi. Sinkronisasi digunakan untuk menyalurkan daya yang dihasilkan oleh generator menuju grid PLN dan selanjutnya digunakan oleh beban. Proses sinkronisasi dilakukan dengan proses urutan sebagai berikut : Frekuensi (3000 rpm \rightarrow 50Hz) \rightarrow Tegangan (pengaturan Tap trafo agar sesuai tegangan operasi PLN (20kV)) \rightarrow Beda fasa (secara otomatis akan mengikuti ketika frekuensi dan tegangan sesuai). Alat yang digunakan untuk memeriksa proses sinkronisasi generator sebagai berikut :



Gambar 4. 8 Sistem sikronisasi manual

Sumber : Penulis (2020)

Alat tersebut adalah *Synchronoscope*. Digunakan untuk mendeteksi apakah

listrik yang dihasilkan generator sudah sinkron dengan listrik PLN atau belum. Ada 2 metode sinkronisasi yaitu secara manual dan otomatis. Metode manual dilakukan dengan cara frekuensi dan tegangan harus dipastikan menunjuk tepat pada segitiga tengah (sinkron) dengan memutar knop turbin 1 dan 2 yang akan mengatur lebar bukaan katup untuk masuknya volume udara pada masing-masing turbin. Kemudian pada bagian tengah terdapat logo S yang menunjukkan sinkron atau belumnya listrik generator dengan PLN. Apabila generator mendahului PLN (lead) maka panah akan berputar searah jarum jam (CW) dan sebaliknya, apabila PLN mendahului generator (lag) maka panah akan berputar berlawanan jarum jam (CCW). Pada gambar tersebut tidak menunjuk segitiga tengah karena masih dalam proses sinkronisasi setelah terjadinya gangguan internal. Setelah sinkron maka harus ditekan secara manual tombol pilot merah disamping panel. Pemantauan dan pengaturan dilakukan dengan menggunakan wanlida MQSD 610Hb (alat biru dibawah indikator) dengan memberikan beberapa parameter inputan dengan melalui tombol-tombol yang tersedia.



Gambar 4. 9 Sistem sinkronisasi otomatis

Sumber : Penulis (2020)

Sinkronisasi secara otomatis jarang digunakan karena untuk meminimalisir kesalahan sistem akibat kesalahan pembacaan. Umumnya dilakukan secara manual oleh operator dan teknisi agar proses sinkronisasi berjalan lebih baik.

Dalam keadaan *starting* (startup), proses dilakukan dengan urutan sebagai berikut :

1. Dalam keadaan awal MSV ditutup, harus dipastikan tekanan dan suhu

sesuai dengan persyaratan (Suhu : 470-500°C, Tekanan : 4,68-5Mpa)

2. Kemudian MSV dibuka dengan diameter bukaan kecil sehingga turbin berputar pada kecepatan 500 rpm. Beri jeda waktu dan kemudian diameter MSV dibuka lebih lebar hingga kecepatan turbin menjadi sekitar 1200 rpm.
3. Diameter bukaan MSV diperlebar hingga turbin berputar pada kecepatan 2500 rpm. Kemudian diberi jeda waktu hingga kecepatan konstan diangka 3000 rpm.
4. Setelah turbin dan rotor generator berjalan dikecepatan 3000 rpm, maka diberikan tegangan eksitasi pada *exciter* dengan *setting* Unitrol sesuai dengan spesifikasi generator yang digunakan. Pada saat ini mulai menghasilkan daya listrik. Karena rotor berputar pada 3000 rpm maka listrik yang dihasilkan adalah 50Hz.
5. Memastikan *settingan Tap Changer* 20kV sesuai dengan tegangan keluaran yang digunakan. *Tap changer* ini juga dapat mempengaruhi faktor daya dimana ketika *tap changer* diturunkan maka faktor daya juga akan turun, dan sebaliknya. Oleh karena itu, pengaturan *tap changer* pada trafo hanya boleh dilakukan oleh PLN agar faktor daya berada diangka 85-90%
6. Melakukan proses sinkronisasi manual, karena frekuensi telah sesuai dan tegangan sudah sesuai line PLN (20kV) maka dilihat pada bagian indikator sinkronisasi pada parameter "S". Harus dipastikan jarum tidak berputar kekiri maupun kekanan dan menunjukkan tepat disimbol segitiga tengah. Setelah berada ditengah maka segera menekan tombol merah. proses sinkronisasi selesai dan daya dari generator dapat mengalir pada jalur PLN.

Agar turbin dan generator dapat berjalan pada keadaan stabil maka perlu adanya proses lubrikasi untuk mengurangi gesekan, vibrasi, dan ketidaksimetrisan poros. Pompa oli sendiri terdiri dari 3 jenis yaitu pompa DC, AC, dan HP (dari kiri ke kanan). Ilustrasi pompa sebagai berikut :



Gambar 4. 10 Pompa oli DC-AC-HP

Sumber : Penulis (2020)

Secara umum, dari proses *starting* hingga steady state menggunakan pompa oli HP (*High Pressure*) untuk proses pelumasannya. Pompa HP memperoleh sumber daya dari listrik PLN. Namun ketika proses *starting* dan disaat yang bersamaan listrik PLN tidak mengalir, maka menggunakan pompa AC untuk proses pelumasannya. Kendala yang dihadapi dari pompa AC yaitu karena kelistrikan diperoleh dengan genset maka memerlukan waktu untuk menghidupkan genset dan memastikan kecepatan rotasi diesel agar mengeluarkan listrik 50Hz, sehingga menggunakan pompa DC untuk kompensasi pompa AC. Pompa DC memperoleh sumber dari rangkaian baterai. Ketika genset siap menyuplai daya maka terjadi perpindahan pompa dari DC ke AC. Namun, ketika generator telah berjalan secara stabil dikecepatan 3000rpm maka generator menggunakan energi kinetiknya kepada pompa HP sehingga pompa berjalan tanpa memakan daya listrik. Oli yang digunakan sendiri selalu dalam keadaan bersih karena selalu terjadi sirkulasi dalam wadah tertutup, dan kandungan air selalu dikurangi sehingga kerja oli selalu baik. Interval penggantian oli sendiri sekitar 2 tahun sekali. Alat pemisah kandungan air sebagai berikut :



Gambar 4. 11 Purifier oli

Sumber : Penulis (2020)

Turbin yang digunakan juga harus diperhatikan beberapa parameternya. Untuk mengetahui performa turbin dapat dipantau melalui TSI (*Turbin Supervisory Instrument*). Ilustrasi TSI sebagai berikut :



Gambar 4. 12 Turbin Supervisory Instrument

Sumber : Penulis (2020)

Parameter yang diperhatikan untuk mengamankan turbin diantaranya : *Overspeed* (kecepatan), *Thrust position* (posisi masukan uap bertekanan), *eccentricity* (keseimbangan poros), *position* (pemuaian turbin). Kecepatan dijaga pada nilai antara 3000 maksimal 3160 rpm. Posisi masukan uap bertekanan juga harus diperhatikan karena sudut datang uap sangat mempengaruhi kecepatan turbin dan mempertahankan kondisi turbin yang digunakan. Keseimbangan turbin juga diperhatikan karena untuk mengurangi tingkat vibrasi, mempertahankan kondisi turbin, rotor generator, dan *exciter* yang digunakan. Pemuaian dipertahankan minimal 6mm dan maksimal 10mm. Ketika kondisi *black out* (mati) maka turbin harus tetap diputar untuk mempertahankan angka minimal pemuaian karena apabila turbin diam maka

material akan menyusut dan mengurangi tingkat keseimbangan turbin. Dalam keadaan *blackout*, turbin tetap diputar dengan menggunakan *turning gear* yang disuplai dayanya dengan menggunakan genset. Keseluruhan pembacaan tersebut akan dihubungkan pada *Emergency Trip System* (ETS). ETS digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4. 13 Interface pada *Emergency Trip System*

Sumber : Penulis (2020)

ETS merupakan pusat kendali dari seluruh proteksi yang berhubungan dengan generator dan turbin. Didalam ETS terdapat PLC yang berhubungan langsung dengan segala sistem proteksi generator dan turbin. Ilustrasi PLC pada ETS :



Gambar 4. 14 PLC *Emergency Trip System*

Sumber : Penulis (2020)

Ada beberapa parameter yang dibaca ETS, yaitu : kecepatan melebihi batas, perubahan posisi sumbu, getaran pada bearing, tekanan oli turun, vakum bocor, perubahan ukuran turbin, suhu oli pada kedua sisi bearing, suhu tinggi pada bushing (konduktor keluaran generator), *trip* proteksi generator utama, *trip* DEH, dan *trip* manual. Ketika terjadi gangguan maka akan mengaktifkan

perintah proteksi dan mengaktifkan *main switch* untuk memutus operasi generator. Hal tersebut dilakukan untuk mengamankan generator dari kerusakan.

Proteksi generator diperoleh dari pembacaan dengan Wanlida MGPR 620Hb. Pembacaan gangguan pada generator ada beberapa jenis diantaranya : *under voltage, over voltage, over load, over current, under frekuensi, over frekuensi, reverse power, Excitation loss*, dan lain-lain. Apabila mendeteksi terjadi gangguan maka generator akan melakukan pemutusan daya dengan menggunakan Voltage *Vacuum Circuit Breaker* (VCB). VCB inilah yang bertugas untuk mengaktifkan atau memutus kerja dari generator itu sendiri. Ilustrasi VCB yang digunakan yaitu:



Gambar 4. 15 *Vacuum Circuit Breaker* Generator

Sumber : Penulis (2020)

Vacuum Circuit Breaker tersebut merupakan alat yang digunakan untuk memutus daya. Semua proses pemutusan maupun penyambungan daya ketika dalam keadaan terbeban akan menghasilkan busur api, dan busur api pada VCB diredam dengan menggunakan tabung hampa udara sehingga api busur api dapat teredam dengan baik. Pada bagian luar kubikel generator terdapat digital *power measurement* dari Schneider Electric PowerLogic PM800 dengan ilustrasi sebagai berikut :



Gambar 4. 16 Pengukuran dan penunjang SCADA *monitoring* Generator

Sumber : Penulis (2020)

Terdapat pembacaan tegangan operasional generator (antar fasa) sebesar 6486 Volt, arus tiap fasa sebesar 1328 Ampere, daya aktif sebesar 12896 kW, dan energi listrik yang dihasilkan yaitu 559,78GWh. Pembacaan tersebut hanya pada generator 1, sedangkan generator 2 memiliki nilai yang hampir sama dengan generator 1.

