



**MODIFIKASI TERMINASI DAN EMERGENCY
MAINTENANCE SCANNER COOLING AIR FAN PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU)
PANGKALAN SUSU**

**Disusun Dan Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Akhir Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik dari Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas
Pembangunan Panca Budi Medan**

SKRIPSI

OLEH

NAMA : BUDI BAYU ANGGARA

N.P.M : 1924210058

PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO

KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
MEDAN**

2021

PENGESAHAN SKRIPSI

JUDUL : MODIFIKASI TERMINASI DAN EMERGENCY MAINTENANCE SCANNER
COOLING AIR FAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU)
PANGKALAN SUSU

NAMA : BUDI BAYU ANGGARA
N.P.M : 1924210058
FAKULTAS : SAINS & TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI : Teknik Elektro
TANGGAL KELULUSAN : 17 November 2021

DIKETAHUI

DEKAN



Hamdani, ST., MT.

KETUA PROGRAM STUDI



Siti Anisah, S.T., M.T

DISETUJUI
KOMISI PEMBIMBING

PEMBIMBING I



Solly Aryza, ST.,M.Eng

PEMBIMBING II



Pristisal Wibowo, ST., MT

Hal : Permohonan Meja Hijau

Medan, 04 November 2021
 Kepada Yth : Bapak/Ibu Dekan
 Fakultas SAINS & TEKNOLOGI
 UNPAB Medan
 Di -
 Tempat

Dengan hormat, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : BUDI BAYU ANGGARA
 Tempat/Tgl. Lahir : JAKARTA / 15 Januari 1995
 Nama Orang Tua : SUANDI
 N. P. M : 1924210058
 Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
 Program Studi : Teknik Elektro
 No. HP : 081379319323
 Alamat : Dusun IV Desa Sei Siur, Kec. Pangkalan Susu, Kab. Langkat

Datang bermohon kepada Bapak/Ibu untuk dapat diterima mengikuti Ujian Meja Hijau dengan judul **MODIFIKASI TERMINASI DAN EMERGENCY MAINTENANCE SCANNER COOLING AIR FAN PLTU PANGKALAN SUSU**, Selanjutnya saya menyatakan :

1. Melampirkan KKM yang telah disahkan oleh Ka. Prodi dan Dekan
2. Tidak akan menuntun ujian perbaikan nilai mata kuliah untuk perbaikan indek prestasi (IP), dan mohon diterbitkan ijazahnya setelah lulus ujian meja hijau.
3. Telah tercap keterangan bebas pustaka
4. Terlampir surat keterangan bebas laboratorium
5. Terlampir pas photo untuk ijazah ukuran 4x6 = 5 lembar dan 3x4 = 5 lembar Hitam Putih
6. Terlampir foto copy STTB SLTA dilegalisir 1 (satu) lembar dan bagi mahasiswa yang lanjutan D3 ke S1 lampirkan ijazah dan transkripnya sebanyak 1 lembar.
7. Terlampir pelunasan kwintasi pembayaran uang kuliah berjalan dan wisuda sebanyak 1 lembar
8. Skripsi sudah dijilid lux 2 exemplar (1 untuk perpustakaan, 1 untuk mahasiswa) dan jilid kertas jeruk 5 exemplar untuk penguji (bentuk dan warna penjiilidan diserahkan berdasarkan ketentuan fakultas yang berlaku) dan lembar persetujuan sudah di tandatangani dosen pembimbing, prodi dan dekan
9. Soft Copy Skripsi disimpan di CD sebanyak 2 disc (Sesuai dengan Judul Skripsinya)
10. Terlampir surat keterangan BKKOL (pada saat pengambilan ijazah)
11. Setelah menyelesaikan persyaratan point-point diatas berkas di masukan kedalam MAP
12. Bersedia melunaskan biaya-biaya uang dibebankan untuk memproses pelaksanaan ujian dimaksud, dengan perincian sbb :

1. [102] Ujian Meja Hijau	: Rp.	1,000,000
2. [170] Administrasi Wisuda	: Rp.	1,750,000
Total Biaya	: Rp.	2,750,000

Ukuran Toga : **M**

Diketahui/Disetujui oleh :



Hamdani, ST., MT.
 Dekan Fakultas SAINS & TEKNOLOGI

Hormat saya



BUDI BAYU ANGGARA
 1924210058

Catatan :

- 1. Surat permohonan ini sah dan berlaku bila ;
 - a. Telah dicap Bukti Pelunasan dari UPT Perpustakaan UNPAB Medan.
 - b. Melampirkan Bukti Pembayaran Uang Kuliah aktif semester berjalan
- 2. Dibuat Rangkap 3 (tiga), untuk - Fakultas - untuk BPAA (asli) - Mhs.ybs.