Sedangkan pada bagian dalam kubikel generator hanya terdapat VCB, sistem pembacaan yang terhubung dengan sistem SCADA sehingga dapat diamati kerja generator dari ruang kontrol maupun pada ruang distribusi/pengatur beban 20kV maupun sistem pembacaan dengan menggunakan PowerLogic. Pada pembacaan PowerLogic membutuhkan perangkat tambahan berupa Trafo Tegangan (PT) dan Trafo Arus (CT). ilustrasi nampak dalam VCB yaitu sebagai berikut :



Gambar 4. 17 Bagian dalam *Vacuum Circuit Breaker*

Sumber : Penulis (2020)

Pada bagian ujung kiri merupakan sistem kontrol kerja secara otomatis dimana terdapat *relay* yang berfungsi sebagai pengatur sistem kerja VCB yang

dilakukan secara otomatis dengan perintah secara elektrik. Kerja elektrik dilakukan dengan menggunakan *switch* kontak, solenoid pemicu ON/*Trip*, Motor DC 110VDC 70W. Terdapat 2 jenis kondisi *interrupter* VCB yaitu ON (menyatu) dan *TRIP* (berpisah). Kerja VCB yaitu sebagai berikut :

1. Dalam keadaan normal, *interrupter* VCB ON sehingga terdapat arus yang mengalir. Kondisi pegas masih dalam keadaan tertarik karena dibantu oleh Motor DC
2. Ketika Wanlida mendeteksi adanya gangguan pada generator dan mengharuskan generator diproteksi, Wanlida akan mengirimkan sinyal kepada ETS untuk memutus *main switch*.
3. Pemutusan *main switch* dilakukan dengan mengirimkan sinyal dari ETS menuju mikrokontroler VCB untuk mengaktifkan *relay* agar menginduksi solenoid *Trip* untuk memutus tenaga yang ditandai dengan suara hentakan yang keras. Kondisi *interrupter* VCB *TRIP*
4. Setelah gangguan telah diatasi, maka operator akan menekan tombol ON pada ruang kontrol. Ketika tombol ON diaktifkan, maka akan mengirimkan sinyal kepada mikrokontroler VCB untuk mengaktifkan *relay* agar menginduksi solenoid ON untuk menyambung.
5. Penyambungan daya dilakukan dengan energi potensial yang dimiliki oleh pegas yang tertarik. Ketika tuas ON terdorong solenoid, maka pegas akan kembali keposisi semula sekaligus mendorong *interrupter* agar menyambung.
6. Setelah *interrupter* tersambung maka pegas yang telah kembali dalam keadaan normal dan secara otomatis, sistem ETS dan wanlida akan kembali dalam keadaan normal. Disaat yang bersamaan, mikrokontroler akan mengaktifkan *relay* untuk mengaktifkan motor DC untuk menarik kembali pegas. Terdapat limit *switch* yang akan memutus aliran daya pada motor ketika pegas telah tertarik dengan sempurna
7. Pegas yang tertarik tersebut digunakan untuk persiapan ketika terjadi *TRIP* agar dapat kembali ON dengan cepat.
8. Proses terus berulang

Proses ON juga dapat dilakukan secara manual yaitu dengan menekan

tombol ON (setelah engkol diputar secara manual maupun *motorized*) dan apabila ingin memutus secara manual dengan menekan tombol *trip*. Engkol diputar manual ketika tidak ada daya yang cukup untuk memutar motor DC yang tersedia karena beberapa alasan, namun yang paling utama yaitu kegagalan sistem baterai UPS.

Secara umum, pada saat terjadi blackout maka sistem kelistrikan diperoleh dengan menggunakan 2 metode yaitu UPS dan *array* baterai. Penggunaan baterai DC yaitu untuk kelistrikan yang membutuhkan listrik 110V seperti motor VCB dan pompa oli DC. Ilustrasi *array* baterai:



Gambar 4. 18 *Array* baterai penunjang sumber DC

Sumber : Penulis (2020)

Baterai yang digunakan berjumlah 104 buah tersebut akan selalu diisi daya dan diatur pada panel *Charging cabinet*. Penggunaan UPS untuk suplai kelistrikan yang membutuhkan listrik 220V seperti *monitoring* pada CCR dan sumber panel proteksi. Ilustrasi UPS yang digunakan yaitu :



Gambar 4. 19 *Uninterruptible Power Supply* (UPS)

Sumber : Penulis (2020)

UPS menggunakan Aki kering dengan daya 16kW dan mampu mensuplai

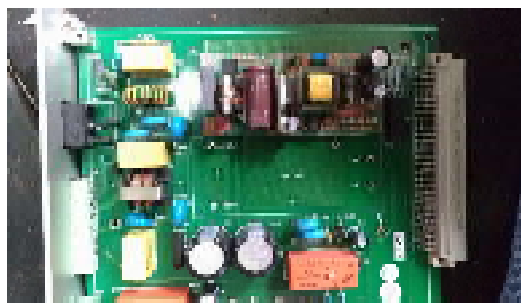
CCR selama kurang lebih 8 jam.

4.2 Proteksi Generator Wanlida MGPR 620Hb

4.2.1 Komponen *modular* serta Konfigurasi pin-pin

Wanlida MGPR 620Hb merupakan perangkat pengaman generator yang tersusun secara *modular* dimana terdapat 4 jenis bagian yang dapat dibedakan sesuai fungsinya masing masing yaitu bagian *Power*, I/O, CPU, dan AC.

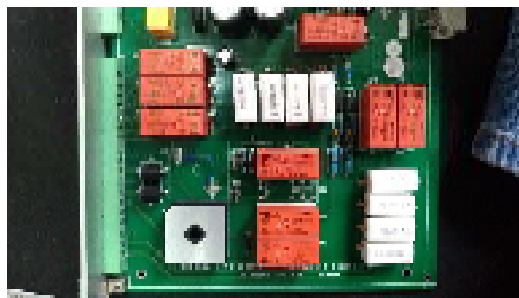
Bagian *Power* merupakan bagian yang berfungsi untuk memberikan suplai daya pada wanlida dengan input tegangan AC 220V dan diubah menjadi tegangan DC +24V dan -24V dengan menggunakan rangkaian *power supply*. Rangkaian *power supply* sebagai berikut :



Gambar 4. 20 *Power Supply* Wanlida MGPR 620Hb

Sumber : Penulis (2020)

Ada 2 jenis *power supply* yang digunakan yang dibedakan berdasarkan penggunaan, dimana pada bagian atas (terpasang) digunakan untuk suplai CPU sedangkan dibagian bawah digunakan untuk kontak pada I/O (membutuhkan induktansi lebih besar). Terdapat IC untuk filter tegangan DC untuk suplai daya pada bagian CPU. Komponen berwarna kuning adalah kapasitor kubikal (carli), biru adalah NTC, hijau adalah resistor.

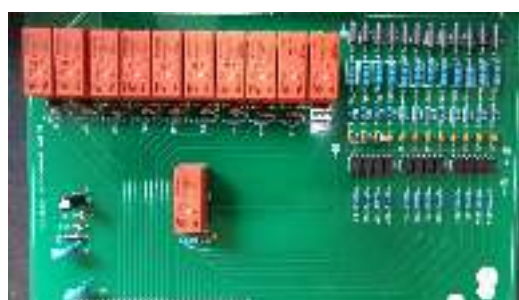


Gambar 4. 21 Penyearahan dan kontak-kontak Wanlida

Sumber : Penulis (2020)

Bagian yang berwarna orange merupakan *relay* 24VDC;8A;240VAC. *Relay* tersebut digunakan untuk *support* proses kontak pada bagian I/O karena keterbatasan space untuk *relay* pada I/O. terdapat 2 jenis *dioda* penyearah dimana yang berbentuk tabung berukuran 3A sedangkan berbentuk persegi berukuran 10A. terdapat 2 pasang resistor yang saling terhubung secara seri dengan nilai resistansi $6k8\Omega$.

Pada bagian I/O merupakan bagian yang berfungsi sebagai proses input dan output. Perintah yang dijalankan oleh CPU akan disalurkan pada I/O untuk proses kontak *relay-relay* proteksi. *Relay* proteksi yang digunakan sama halnya pada bagian *power*. Bagian inilah yang digunakan sebagai pengaktuan perintah dari bagian CPU. Ilustrasi bagian I/O sebagai berikut:



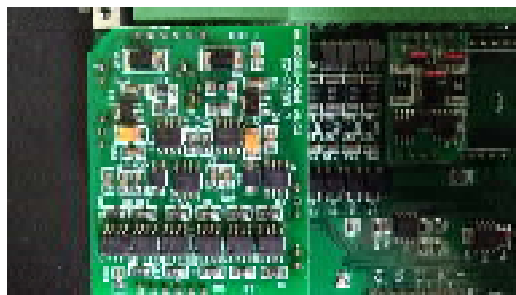
Gambar 4. 22 Input/Output Wanlida MGPR 620Hb

Sumber : Penulis (2020)

Rangkaian *dioda*, resistor, kapasitor, dan IC sebagai regulator dan rangkaian dibagian kiri bawah digunakan untuk sinyal *trip*.

Pada bagian I/O merupakan bagian yang berfungsi untuk mengatur

kerja dari sistem Wanlida 620Hb. Terdapat modul AD (*Converter Analog-Digital*) yang digunakan untuk mengubah sinyal analog dari sensor menjadi sinyal digital agar dapat diproses oleh prosesor. Juga terdapat UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*) yang digunakan sebagai komunikasi SCADA. Ilustrasi keduanya sebagai berikut :



Gambar 4. 23 Modul AD dan UART CPU Wanlida MGPR 620Hb

Sumber : Penulis (2020)

Yang digunakan sebagai otak dari CPU ini adalah DSP (*Digital Signal Processor*). Prosesor yang digunakan yaitu DSP buatan Texas Instrument yang digunakan sebagai pemroses sinyal digital dan dibantu oleh IC Altera EPM3032A yang digunakan sebagai pemrosesan logika. Pengaturan nilai proteksi akan disimpan dan diproses pada kedua prosesor tersebut

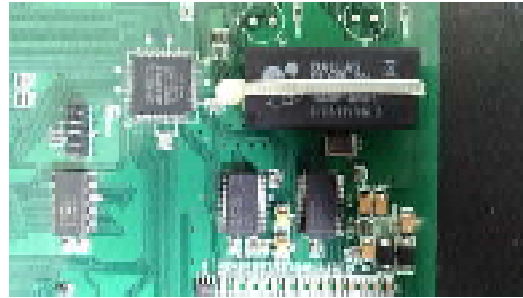


Gambar 4. 24 Prosesor CPU (DSP dan *Logic device*) Wanlida MGPR 620Hb

Sumber : Penulis (2020)

Pengaturan pengamanan tidak hanya berupa nilai masukan, namun perlu ada pengaturan waktu tunda (*delay*) untuk memastikan operasi tetap berjalan (tidak mudah *trip* saat ada gangguan dalam jangka waktu

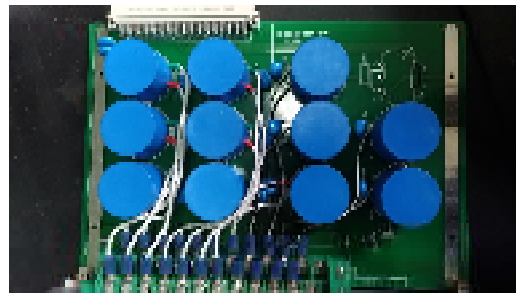
sangat singkat untuk proteksi yang tidak terlalu signifikan). Pengaturan waktu tunda didasarkan pada tingkat kritis/prioritas proteksi. Semakin tinggi maka waktu tunda akan semakin singkat dan sebaliknya. penyimpanan pengaturan waktu tunda dilakukan pada IC Dallas DS1743W yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 4. 25 IC *timekeeping* Dallas pada CPU Wanlida MGPR 620Hb

Sumber : Penulis (2020)

Pada bagian AC merupakan bagian yang berfungsi untuk mengubah nilai tegangan dan arus. Input pada bagian AC berasal dari *Potential Transformer* (PT) dan *Current Transformer* (CT) dimana tegangan 120V diubah menjadi 3.53V dan arus 5A diubah menjadi 3.53V. Ilustrasi bagian AC sebagai berikut :



Gambar 4. 26 CT-PT internal Wanlida MGPR 620Hb

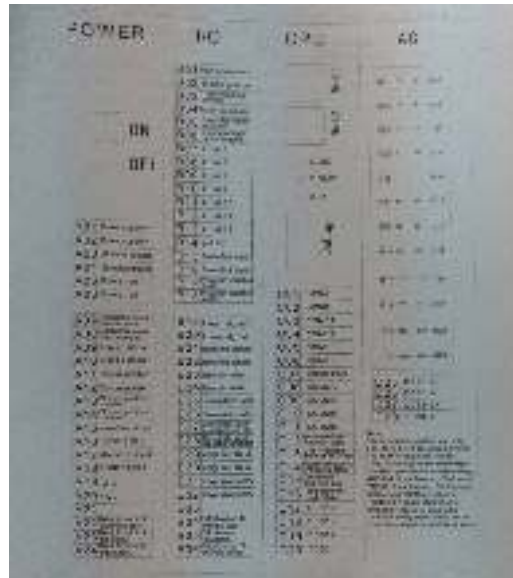
Sumber : Penulis (2020)

Pengubahan arus menjadi tegangan yaitu dengan menggunakan beban statis (resistor) dimana nilai resistansi sebesar :

$$R = \frac{V}{I} = \frac{3,53}{5} = 0,7\Omega$$

Keseluruhan sistem *modular* tersebut saling terhubung satu sama

lain pada sebuah papan yang langsung terhubung dengan PCB pusat. PCB pusat ini akan menghubungkan antara komponen *modular* dengan layar LCD dan tombol-tombol fisik pada bagian depan. Konfigurasi nilai dan waktu tunda berdasarkan kemampuan generator, perangkat penunjang, dan tingkat kritis pengamanan. Apabila tingkat gangguan tinggi maka diberikan nilai yang relatif lebih rendah namun jeda waktu yang sangat singkat, dan sebaliknya. Pin-pin yang tersedia dan kegunaannya yaitu sebagai berikut :



Gambar 4. 27 Konfigurasi pin-pin Wanlida MGPR 620Hb

Sumber : Penulis (2020)

4.2.2 Status, *Set Value*, dan *Time Delay* proteksi

a. Status

Tabel 4. 1 Status proteksi Generator

Proteksi	Status
<i>Undervoltage lock</i>	ON
<i>Negative Sequence lock</i>	ON
Memory	OFF
<i>Overcurrent (I) dan (II)</i>	ON
<i>Logitudinal zero sequence</i>	OFF
<i>Exciter Loss (I) dan (II)</i>	OFF

<i>Undervoltage</i>	ON
<i>Overvoltage</i>	ON
<i>Underfrequency</i>	ON
<i>Overfrequency</i>	ON
<i>Reverse Power</i>	ON
<i>Negative sequence Overcurrent (I) dan (II)</i>	OFF
<i>Negative Sequence Inverse Time</i>	OFF
PT Failure Alarm dan Lock	OFF
U < 5%	OFF
U > 90%	OFF
<i>Zero Sequence</i>	OFF

Sumber : Data Setting MGPR 620Hb

b. Set Value dan Time Delay

Tabel 4. 2 Setting Value dan Time delay proteksi

<i>Overcurrent</i>	<i>Overvoltage</i>	65V
	NS Voltage	8V
	<i>Overcurrent (I) dan (II)</i>	4,84A
	<i>Time delay (I) dan (II)</i>	2 sekon
L. Zero Sequence Overvolage	<i>Value / Time Delay</i>	30V / 1 sekon
<i>Exciter Loss</i>	Xst dan Xa / Xb	10 / 60 (Ω)
	<i>Undervoltage</i>	60V
	NS Voltage	30V
	<i>Time Delay</i>	15 sekon
<i>Undervoltage</i>	<i>Value / Time Delay</i>	65V / 5 sekon
<i>Overvoltage</i>	<i>Value / Time Delay</i>	120V / 5 sekon
<i>Overload</i>	<i>Value / Time Delay</i>	4,1A / 10 sekon
<i>Underfrekuensi</i>	<i>Value / Time Delay</i>	47,5Hz / 0,2

		sekon
<i>Overfrekuensi</i>	<i>Value / Time Delay</i>	55Hz / 60 sekon
<i>Reverse Power</i>	<i>Value / Time Delay</i>	10W / 10 sekon
NS <i>Overcurrent</i>	<i>Value / Time Delay</i>	10A / 15 sekon
NS <i>Overcurrent IT</i>	Rated Current	5A
	NS IT constant	90
	NS IT start Current	5A
	All L. NS Current	5A
	IT Upper limit <i>delay</i>	10 sekon
	IT Lower limit <i>delay</i>	600 sekon
PT Failure Alarm	<i>Time</i>	60 sekon
U < 5%	<i>Value</i>	5V
U > 90%	<i>Value</i>	95V
<i>Zero Sequence Overcurrent</i>	<i>Value / Time Delay</i>	2A / 99 sekon

Sumber : Data Setting MGPR 620Hb

Keterangan :

- L : Longitudinal
- NS : *Negative Sequence*
- IT : *Inverse time*

4.2.3 Analisa Proteksi Generator

Wanlida MGPR 620Hb ini telah diatur sistem proteksinya, baik status pengamanan, nilai, dan waktu tundanya. Dari keseluruhan proteksi maka saya ingin menganalisa parameter yang diaktifkan proteksinya saja, yaitu *overcurrent*, *overvoltage*, *undervoltage*, *overload*, *underfrekuensi*, *overfrekuensi*, dan *reverse power*. Hal ini dilakukan karena ketujuh parameter tersebut yang paling krusial dan paling sering terjadi. Seluruh *setting* nilai dan waktu tunda dilakukan oleh pihak Wanlida sendiri dengan memperhatikan beberapa faktor, diantaranya : spesifikasi dan kemampuan generator, sistem penunjang

lainnya, karakteristik pembebanan, dan lain-lain. Contohnya yaitu pengamanan *loss* eksitasi, sistem proteksi wanlida tidak diaktifkan karena pada sistem eksitasi telah dilengkapi dengan AVR (Automatic Voltage Regulator) ABB Unitrol yang mampu memproteksi generator dari gangguan yang berkaitan dengan eksitasi.

1. *Overcurrent*

Merupakan mekanisme pengamanan generator dari arus berlebih. Pengamanan tersebut dilakukan dengan menggunakan *relay* (pada I/O) yang berfungsi sebagai pemutus apabila arus yang mengalir melebihi nilai pengaturan (*set value*) dengan rentang waktu jeda yang lebih lama dari nilai pengaturan (*time delay*). Wanlida memperoleh input arus dari trafo arus (CT) eksternal yang terdapat pada kubikel Generator. CT eksternal pada generator menggunakan perbandingan 2000/5A sehingga ketika arus yang mengalir pada generator 2000A maka trafo CT akan mengeluarkan arus sebesar 5A. Selanjutnya terdapat trafo CT internal Wanlida dimana arus 5A akan dikonversi menjadi tegangan 3,53V dengan beban tetap 0,7 Ohm. Berikut pengaturan nilai *overcurrent* dan *time delay* yang digunakan :

- Nilai : 4,84A
- Waktu tunda : 2 detik

Maka prosesor akan menerima tegangan terhadap arus dengan perbandingan sebagai berikut :

$$V_{inproc} = \frac{4,84}{5} * 3,53V = 3,417V$$

Ketika prosesor menerima tegangan sebesar 3,417V maka prosesor akan mengirimkan perintah *trip* pada *relay overcurrent*. Sedangkan arus yang mengalir pada generator agar terjadi perintah *trip overcurrent* yaitu sebagai berikut :

$$I_{toc} = \frac{4,84}{5} * 2000A = 1936A$$

Arus yang mengalir tersebut masih memenuhi batas toleransi

maksimal kemampuan generator yaitu +10% dari arus nominal generator dimana :

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\theta} = \frac{12 \times 10^6}{\sqrt{3} * 6300 * 0,8} = 1374,64 \text{ Ampere}$$

$$I_{max} = \frac{110}{100} * I_n = 1,1 * 1374,64 = 1512,1 \text{ Ampere}$$

$$I_{set} = 1,05 * I_n = 1,05 * 1374,64 = 1443,37 \text{ Ampere}$$

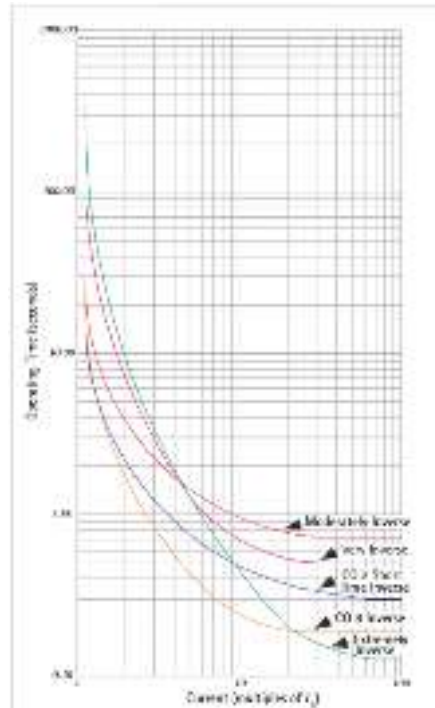
Nilai arus *setting* pada wanlida jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan arus maksimum kemampuan generator karena *overcurrent* umumnya terjadi ketika adanya hubung singkat pada internal generator sehingga arus akan melonjak dalam waktu yang singkat. Sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius maka generator diproteksi dengan nilai arus maksimum yang mengalir adalah 1936A dengan jangka waktu 2 detik.

Pengaturan waktu dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan TMS (*Time Multiplier Setting*). Perhitungan waktu *delay* sebagai berikut :

$$t = TMS * \frac{0,14}{I_r^{0,02} - 1} = 2 * 10^{-3} * \frac{0,14}{\left(\frac{1452}{1443,34}\right)^{0,02} - 1}$$

$$= 2,34 \text{ sekon}$$

Perhitungan *delay* tersebut hampir mendekati nilai pengaturan waktu jeda dilapangan yaitu dengan selisih 0,34 sekon. Pengaturan diambil lebih rendah dari t karena untuk menghindari kerusakan lebih lanjut akibat arus tinggi yang terus mengalir dalam waktu yang lebih lama. Hal tersebut didasarkan pada kurva hubungan arus dengan waktu.

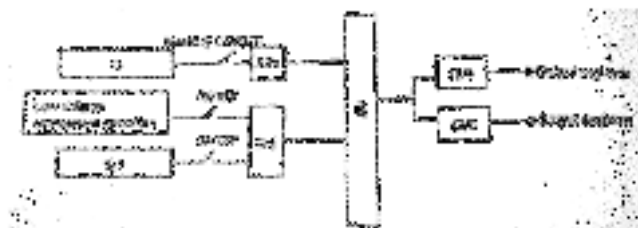


Gambar 4. 28 Kurva hubungan antara arus dengan waktu

Sumber : Alstom (1966)

Pengaturan waktu pengamanan *overcurrent* juga didasarkan pada kapasitas waktu maksimal VCB yang digunakan. *Overcurrent* rata-rata terjadi karena *short circuit*. Sedangkan VCB yang digunakan memiliki waktu jeda maksimal sebesar 4 detik pada kondisi *short circuit*, maka waktu harus diatur lebih rendah karena selain untuk mengamankan generator, namun juga menjaga *Circuit Breaker* yang digunakan.

Prosesor akan menjalankan fungsi logika proteksi sebagai berikut :



Gambar 4. 29 Logika proteksi *Overcurrent*

Sumber : Penulis (2020)

Ketika PT mendeteksi tegangan rendah (akibat arus naik) dan arus CT melebihi pengaturan dalam jangka *delay* yang telah ditentukan, maka sistem akan menggunakan logika AND dimana kedua parameter tersebut harus memenuhi syarat. Sehingga prosesor akan mengirimkan perintah *trip* dengan kode error “*Overcurrent*” dan memerintahkan *relay overcurrent* berubah state menjadi ON.

Pemeriksaan fungsi pengamanan *overcurrent* harus dilakukan untuk menjamin fungsi proteksi *overcurrent* tetap bekerja. Proses pemeriksaan sebagai berikut :

- Atur proteksi *overcurrent* dalam keadaan ON
- Atur tegangan rendah
- *Negative sequence* voltage dan fungsi memori dalam keadaan ON
- Hubungkan terminal dengan koneksi pin sebagai berikut : D1 (arus input), D2 (arus terbaca), D17 (Fasa R masuk), D19 (Fasa S masuk), D21 (Fasa T masuk), D18 (tegangan fasa terbaca), A01 (DC+), dan A02 (DC-)
- Tes state *relay overcurrent* dengan *set* proteksi *overcurrent* ON, atur pada tegangan rendah, tegangan negatif *sequence* dan memori OFF
- Tes proteksi *under-voltage-over-current* dengan penambahan tegangan 3 fasa simetris dimana tegangan *line* lebih tinggi daripada pengaturan *low voltage*. Kemudian tambahkan arus *fault* ($>I$ pengaturan) dan selanjutnya turunkan tegangan hingga proteksi berjalan
- Tes memori *overcurrent* dengan waktu tunda 4-8 detik. Saat diperiksa, tambahkan tegangan 3 fasa simetris dan biarkan arus dan tegangan sampai kriteria operasi. Sebelum proteksi berjalan maka matikan arus dan proteksi akan berjalan setelah pengaturan *delay*

- Tes tegangan negatif *sequence* dengan mengatur tegangan rendah (10V), NSV dan arus I dalam keadaan ON. ketika diperiksa, maka pastikan arus lebih tinggi dari nilai pengaturan dan berikan 3 fasa urutan negatif, dan naikan tegangan sampai proteksi bekerja
- Mendata segala hasil pengujian berupa state *relay overcurrent*, waktu tunda, tegangan operasi, dan error (%).

2. *Undervoltage*

Merupakan mekanisme pengamanan generator dari tegangan turun, atau tegangan jatuh. *Undervoltage* biasa terjadi pada saat *starting* motor dengan daya yang besar, terjadi hubung singkat, dan lain-lain. Pengamanan tersebut dilakukan dengan *relay* (pada I/O) yang berfungsi sebagai pemutus apabila tegangan yang mengalir lebih rendah dari nilai pengaturan (*set value*) dengan rentang waktu jeda yang lebih lama dari nilai pengaturan (*time delay*). Wanlida memperoleh input tegangan dari trafo tegangan (PT) eksternal yang terdapat pada kubikel Generator. PT eksternal pada generator menggunakan perbandingan 6000/100V sehingga ketika tegangan antar fasa pada generator 6000V maka trafo PT akan mengubah tegangan keluaran menjadi 100V. Selanjutnya terdapat trafo PT internal Wanlida dimana tegangan 100V akan dikonversi menjadi tegangan 3,53V. Berikut pengaturan nilai *undervoltage* dan *time delay* yang digunakan :

- Nilai : 65 V
- Waktu tunda : 5 detik

Tegangan yang dihasilkan oleh generator yaitu sekitar 6300V antar fasanya, maka tegangan antara fasa dengan netralnya yaitu :

$$V_p = \frac{V_l}{\sqrt{3}} = \frac{6300V}{\sqrt{3}} = 3637.3 \text{ Volt}$$

Dari standar yang ditetapkan oleh IEC (*International Electrotechnical Commission*) dan Red book IEEE (*International Electrical and Electronics Engineers*) dimana tegangan jatuh yang

disyaratkan tidak boleh lebih rendah dari 90% dari tegangan normal, maka :

$$V_{uv} = 0,9 * f_n = 0,9 * 6300 = 5670 \text{ Volt}$$

Sedangkan pada penerapannya, pengaturan *undervoltage* berada jauh dibawah nilai tersebut. Pengaturan tersebut akan berpengaruh pada besar arus yang mengalir pada generator dan pada akhirnya akan berpengaruh pada sinkronisasi dengan grid PLN karena diikuti dengan turunnya frekuensi. Gangguan ini juga mengakibatkan tegangan yang sangat jatuh pada beban bagian ujung penyaluran sehingga dapat merusak komponen elektrik. Sehingga tegangan *setting undervoltage* idealnya pada nilai :

$$V_{set} = \frac{5670}{6000} * 100V = 94,5V$$

Besar tegangan antar fasa yang dihasilkan generator untuk mengaktifkan perintah *trip undervoltage* (V_{uv}) yaitu :

$$V_{uvt} = \frac{65}{100} * 6000 = 3900 \text{ Volt}$$

Untuk mengaktifkan perintah *trip* maka perlu ada tegangan yang terbaca oleh prosesor. Ketika tegangan antar fasa generator terbaca 3900V maka prosesor akan menerima tegangan dengan nilai sebagai berikut :

$$V_{inproc} = \frac{3900}{6000} * 3,53 = 2,29 \text{ Volt}$$

Tegangan jatuh memiliki korelasi dengan peristiwa *overcurrent* dan *starting* motor. Hubungan antara *undervoltage* dengan *overcurrent* yaitu semakin tinggi nilai arus maka semakin kecil tegangan yang dihasilkan. Besarnya arus ketika terjadi *undervoltage* pada generator dirumuskan sebagai berikut :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V_{uvt} * \cos \theta} = \frac{12 \times 10^6}{\sqrt{3} * 3900 * 0,8} = 2220,57 \text{ Ampere}$$

Nilai tersebut bahkan melampaui besar nilai arus *trip* untuk perintah *overcurrent*. *Overcurrent* umumnya terjadi karena peristiwa hubung singkat sehingga lonjakan arus akan sangat besar

dengan jeda waktu yang singkat, sedangkan *undervoltage* tidak terjadi dalam waktu yang sesingkat *overcurrent* karena pada umumnya tegangan jatuh terjadi secara periodik (bertahap). Sedangkan hubungan antara *undervoltage* dengan *starting* motor yaitu ketika ada motor berdaya besar melakukan proses *starting*, terjadi kenaikan arus hingga 3-4 kali lipat dari arus normal, dalam proses *starting* umumnya terjadi tegangan jatuh yang cukup singkat sehingga pengamanan tidak menggunakan waktu yang singkat untuk menghindari generator *trip*. Maka pengaturan waktu tunda pada *undervoltage* yaitu 5 detik (2,5x lebih lama dibanding *overcurrent*). Prosesor akan menjalankan fungsi logika proteksi sebagai berikut :



Gambar 4. 30 Logika proteksi *Undervoltage*

Sumber : Penulis (2020)

Ketika PT mendeteksi tegangan antar fasa dibawah tegangan maksimum *undervoltage*, *breaker* dalam kondisi terhubung, dan PT *failure* bekerja, maka secara otomatis sistem akan menggunakan logika AND (semua syarat harus dipenuhi) dalam jangka waktu jeda yang telah ditentukan maka secara otomatis prosesor akan mengirimkan kode error “*undervoltage*” dan memerintahkan *relay undervoltage* berubah state menjadi ON.

Pemeriksaan fungsi pengamanan *undervoltage* harus dilakukan untuk menjamin fungsi proteksi *undervoltage* tetap bekerja dengan baik. Proses pemeriksaan sebagai berikut :

- Atur proteksi *undervoltage* dalam keadaan ON
- Hubungkan wanlida dengan koneksi pin sebagai berikut : D1

(arus input), D2 (arus terbaca), D17 (Fasa R masuk), D19 (Fasa S masuk), D21 (Fasa T masuk), D18 (tegangan fasa terbaca), A01 (DC+), dan A02 (DC-)

- Tambahkan DC220V pada terminal B01 dan B02 dan tambahkan analog *circuit breaker* dalam keadaan terhubung (*close position*)
- Ketika proteksi bekerja, terminal yang terhubung dengan kontrol keluaran *undervoltage* harus terhubung (*closed*)
- Ketika PT failure ON, maka proteksi *undervoltage* akan terhalang (*open*)
- Set tegangan PT antar fasa dimana tegangan 1 adalah 60V dan tegangan 2 adalah 80V (tegangan generator saat beroperasi : 3600V dan 4800V)
- Mendata segala hasil pengujian berupa state *relay undervoltage* dan waktu tunda, tegangan operasi, dan error.

3. *Overvoltage*

Merupakan mekanisme pengamanan generator dari tegangan naik secara signifikan. *Overvoltage* biasa terjadi pada saat beban tidak menyerap daya dengan sempurna sehingga seolah generator kehilangan beban. Pengamanan tersebut dilakukan dengan *relay* (pada I/O) yang berfungsi sebagai pemutus apabila tegangan yang mengalir lebih tinggi dari nilai pengaturan (*set value*) dengan rentang waktu jeda yang lebih lama dari nilai pengaturan (*time delay*). Wanlida memperoleh input tegangan dari trafo tegangan (PT) eksternal yang terdapat pada kubikel Generator. PT eksternal pada generator menggunakan perbandingan 6000/100V sehingga ketika tegangan antar fasa pada generator 6000V maka trafo PT akan mengubah tegangan keluaran menjadi 100V. Selanjutnya terdapat trafo PT internal Wanlida dimana tegangan 100V akan dikonversi menjadi tegangan 3,53V. Berikut pengaturan nilai *undervoltage* dan *time delay* yang digunakan :

- Nilai : 120 V
- Waktu tunda : 5 detik

Dari standar yang ditetapkan oleh PUIL (Panduan Umum Instalasi Listrik) dan *Red book* IEEE dimana lonjakan tegangan yang disyaratkan tidak boleh lebih tinggi dari 105% dari frekuensi normal, maka :

$$V_{ov} = 1,05 * f_n = 1,05 * 6300 = 6615 \text{ Volt}$$

Sedangkan pada penerapannya, pengaturan *overvoltage* berada jauh diatas nilai tersebut. Pengaturan tersebut akan berpengaruh pada besar tegangan yang mengalir pada generator dan pada akhirnya akan berpengaruh pada sinkronisasi dengan grid PLN. Gangguan ini juga dapat merusak komponen elektrik karena tegangan terlalu tinggi. Sehingga tegangan *setting overvoltage* idealnya pada nilai :

$$V_{set} = \frac{6615}{6000} * 100V = 110,25V$$

Besar nilai tegangan antar fasa yang dihasilkan generator untuk mengaktifkan perintah *trip overvoltage* (V_{ov}) yaitu :

$$V_{ov} = \frac{120}{100} * 6000 = 7200 \text{ Volt}$$

Untuk mengaktifkan perintah *trip* maka perlu ada tegangan yang terbaca oleh prosesor. Ketika tegangan antar fasa generator terbaca 7560V maka prosesor akan menerima tegangan dengan nilai sebagai berikut :

$$V_{inproc} = \frac{7200}{6000} * 3,53 = 4,23 \text{ Volt}$$

Tegangan naik memiliki korelasi dengan peristiwa hilangnya pembebanan pada generator yang ditandai dengan arus tidak mengalir sempurna dari generator ke beban. Apabila penyulang tidak dapat menyerap daya maka arus akan disalurkan pada *Express Feeder*, namun apabila *Express feeder* mengalami gangguan dan tidak dapat menyalurkan daya maka generator dalam keadaan *Island Mode* (kondisi generator ketika lepas sinkron dengan PLN).

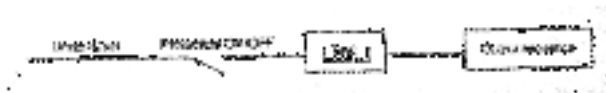
Hubungan antara *overvoltage* terhadap arus yang mengalir yaitu semakin tinggi tegangan maka semakin kecil arus yang mengalir (dengan daya konstan). Besarnya arus ketika terjadi *overvoltage* pada generator dirumuskan sebagai berikut :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V_{ot} * \cos \theta} = \frac{12 \times 10^6}{\sqrt{3} * 7200 * 0,8} = 1202,81 \text{ Ampere}$$

Nilai tersebut lebih rendah dari arus normal yang dihasilkan generator (1374,64A). peristiwa *overvoltage* akan selalu berkaitan dengan peristiwa *overfrekuensi* karena besar tegangan akan sebanding dengan besar frekuensi. Peristiwa ini dapat ditandai dengan generator “*over spinning*”. Tegangan naik apabila terjadi dalam kurun waktu yang singkat maka tidak berpengaruh secara signifikan. Namun apabila dibiarkan dalam waktu yang cukup lama maka akan berpengaruh pada seluruh kelistrikan beban karena tegangan yang berlebih akan merusak komponen listrik karena pada umumnya hanya dibatasi hingga 240VAC pada komponen beban tegangan rendah (220~240V). besar tegangan 1 fasa apabila terjadi *overvoltage* yaitu sebagai berikut:

$$V_{1ph} = \frac{120}{100} * 220 = 264 \text{ Volt}$$

Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan 240VAC sehingga diproteksi dengan kurun waktu tunda sebesar 5 detik. Prosesor akan menjalankan fungsi logika proteksi sebagai berikut :



Gambar 4. 31 Logika proteksi *Overvoltage*

Sumber : Penulis (2020)

Ketika PT mendeteksi tegangan antar fasa diatas nilai tegangan *set* maksimum *overvoltage* dan kondisi proteksi dalam keadaan ON (*closed*), ketika waktu melebihi jangka waktu jeda yang telah

ditentukan maka secara otomatis prosesor akan mengirimkan kode error “*overvoltage*” dan memerintahkan *relay overvoltage* berubah state menjadi ON.

Pemeriksaan fungsi pengamanan *undervoltage* harus dilakukan untuk menjamin fungsi proteksi *undervoltage* tetap bekerja. Proses pemeriksaan fungsi *overvoltage* sama halnya dengan pemeriksaan fungsi *undervoltage*. Perbedaanya hanya pada tahap pertama yaitu memastikan proteksi *overvoltage* keadaan ON, dan tahap keenam yaitu atur tegangan PT antar fasa dimana tegangan 1 adalah 120V dan tegangan 2 adalah 150V (tegangan generator saat beroperasi : 7200V dan 9000V)

4. Overload

Merupakan mekanisme pengamanan generator dari lonjakan beban berlebih. *Overload* biasa terjadi pada saat beban menyerap menyerap daya terlalu tinggi dari kapasitas generator sehingga seolah generator kehilangan daya karena terlalu terbeban. *Overload* umumnya terjadi pada pembangkit dengan daya kecil yang diakibatkan karena salah satu pembangkit berdaya besar mengalami blackout sehingga beban mengambil daya dari pembangkit dan pembangkit tidak mampu memenuhi kebutuhan daya beban. *Overload* berhubungan dengan arus tinggi namun bukan disebabkan karena hubung singkat, tetapi karena proses pembebanan diatas batas, unbalance, dll. Pengamanan dilakukan dengan *relay* (pada I/O) yang berfungsi sebagai pemutus apabila arus yang mengalir lebih tinggi dari nilai pengaturan (*set value*) dengan rentang waktu jeda yang lebih lama dari nilai pengaturan (*time delay*). Wanlida memperoleh input arus dari trafo arus (CT) eksternal yang terdapat pada kubikel Generator. CT eksternal pada generator menggunakan perbandingan 2000/5A sehingga ketika arus yang mengalir pada generator 2000A maka trafo CT akan mengubah besaran arus menjadi 5A. Selanjutnya terdapat trafo CT internal Wanlida dimana arus 5A akan dikonversi menjadi tegangan 3,53V dengan beban

tetap 0,7 Ohm. Berikut pengaturan nilai *overcurrent* dan *time delay* yang digunakan :

- Nilai : 4,1 A
- Waktu tunda : 10 detik

Maka prosesor akan menerima tegangan terhadap arus dengan perbandingan sebagai berikut :

$$V_{inproc} = \frac{4,1}{5} * 3,53V = 2,89 \text{ Volt}$$

Ketika prosesor menerima tegangan sebesar 2,89V maka prosesor akan mengirimkan perintah *trip* pada *relay overload*. Sedangkan arus yang mengalir pada generator agar terjadi perintah *trip overload* yaitu sebagai berikut :

$$I_{tol} = \frac{4,1}{5} * 2000A = 1640A$$

Besar arus yang ditarik oleh beban sangat jauh bila dibandingkan dengan maksimum arus yang mampu dikeluarkan oleh generator. Arus nominal yang dihasilkan generator yaitu :

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos \theta} = \frac{12 \times 10^6}{\sqrt{3} * 6300 * 0,8} = 1374,64 \text{ Ampere}$$

Pembebanan pada generator terdiri dari 2 kategori yaitu beban puncak dan beban normal. Ketika beban puncak maka kebutuhan beban akan semakin tinggi. Berdasarkan parameter kecepatan bahwa maksimum rotasi turbin pada 3160 sehingga apabila dikorelasikan dengan grafik mesin 505 maka daya maksimal pada nilai 13,5MW. Ketika diatas nilai tersebut maka generator sudah tidak mampu lagi karena arus yang mengalir terlalu tinggi. Perhitungan arus :

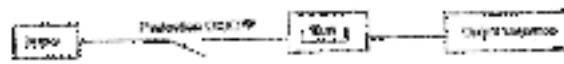
$$I_{max} = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos \theta} = \frac{13500000}{\sqrt{3} * 6300 * 0,8} = 1546.47A$$

Ketika generator menghasilkan arus yang lebih tinggi dari nilai maksimum tersebut maka generator akan mengalami pembebanan yang sangat tinggi yang menyebabkan suhu meningkat dan berpotensi merusak komponen internal generator dan dapat

menyebabkan generator terbakar akibat pemanasan berlebih. Sehingga *setting* arus maksimum berada pada angka :

$$I_{set} = \frac{1546,47}{2000} * 5A = 3,86A$$

Tegangan turun akan sebanding dengan penurunan frekuensi dan penurunan faktor daya (PF).sedangkan dalam jangka waktu yang panjang dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen generator, bahkan generator dapat terbakar. Sehingga generator harus diproteksi dengan jeda waktu sekitar 10 detik. Prosesor akan menjalankan fungsi logika proteksi sebagai berikut :



Gambar 4. 32 Logika proteksi *Overload*

Sumber : Penulis (2020)

CT mendeteksi arus yang mengalir diatas nilai pengaturan arus maksimum *overload* dan kondisi proteksi dalam keadaan ON (*closed*). Maka ketika waktu melebihi jangka waktu jeda yang telah ditentukan secara otomatis prosesor akan mengirimkan kode error “*overload*” dan memerintahkan *relay overvoltage* berubah state menjadi ON.

Pemeriksaan fungsi pengamanan *overload* harus dilakukan untuk menjamin fungsi proteksi *overload* tetap bekerja dengan baik. Proses pemeriksaan sebagai berikut :

- Atur proteksi *overload* dalam keadaan ON
- Hubungkan wanlida dengan koneksi pin sebagai berikut : D1 (arus input), D2 (arus terbaca), D17 (Fasa R masuk), D19 (Fasa S masuk), D21 (Fasa T masuk), D18 (tegangan fasa terbaca), A01 (DC+), dan A02 (DC-)
- Atur sumber arus masukan dan berikan jeda waktu sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Pengujian proteksi Overload

OL <i>Set</i> (A)	5	10	15	20
OL <i>Delay</i> (s)	10	5	2	1

Sumber : Zhuhai Wanlida Electric (2011)

- Ketika proteksi bekerja, terminal yang terhubung dengan kontrol keluaran *overload* harus terhubung (*closed*)
- Mendata segala hasil pengujian berupa state *relay overload*, nilai operasi *overload*, dan waktu jeda operasi *overload*.

5. Under frequency

Merupakan mekanisme pengamanan generator dari frekuensi yang jatuh secara mendadak. Penurunan nilai frekuensi dapat menyebabkan generator kehilangan sinkronisasi dengan grid karena listrik DC harus menyamakan 3 parameter yaitu tegangan, frekuensi, dan beda fasa. Frekuensi akan berbanding lurus dengan kecepatan rotasi generator sehingga ketika frekuensi turun maka kecepatan akan semakin berkurang dan sebaliknya. *Underfrekuensi* terjadi karena beberapa hal, diantaranya generator mengalami pembebanan yang sangat tinggi (*overload*), dan generator kehilangan kemampuan penghasil daya (*loss generation*) karena penurunan daya mekanis pada masukannya. Ketika frekuensi turun secara mendadak maka terdapat *relay* (pada I/O) yang berfungsi sebagai pemutus apabila frekuensi listrik yang dihasilkan lebih rendah dari nilai pengaturan (*set value*) dengan rentang waktu jeda yang lebih lama dari nilai pengaturan (*time delay*). Wanlida dapat mendeteksi penurunan frekuensi dengan dua metode diantaranya menghitung jumlah gelombang tegangan dalam satu detiknya dengan prosesor yang digunakan, dan mendeteksi perubahan tegangan secara mendadak ($V_{ab} > V_{dz}$). Sehingga pengaturan nilai dan waktu *underfrekuensi* sebagai berikut:

- Nilai : 47,5 Hz
- Waktu tunda : 0,2 detik

Nilai frekuensi 47,5 diperoleh dari standar yang ditetapkan oleh IEC dan NEMA (National Electrical Manufacture Association) dimana frekuensi jatuh yang disyaratkan tidak boleh lebih rendah dari 95% dari frekuensi normal, maka :

$$f_u = 0,95 * f_n = 0,95 * 50 = 47,5 \text{ Hz}$$

Sedangkan nilai kecepatan rotasi generator ketika terjadi underfrekuensi yaitu sebagai berikut :

$$p = \frac{120 * f_n}{N} = \frac{120 * 50}{3000} = 2 \text{ pole}$$

$$N_{uf} = \frac{120 * f_{uf}}{p} = \frac{120 * 47,5}{2} = 2850 \text{ rpm}$$

Sedangkan hubungan antara *underfrekuensi* dengan *overload* yaitu dirumuskan sebagai berikut

$$I_{tol} = 1640 \text{ Ampere}$$

$$V_{tuf} = \frac{P}{\sqrt{3} * I_{tol} * pf} = \frac{12 \times 10^6}{\sqrt{3} * 1640 * 0,8} = 5280,64 \text{ Volt}$$

Sehingga tegangan yang terbaca oleh PT eksternal maupun internal wanlida sebagai berikut :

$$V_{pt} = \frac{5280,64}{6000} * 100 = 88,01 \text{ Volt}$$

$$V_{inproc} = \frac{88,01}{100} * 3,53 = 3,106 \text{ Volt}$$

Ketika jumlah pulsa gelombang yang terbaca oleh prosesor lebih rendah dari 47,5 kali dalam satu detik dan prosesor menerima tegangan kurang dari 3,106V dalam kurun waktu lebih dari 0,2 detik maka prosesor akan mengirimkan perintah *trip* pada *relay underfrekuensi*. Prosesor akan menjalankan fungsi logika proteksi sebagai berikut :



Gambar 4. 33 Logika proteksi *Underfrekuensi*

Sumber : Penulis (2020)

Prosesor membaca jumlah pulsa lebih rendah dari nilai pengaturan, nilai tegangan yang diatur lebih rendah dari tegangan antar fasanya, dan *circuit breaker* dalam keadaan terhubung (*close circuit*). Kemudian menjalankan logika AND dimana semua syarat harus terpenuhi dan otomatis prosesor akan mengirimkan kode error “*underfrekuensi*” dan memerintahkan *relay underfrekuensi* berubah state menjadi ON.

Pemeriksaan fungsi pengamanan *underfrekuensi* harus dilakukan untuk menjamin fungsi proteksi *underfrekuensi* tetap bekerja dengan baik. Proses pemeriksaan sebagai berikut :

- Atur proteksi underfrekuensi dalam keadaan ON
- Hubungkan wanlida dengan koneksi pin sebagai berikut : D1 (arus input), D2 (arus terbaca), D17 (Fasa R masuk), D19 (Fasa S masuk), D21 (Fasa T masuk), D18 (tegangan fasa terbaca), A01 (DC+), dan A02 (DC-)
- Atur frekuensi tegangan sampai proteksi bekerja
- Atur nilai *underfrekuensi* sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Pengujian proteksi Underfrekuensi

<i>Underfrekuensi Set</i> (Hz)	47	48	49
--------------------------------	----	----	----

Sumber : Zhuhai Wanlida Electric (2011)

- Mendata segala hasil pengujian berupa state *relay* underfrekuensi, nilai frekuensi (saat proteksi ON), dan error (%)

6. Over frequency

Merupakan mekanisme pengamanan generator dari frekuensi yang meningkat secara drastis. Kenaikan nilai frekuensi juga dapat menyebabkan generator kehilangan sinkronisasi dengan grid karena listrik DC harus menyamakan 3 parameter yaitu tegangan, frekuensi, dan beda fasa. Frekuensi akan berbanding lurus dengan kecepatan rotasi generator sehingga ketika frekuensi naik maka kecepatan akan semakin bertambah dan sebaliknya. Overfrekuensi

terjadi karena beberapa hal, diantaranya generator mengalami kehilangan pembebanan, dan generator memperoleh masukan energi mekanis terlalu tinggi. Ketika frekuensi naik secara mendadak maka terdapat *relay* (pada I/O) yang berfungsi sebagai pemutus apabila frekuensi listrik yang dihasilkan lebih tinggi dari nilai pengaturan (*set value*) dengan rentang waktu jeda yang lebih lama dari nilai pengaturan (*time delay*). Wanlida dapat mendeteksi kenaikan frekuensi dengan dua metode diantaranya menghitung jumlah pulsa gelombang tegangan dalam satu detiknya dengan prosesor yang digunakan, dan mendeteksi perubahan tegangan secara mendadak ($V_{ab} > V_{dz}$). Sehingga pengaturan nilai dan waktu overfrekuensi sebagai berikut:

- Nilai : 55 Hz
- Waktu tunda : 60 detik

Dari standar yang ditetapkan oleh IEC dan NEMA dimana frekuensi jatuh yang disyaratkan tidak boleh lebih tinggi dari 105% dari frekuensi normal, maka :

$$f_{of} = 1,05 * f_n = 1,05 * 50 = 52,5Hz$$

Sedangkan pada penerapannya, pengaturan overfrekuensi berada diatas nilai tersebut. Pengaturan tersebut akan berpengaruh pada besar nilai kecepatan maksimal pada generator dan pada akhirnya akan berpengaruh pada sinkronisasi dengan grid PLN. Selisih kecepatan antara frekuensi 52,5Hz dan 55Hz yaitu sebagai berikut:

$$N(52,5Hz) = \frac{120 * f}{p} = \frac{120 * 52,5}{2} = 3150rpm$$

$$N(55Hz) = \frac{120 * f}{2} = \frac{120 * 55}{2} = 3300rpm$$

Kecepatan pada *setting* frekuensi 55Hz tersebut bahkan melebihi batas maksimal rotasi yang diatur pada TSI dan mesin 505 yang diatur harus dibawah 3160 rpm sehingga perlu adanya pengaturan ulang proteksi *overfrekuensi* menjadi 52,5 Hz pada perangkat Wanlida yang digunakan agar keamanan dan

keberlangsungan sinkronisasi dengan grid PLN tetap berjalan dengan baik.

Sedangkan hubungan antara overfrekuensi dengan tegangan yaitu semakin tinggi frekuensi maka tegangan yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Dari dasar ini maka dapat diasumsikan bahwa ketika terjadi overfrekuensi maka akan terjadi *overvoltage*. Perhitungan tegangan dan arus ketika terjadi overfrekuensi sebagai berikut :

$$V_{ovt} = 7200 \text{ Volt}$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V_{of} * \cos \theta} = \frac{12 \times 10^6}{\sqrt{3} * 7200 * 0,8} = 1202,81 \text{ Ampere}$$

Sedangkan hubungan antara kecepatan rotasi dengan tegangan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V = k * n * Q$$

Dimana V adalah tegangan yang dibangkitkan, k adalah konstanta generator, n adalah kecepatan rotasi generator, dan Q adalah fluks medan magnet. Q sebanding dengan arus medan. Dari rumusan tersebut dapat disimpulkan bahwa tegangan yang dibangkitkan akan berbanding lurus dengan kecepatan rotasi dan kecepatan rotasi berbanding lurus dengan frekuensi. Rumus hubungan antara frekuensi dan kecepatan rotasi yaitu sebagai berikut :

$$f = \frac{N * p}{120}$$

Sehingga tegangan yang terbaca oleh PT eksternal maupun internal wanlida sebagai berikut :

$$V_{pt} = \frac{7200}{6000} * 100 = 120 \text{ Volt}$$

$$V_{inproc} = \frac{120}{100} * 3,53 = 4,23 \text{ Volt}$$

Ketika jumlah pulsa gelombang yang terbaca oleh prosesor lebih dari 52,5 kali dalam satu detik dan prosesor menerima tegangan lebih dari 4,23V dalam kurun waktu lebih dari 60 detik maka

prosesor akan mengirimkan perintah *trip* pada *relay* overfrekuensi. Waktu tunda overfrekuensi lebih tinggi dibandingkan dengan underfrekuensi, hal tersebut dikarenakan peristiwa *underfrekuensi* dapat berujung pada kerusakan komponen internal generator karena ketika frekuensi jatuh akan diikuti tegangan jatuh. Ketika tegangan jatuh maka dapat mengakibatkan generator mengalami peristiwa motoring karena memperoleh daya dari grid PLN (*Reverse power*) sehingga perlu segera diputus. Prosesor akan menjalankan fungsi logika proteksi sebagai berikut :



Gambar 4. 34 Logika proteksi *Overfrekuensi*

Sumber : Penulis (2020)

Prosesor membaca jumlah pulsa lebih rendah dari nilai pengaturan, nilai tegangan yang diatur lebih tinggi dari tegangan antar fasanya, dan *circuit breaker* dalam keadaan terhubung (*close circuit*). Kemudian menjalankan logika AND dimana semua syarat harus terpenuhi dan otomatis prosesor akan mengirimkan kode error “overfrekuensi” dan memerintahkan *relay* overfrekuensi berubah state menjadi ON.

Pemeriksaan fungsi pengamanan *overfrekuensi* harus dilakukan untuk menjamin fungsi proteksi *overfrekuensi* tetap bekerja. Proses pemeriksaan fungsi *overfrekuensi* sama halnya dengan pemeriksaan fungsi *underfrekuensi*. Perbedaannya hanya pada tahap pertama yaitu memastikan proteksi *overfrekuensi* keadaan ON, dan tahap keempat yaitu mengatur nilai *overfrekuensi* yaitu sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Pengujian proteksi Overfrekuensi

<i>Overfrekuensi Set</i> (Hz)	51	52	53
-------------------------------	----	----	----

Sumber : Zhuhai Wanlida Electric (2011)

7. *Reverse power*

Merupakan mekanisme pengamanan generator dari aliran balik daya dari eksternal generator. Hal tersebut dapat menyebabkan generator kehilangan kemampuan untuk menghasilkan daya dan justru menyerap daya dari grid yang terkoneksi (PLN) sehingga generator berperan sebagai motor (generator motoring). Apabila dibiarkan terlalu lama maka dapat merusak beberapa komponen, salah satunya turbin yang berubah fungsi menjadi “kipas” yang mengakibatkan aliran uap kering menjadi terganggu. *Reverse power* dapat terdeteksi dengan menggunakan kombinasi CT dan PT dimana tegangan yang masuk pada generator umumnya lebih tinggi sama dengan dari tegangan nominal generator sehingga aliran daya berubah arah dari PLN menuju generator. Sedangkan CT digunakan untuk mendeteksi besar arus yang mengalir dari grid menuju generator dengan menggunakan perbandingan 2000/5 Ampere. Sehingga pengaturan nilai dan waktu *reverse power* sebagai berikut:

- Nilai : 10W
- Waktu tunda : 10 detik

Besar tegangan yang masuk pada generator (sisi primer) adalah 6300V, maka tegangan yang terbaca oleh PT pada sisi sekunder yaitu 100V. sehingga besar arus yang terdeteksi oleh CT pada sisi sekundernya yaitu:

$$I' = \frac{P}{V} = \frac{10}{100} = 0,1 \text{ Ampere}$$

Dengan memanfaatkan perbandingan CT, maka dapat diketahui besar arus yang mengalir pada generator (dari grid) sebesar :

$$I = \frac{I'}{5} * 2000 = \frac{0,1}{5} * 2000 = 40A$$

Sedangkan besar arus yang mengalir tersebut akan dikonversi oleh prosesor. Besar nilai tegangan yang dibaca adalah :

$$V_{inproc} = \frac{0,1}{5} * 3,53 = 0,07 \text{ Volt}$$

Ketika prosesor membaca tegangan 0,07V maka prosesor akan

melakukan perkalian balik dan mendeteksi arus yang terbaca oleh CT adalah 0,1A dan tegangan yang terbaca PT adalah 100V menghasilkan daya 10W sehingga akan mengirimkan perintah untuk *trip reverse power*. Prosesor akan menjalankan fungsi logika proteksi sebagai berikut :



Gambar 4. 35 Logika proteksi *Reverse power*

Sumber : Penulis (2020)

Setelah prosesor membaca jumlah perkalian antara tegangan dan arus yang masuk, apabila nilai tersebut melebihi waktu tunda maka otomatis prosesor akan mengirimkan kode error “*reverse power*” dan memerintahkan *relay reverse power* berubah state menjadi ON.

Pemeriksaan fungsi pengamanan *reverse power* harus dilakukan untuk menjamin fungsi proteksi *overfrekuensi* tetap bekerja dengan baik. Proses pemeriksaan sebagai berikut :

- Atur proteksi *reverse power* dalam keadaan ON
- Hubungkan wanlida dengan koneksi pin sebagai berikut : D1 (arus input), D2 (arus terbaca), D17 (Fasa R masuk), D19 (Fasa S masuk), D21 (Fasa T masuk), D18 (tegangan fasa terbaca), A01 (DC+), dan A02 (DC-)
- Atur nilai daya balik sebagai berikut :

Tabel 4. 6 Pengujian proteksi Reverse Power

<i>Reverse Power Set (W)</i>	50	100	200
------------------------------	----	-----	-----

Sumber : Zhuhai Wanlida Electric (2011)

- Mendata segala hasil pengujian berupa state *relay reverse power*, nilai daya (saat proteksi bekerja), dan error (%)

4.2.4 Hasil Pengujian Sistem Proteksi

Hasil pengujian sistem proteksi telah dilakukan oleh tim Elektrik

pada saat generator mengalami overhaul. Pengujian dilakukan dengan menggunakan rangkaian sederhana yang dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino yang dipantau hasil pengamatannya dengan menggunakan smartphone. Hasil pengamatannya sebagai berikut :

Tabel 4. 7 Hasil pengujian sistem proteksi

Test code	<i>Trip</i> CB	<i>Trip</i> Gen	<i>Trip</i> Excit	ETS shutdown
OC	TRIP	TRIP	TRIP	TRIP
OV	TRIP	TRIP	TRIP	TRIP
UV	TRIP	TRIP	TRIP	TRIP
OL	TRIP	TRIP	TRIP	TRIP
UF	TRIP	TRIP	TRIP	TRIP
OF	TRIP	TRIP	TRIP	TRIP
Rev. Power	TRIP	TRIP	TRIP	TRIP

Sumber : Agus Wijaya (2020)

Pada setiap proteksi telah diatur nilai batas dan waktu tunda masing-masing. Pada pengujian tersebut dihasilkan *relay* bekerja untuk mematikan (*tripping*) pada masing-masing komponen (CB, Generator, Eksitasi, dan ETS) sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa *relay* masih bekerja dengan baik.

Metode pengamatan ini pastilah memiliki kekurangan karena sistem yang digunakan masih belum sesuai standar pengujian. Pengujian juga dapat dilakukan dengan menggunakan Megger Sverker 780. Ilustrasi alat tersebut sebagai berikut :



Gambar 4. 36 Megger Sverker 780

Sumber : Penulis (2020)

Alat tersebut juga menggunakan prinsip yang sama dengan arduino. Arduino dan alat ini masih memiliki kekurangan yang sama yaitu

pengetesan perlu terhubung dengan SCADA sehingga dapat dianalisa gangguan terjadi dari internal ataukah dari eksternal karena dapat dilihat trending tegangan, daya, dan arusnya. Juga pengidentifikasian waktu menjadi lebih mudah.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan sistem proteksi Turbo Generator dengan Wanlida MGPR 620HB dapat ditarik kesimpulan :

- Wanlida MGPR 620Hb adalah komputer mikro yang digunakan untuk mengamankan generator dari gangguan baik dari internal maupun eksternal.
- Untuk mengamankan generator maka memerlukan komponen pembacaan seperti CT dan PT yang digunakan sebagai pembacaan gangguan tegangan dan arus
- Wanlida tidak berdiri sendiri untuk mengamankan generator, namun juga memerlukan komponen lain seperti AVR ABB Unitrol untuk proteksi eksitasi dan TSI untuk mengamankan turbin. Ketiga sistem tersebut akan dihubungkan pada pusat kontrol yaitu ETS yang mengendalikan VCB Generator
- Arus *setting* proteksi *overcurrent* yang diterapkan pada generator untuk melindungi gangguan arus berlebih adalah 4,81 A, sedangkan konfigurasi CT yaitu 2000/5A sehingga generator akan mengalami *overcurrent* saat arus melebihi 1936A. Arus maksimal generator adalah 1512,1A. *Overcurrent* umumnya terjadi karena adanya hubung singkat sehingga arus akan naik secara drastis dan harus segera ditangani dimana ketika arus melebihi nilai tersebut maka akan memutuskan daya melalui kontak *trip* VCB secara otomatis sebelum terjadi kerusakan internal generator yang lebih parah.
- Tegangan *setting* proteksi *undervoltage* yang diterapkan pada generator untuk melindungi gangguan tegangan jatuh adalah 65V, sedangkan konfigurasi PT yaitu 6000/100V sehingga generator akan mengalami *undervoltage* saat tegangan lebih rendah dari 3900V. Nilai tersebut masih

jauh dibawah standar yang diterapkan oleh IEC dan Red book IEEE yang mana seharusnya tegangan jatuh maksimal pada 5670V (*setting* : 94,5V). *Undervoltage* umumnya terjadi karena adanya *overcurrent*, pembebanan lebih, atau karena adanya *starting* pada motor berukuran besar. Penurunan tegangan tersebut dapat mengganggu sinkronisasi generator terhadap grid listrik PLN sehingga daya harus diputuskan melalui kontak *trip* VCB secara otomatis.

- Tegangan *setting* proteksi *overvoltage* yang diterapkan pada generator untuk melindungi gangguan lonjakan tegangan adalah 120V, sedangkan konfigurasi PT yaitu 6000/100V sehingga generator akan mengalami *overvoltage* saat tegangan lebih tinggi dari 7200V. Nilai tersebut masih jauh diatas standar yang diterapkan oleh PUIL dan Red book IEEE yang mana seharusnya lonjakan tegangan maksimal pada 6615V (*setting* : 110,25V). *Overvoltage* umumnya terjadi karena kehilangan pembebanan, karena putaran turbin yang terlalu tinggi (*over spinning*) yang berujung pada *overfrekuensi*. Kenaikan tegangan tersebut dapat mengganggu sinkronisasi generator terhadap grid listrik PLN sehingga daya harus diputuskan melalui kontak *trip* VCB secara otomatis.
- Arus *setting* proteksi *overload* yang diterapkan pada generator untuk melindungi gangguan permintaan daya berlebih adalah 4,1A, sedangkan konfigurasi CT yaitu 2000/5A sehingga generator akan mengalami *overload* saat arus lebih dari 1640A. Nilai tersebut masih jauh diatas kemampuan generator yaitu +10% dimana arus maksimal yang memungkinkan yaitu 1512,1A (*setting* : 3,78A). *Overload* umumnya terjadi karena salah satu generator dari pembangkit listrik lain mengalami blackout sehingga permintaan daya mengarah pada generator dengan kapasitas yang terbatas. Hal tersebut dapat menyebabkan generator menjadi sangat terbeban. Daya harus diputuskan melalui kontak *trip* VCB secara otomatis.
- Frekuensi *setting* proteksi *underfrekuensi* yang diterapkan pada generator adalah 47,5Hz, sedangkan konfigurasi PT yaitu 6000/100V sehingga

generator akan mengalami *overfrekuensi* saat tegangan lebih rendah dari 5280,64V. Nilai tersebut sesuai standar yang diterapkan oleh IEC dan NEMA. *Underfrekuensi* umumnya terjadi karena penurunan tegangan (*undervoltage*), pembebanan berlebih, dan tekanan input rendah sehingga putaran turbin terlalu rendah (*low spinning*). Penurunan frekuensi dapat mengganggu sinkronisasi generator terhadap grid listrik PLN sehingga daya harus diputuskan melalui kontak *trip* VCB secara otomatis.

- Frekuensi *setting* proteksi *overfrekuensi* yang diterapkan pada generator adalah 55Hz, sedangkan konfigurasi PT yaitu 6000/100V sehingga generator akan mengalami *overfrekuensi* saat tegangan lebih tinggi dari 7200V. Nilai tersebut lebih tinggi dari standar yang diterapkan oleh IEC dan NEMA yang mana seharusnya lonjakan frekuensi maksimal pada 52,5Hz. *Overfrekuensi* umumnya terjadi karena kehilangan pembebanan, island mode, dan tekanan uap terlalu tinggi sehingga putaran turbin terlalu tinggi (*over spinning*). Kenaikan frekuensi dapat mengganggu sinkronisasi generator terhadap grid listrik PLN sehingga daya harus diputuskan melalui kontak *trip* VCB secara otomatis.
- *Setting* pengamanan *reverse power* yang diterapkan pada generator adalah 10W. Tegangan yang balik sama dengan tegangan nominal generator sehingga arus yang mengalir yaitu 40A (arus perbandingan 0,1A). Peristiwa pembalikan daya menyebabkan generator mengalami motoring sehingga berperan sebagai “kipas” dan menyebabkan vibrasi yang tinggi bahkan kerusakan serius pada turbin. Hal tersebut maka harus segera diamankan dengan memutus tenaga dengan melakukan *trip* pada VCB secara otomatis.

5.2 Saran

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

- Untuk PT Bakti Nugraha Yuda *Energy*
 - Secara umum yaitu menyediakan buku panduan dan line diagram lengkap dan utuh karena apabila terpecah dan masih dalam bahasa

mandarin menjadi sulit untuk dipahami

- Secara teknis, berdasarkan beberapa standar nasional (PUIL) maupun internasional (IEC, IEEE, dan NEMA) maka ada beberapa perubahan nilai pada *setting* nominal pengamanan. Diantaranya *overfrekuensi*, *overload*, *overvoltage*, dan *undervoltage* dengan nilai yang telah dijelaskan sebelumnya.
- Untuk Universitas Sebelas Maret Surakarta

Tetap menjalin hubungan baik dengan PT Bakti Nugraha Yuda *Energy* untuk kedepannya agar dapat membuat agenda pendidikan yang bermanfaat. Karena pada dasarnya harus ada kesinambungan antara industri dengan perguruan tinggi. Perguruan tinggi membutuhkan industri sebagai lahan untuk analisa data sedangkan perusahaan membutuhkan perguruan tinggi agar hasil analisa tersebut dapat bermanfaat bagi perusahaan.
- Untuk laporan

Perlunya data pengujian *relay* proteksi hasil pengujian dengan menggunakan alat Megger Sverker 780 sehingga pengujian dapat dilakukan lebih proper.

DAFTAR PUSTAKA

- Wildi, Theodore., (2002), *Electrical Machines, Drives, And Power Systems.*, Pretince Hall, New Jersey.
- Nag, P.K., (2008), *Power Plant Engineering.*, Tata McGraw-Hill, New Delhi.
- Rashid, Muhammad H., (2002), *Power Electronics Handbook.*, Elsevier, Florida.
- Bharat Heavy Electricals Limited., (2007), *Handbook Of Switchgear.*, McGraw-Hill, New Delhi.
- Zhuhai Wanlida Electric., (2011), *User's manual for MGPR-620Hb microcomputer generator backup protection measuring and control device.*, Zhuhai Wanlida Electric Co., Ltd, Wuhan.
- Woodward., (2017), *505 Digital Control for Steam Turbines.*, Woodward, Inc., Colorado.
- Alstom., (1966), *Network Protection & Autimation Guide.*, Alstom SA, Saint-Ouen.
- IEEE., (1993), *Red _Book-Electric Power Distribution for Industrial Plants.*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, New Jersey.
- Badan Standarisasi Nasional., (2000), *Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL).*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Silva, Vinicius Z., (2020), *Alternatives to Control the Frequency Increase in an Electric System with Synchronous and Induction Generators in Parallel Operation Mode.*, ScienceDirect, Minas Gerais.
- Prasetyo, Budi E., (2018), *Analisa Gangguan Reverse Power dan Under Frequency pada Generator 153,75 MVA unit Gas Turbine 3.1 di PLTGU Gresik.*, Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, Malang
- Ngedi, Temi T.D., (2016), *Penggunaan Over Current Relay dalam System Tenaga Listrik.*, Pendidikan Teknik Elektro Universitas Nusa Cendana, Nusa Tenggara Timur.
- Sumanto., (1996), *Mesin Sinkron.*, Andi Yogyakarta, Yogyakarta.

PT PLN JASDIKLAT., (1997), *Generator.*, PT PLN Persero, Jakarta
 Saragi, Irwan Rinaldi., (2017), *Sistem Proteksi Pembangkit, Sistem Proteksi Generator, dan Sistem Proteksi Trafo Pembangkit.*, Teknik Elektro Universitas Negeri Medan, Medan.

Repository Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

<http://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789/8485/BAB%20II.pdf?i=5&isAllowed=y>. Diakses pada tanggal 8 Februari 2020.

Repository Universitas Guna Dharma.

<http://veronica.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/54039/Pertemuan+6.pdf>. Diakses pada tanggal 8 Februari 2020.

Bakti Nugraha Yuda *Energy*.

<https://www.baktienergy.co.id>. Diakses pada tanggal 10 Februari 2020.

QWater Indonesia.

<http://www.qwaterindonesia.com/air-berkualitas/teknologi-reverse-osmosis-ro>. Diakses pada tanggal 11 Februari 2020.

Forum Diskusi Teknik Elektro pada Tapataalk.

<https://www.tapataalk.com/groups/dunialistrikfr/kenapa-drop-tegangan-10-persen-t360.html>. Diakses pada tanggal 11 Februari 2020.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Permohonan Pembimbing KP



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

Nomor : — /UN27.08.06.7/PP/2019 6 September 2019
Hal : Permohonan Pembimbing Kerja Praktek

Yth. Irwan Iftadi, S.T., M.Eng.

Dengan hormat,

Mengharap kesediaan Bapak menjadi Pembimbing Kerja Praktek mahasiswa sebagai berikut.


Nama : SONY ADYATAMA
NIM : 10717039

Atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Koordinator Kerja Praktek

Jaka Sulistya Budi
NIP. 196710191999031001

LAMPIRAN 2. Surat Permohonan KP

	<p>KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI 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</p>
---	---

Nomor : 105 /UN27.08.06.7/PP/2019 3 October 2019
 Lampiran : Proposal KP
 Hal : Permohonan Kerja Praktek

**Yth. Manager HRD and GA
 PT. Bakti Nugraha Yuda Energy
 Jalan Desa Terusan, Tanjung Kemala, Batu
 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:

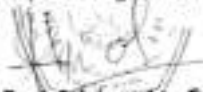
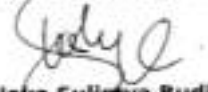
Nama : **SONY ADYATAMA**
 N I M : **10717039**

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.

<p>Mengetahui, Kepala Program Studi</p>  <p>Feri Adriyanto, S.Si., M.Si., Ph.D. NIP 196801161999031001</p>	<p>Koordinator Kerja Praktek</p>  <p>Jaka Sulistya Budi NIP-196710191999031001</p>
--	---

TE-KP-004

LAMPIRAN 3. Surat Balasan Perusahaan



BAKTI ENERGY

PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY

Head Office :
 Jl. Raya Kelapa Hibrida PF-23/12 Kelapa Gading Permai Jakarta 14250
 Phone : (+6221) 45865675 – 45865676 Fax (+6221) 45865678 E-mail : info@baktienergy.com
Site Office :
 PLTU Baturaja, Desa Tanjung Kemala – BATURAJA, Sumatera Selatan
 Phone : (+62735) 7044644 E-mail : yuda.baktienergy@baktienergy.com

Nomor : 142/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	SONY ADYATAMA	10717039	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



PT. Bakti Nugraha Yuda Energy

Muji Widodo, SH
 HRD Manager

LAMPIRAN 4. Lembar Tugas KP

	<p>KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI UNIVERSITAS SEBELAS MARET FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO Jl. Ir. Sutami 36 A Kentingan Surakarta telp. 0271 647069 web: http://elektro.ft.uns.ac.id</p>
LEMBAR TUGAS KERJA PRAKTEK	
<p>Nama Mahasiswa N I M Dosen Pembimbing NIP Tempat Kerja Praktek (KP) Alamat Tempat KP Tanggal Kerja Praktek (KP)</p>	<p>: SONY ADYATAMA : 10717039 : Irwan Iftadi, S.T., M.Eng. : 197004041996031002 : PT. Bakti Nugraha Yuda Energy : Jalan Desa Terusan, Tanjung : Kemala, Batu Raja Oku, Sumatera : Selatan : s.d.</p>
<p>Diskripsi Tugas Mahasiswa</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; min-height: 150px;"> <p>- Ikuti semua program & lingkungan perusahaan</p> <p>- Selain tugas tertentu di perusahaan perhatikan dan hupikan juga proses bisnis perusahaan / departemen tempat bertugas</p> </div>	
<p>Surakarta, <u>9/ Januari/20</u> Dosen Pembimbing Kerja Praktek  Irwan Iftadi, S.T., M.Eng. NIP. 197004041996031002</p>	
<p>TE-KP-005</p>	

LAMPIRAN 5. Surat Tugas KP

	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 : 152 / UN27-08 / KE / 2020 Hal : Penugasan Kerja Praktek	10 January 2020
--	-----------------

Yth. Manager HRD and GA
PT. Bakti Nugraha Yuda Energy
Jalan Desa Terusan, Tanjung
Kemala, Batu Raja Oku,
Sumatera Selatan

Dengan Hormat,

Berdasarkan surat No, **142/SPM/HRD/SITE/XII.19** tanggal **27-12-2019** mengenai jawaban permohonan kerja praktek, bersama ini kami tugaskan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro sebagai berikut untuk melaksanakan kerja praktek / magang di perusahaan Bapak / Ibu:

Nama	:	SONY ADYATAMA
N I M	:	10717039

Terhitung,

mulai tanggal	:	20-01-2020
selesai tanggal	:	20-02-2020

Demikian surat penugasan ini untuk dilaksanakan sebagaimana mestinya.


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

LAMPIRAN 6. Sertifikat KP

PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY
PLTU BATURAJA 2X 10 MW
 Head Office : Jl. Raya Ballega Wilanda IV-23/37 Klaten Gading Permai Jakarta 14250, Phone : 021-45965679/45965678
 Site Office : PTU Baturaja, Desa Tanjung Kemuning - Baturaja - ORO - Sumatera Selatan, Phone : 0713-7455021/7455023

SERTIFIKAT
 NO. 027/MG/BNYE/SITE/II.20

Diberikan Kepada :


Nama : SONY ADYATAMA
 NIM : 10717039
 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
 Manager HRD & GA
 Muji Widodo, SH

LAMPIRAN 7. Lembar Nilai KP dari Elektro



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

LEMBAR PENILAIAN KERJA PRAKTEK

Nama : **SONY ADYATAMA**
 NIM : **10717039**

A. Nilai Perusahaan (bobot 60%)


No	Kriteria	Nilai Angka	Nilai Huruf
Sikap Kerja :			
1.	Kerajinan dan Kedisiplinan		
2.	Kerjasama		
3.	Inisiatif		
Hasil Kerja :			
4.	Ketrampilan		
5.	Kerapian		
	Nilai Rata-rata	95	A

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

1.	Tata tulis, Penyampaian Makalah, Penguasaan Materi, Kemampuan Menjawab Pertanyaan	85	A
----	---	----	---

Nilai Akhir
91 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 : 
 Irwan Iftadi, S.T., M.Eng.
 NIP. 197004041996031002

Pembimbing Lapangan : _____

TE-KP-006

LAMPIRAN 8. Lembar Nilai KP dari Perusahaan



PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY
 PLTU BATURAJA 2 X 10 MW
 Site Office : PLTU Baturaja, Desa Tanjung Kemala - BATURAJA, Sumatera Selatan
 Phone : (+62735) 7044648 E-mail : pltu-baturaja@baktienergy.com


PENILAIAN PESERTA KERJA PRAKTEK / MAGANG

Nama Mahasiswa : SONY ADYATAMA
 Nama Instansi Pendidikan : UNIVERSITAS SEBELAS MARET
 NIM : 10717039
 Program Studi : TEKNIK ELEKTO

No	Unsur yang Dinilai	Nilai		
		Angka	Huruf	Ket
I	Keprihiditan / Etos Kerja			
	1. Kedisiplinan	98	A	
	2. Motivasi	98	A	
	3. Inisiatif	95	A	
	4. Tanggung Jawab	95	A	
II	Kemampuan Penerapan Kerja			
	1. Keahlian Bidang Ketenagalistrikan	89	B	
	2. Pengetahuan dan Pemahaman Bidang	92	A	
	3. Penerapan Kerja Praktek Lapangan	94	A	
	4. Penerapan Hasil Magang Kerja	96	A	
	Jumlah	757	A	
	Nilai Rata-rata	95		

Keterangan Penilaian :

1. Sangat Baik [A] : 90 - 100 (Mampu Mengaplikasikan Ilmu dan Menrasfikan)
2. Baik [B] : 76 - 89 (Mampu Mengaplikasikan Ilmu)
3. Cukup [C] : 66 - 75 (Cukup Mampu Mengaplikasikan)
4. Kurang [D] : 0 - 65 (Kurang Memperhatikan pembelajaran, 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 WIBAWA
 Pembimbing

LAMPIRAN 9. Lembar Konsultasi KP

LEMBAR KONSULTASI KERJA PRAKTEK

Nama Mahasiswa : SONY ADYATAMA
 N I M : I0717039
 Dosen Pembimbing : Irwan Iftadi, S.T.,
 M.Eng./197004041996031002
 Pembimbing Lapangan :
 Tempat Kerja Praktek : PT. Bakti Nugraha Yuda Energy
 (KP)
 Alamat Tempat KP : Jalan Desa Terusan, Tanjung
 Kemala, Batu Raja Oku, Sumatera
 Selatan
 Tanggal Kerja Praktek : s.d.
 (KP)


No	Tanggal	Uraian Kegiatan	Paraf Pemb.
1	13/5/19	Konsul awal	h
2	23/5/19	Konsul proposal & acc	h
3	3/6/19	Revisi Proposal	h
4	26/6/19	Laporan kembalikan	
		rencana pelaksanaan	h
		komentir laporan	h
		Acc Laporan	h

Catatan :

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

TE-KP-002

LAMPIRAN 10. Undangan Seminar KP

	<p>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</p>
---	--

Nomor :	UN27.08.06.7/PP/2020	25 February 2020
Lampiran :	Laporan KP	
Hal :	Seminar Kerja Praktek	

Kepada Yth.
Irwan Iftadi, S.T., M.Eng.

Dengan hormat,
Kami mengharap kehadiran Bapak dalam Seminar Kerja Praktek atas nama mahasiswa,

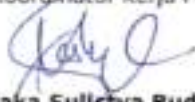
Nama Mahasiswa	: SONY ADYATAMA
N I M	: 10717039
Judul Laporan KP	: ANALISA SISTEM PROTEKSI TURBO GENERATOR 12MW DENGAN WANLIDA MGPR 620Hb (BACKUP PROTECTION) PLTU BATURAJA PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY
Pembimbing	: Irwan Iftadi, S.T., M.Eng.

Seminar Kerja Praktek akan diselenggarakan pada :

Hari, tanggal	: Jumat, 28 - 02 - 2020
Tempat	: Ruang Kaprodi
Waktu	: 09:00:00

Demikian undangan ini kami sampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Koordinator Kerja Praktek



Jaka Sulistya Budi
NIP-196710191999031001

TE-KP-009

LAMPIRAN 11. Daftar Hadir Seminar KP



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>

DAFTAR HADIR SEMINAR KERJA PRAKTEK

Nama : **SONY ADYATAMA / 10717039**
Judul Laporan KP : **ANALISA SISTEM PROTEKSI TURBO GENERATOR 12MW DENGAN WANLIDA MGPR 620HB (BACKUP PROTECTION) PLTU BATURAJA PT. BAKTI NUGRAHA YUDA ENERGY**
Tanggal KP : **2020-01-20 s.d. 2020-02-20**
Tempat KP : **PT. Bakti Nugraha Yuda Energy**
Pembimbing : **Irwan Iftadi, S.T., M.Eng./ 197004041996031002**

No	Nama	NIP/NIM	Tanda Tangan
1.	Attar Al Mu fathal R	10717007	
2.	Atthaya Cantia Putri	10717006	
2.	Ayia Wici Y	10717008	
4.	Deni suryanni	10718007	
5.	Harandya MS	10718013	
6.	Nada Syadza Azizah	10718025	
7.	Amma Larasati T	10718005	
8.	Afrian Aji P	10718003	
9.	Nut Utin Galang GA	10718027	
10.	M. Waktul Wardani	10717033	
11.	Nanda Haridz. R	10717035	
12.	M. Didin Komaludin	10718022	
13.	Slash Arthur Eli sumanang	10718034	

TEKNOLOGI

Lanjutan LAMPIRAN 11. Daftar Hadir Seminar KP

14.	Muhammad Ghoz Ali Hafid	10718023	<i>[Signature]</i>
15.	Rizal Muzdiddi Isyad	10718031	<i>[Signature]</i>
16.	Firmansyah Abadi	10718010	<i>[Signature]</i>
17.	Mohammad Razi Rochman	10718020	<i>[Signature]</i>
18.	Ahmad Azam Hafidz	10718002	<i>[Signature]</i>
19.			
20.			
21.			
22.			
23.			
24.			
25.			
26.			
27.			
28.			
29.			
30.			<i>[Signature]</i>