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : BUDI BAYU ANGGARA
NPM : 1924210058
PROGRAM STUDY : TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK
JUDUL : MODIFIKASI TERMINASI DAN EMERGENCY
MAINTENANCE SCANNER COOLING AIR FAN
PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP
(PLTU) PANGKALAN SUSU

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini merupakan hasil karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan hasil karya orang lain (plagiat).
2. Memberikan izin hak bebas Royal Non-Eksklusif kepada UNPAB untuk menyimpan, mengalih-media/formatkan, mengelola, mendistribusikan, dan mempublikasikan karya skripsinya melalui internet atau media lain bagi kepentingan akademis.

Pernyataan ini saya perbuat dengan penuh tanggungjawab dan saya bersedia menerima konsekuensi apapun sesuai dengan aturan yang berlaku apabila dikemudian hari diketahui bahwa pernyataan ini tidak benar.

Pangkalan Susu, 4 November 2021



(Budi Bayu Anggara)
Npm. 1924210058

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : BUDI BAYU ANGGARA
NPM : 1924210058
PROGRAM STUDY : TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK
JUDUL : MODIFIKASI TERMINASI DAN EMERGENCY
MAINTENANCE SCANNER COOLING AIR FAN
PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP
(PLTU) PANGKALAN SUSU

Dengan ini Saya menyatakan dengan sebenar benarnya bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah diteliti atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Pangkalan Susu, 4 November 2021

Mahasiswa



Budi Bayu Anggara

1924210058



UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI FAKULTAS SAINS & TEKNOLOGI

Jl. Jend. Gatot Subroto Km 4,5 Medan Fax. 061-8458077 PO.BOX : 1099 MEDAN

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI ARSITEKTUR	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI SISTEM KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI PETERNAKAN	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI	(TERAKREDITASI)

PERMOHONAN JUDUL TESIS / SKRIPSI / TUGAS AKHIR*

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : BUDI BAYU ANGGARA
 Tempat/Tgl. Lahir : Jakarta / 15 Januari 1995
 Nomor Pokok Mahasiswa : 1924210058
 Program Studi : Teknik Elektro
 Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
 Jumlah Kredit yang telah dicapai : 143 SKS, IPK 3.68
 Nomor Hp : 081379319323
 Dengan ini mengajukan judul sesuai bidang ilmu sebagai berikut :

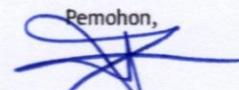
No.	Judul
1.	MODIFIKASI TERMINASI DAN EMERGENCY MAINTENANCE SCANNER COOLING AIR FAN PLTU PANGKALAN SUSU

Catatan : Diisi Oleh Dosen Jika Ada Perubahan Judul

*Coret Yang Tidak Perlu

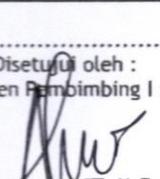

 (Cahyo Pramono, S.E., M.M.)
 Rektor I

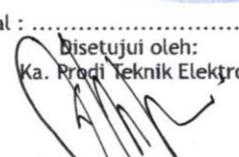
Medan, 10 November 2021

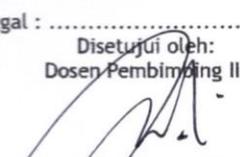

 (Budi Bayu Anggara)
 Pemohon,

Tanggal :
 Disetujui oleh :
 Dekan

 (Harudani, ST., MT.)

Tanggal :
 Disetujui oleh :
 Dosen Pembimbing I :

 (Solly Surya, ST., M.Eng)

Tanggal :
 Disetujui oleh :
 Ka. Prodi Teknik Elektro

 (Siti Anisah, S.T., M.T)

Tanggal :
 Disetujui oleh :
 Dosen Pembimbing II :

 (Pristisal Wibowo, ST., MT)

No. Dokumen: FM-UPBM-18-02	Revisi: 0	Tgl. Eff: 22 Oktober 2018
----------------------------	-----------	---------------------------

**MODIFIKASI TERMINASI DAN EMERGENCY
MAINTENANCE SCANNER COOLING AIR FAN PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU)
PANGKALAN SUSU**

Budi Bayu Anggara*
Solly Aryza**
Pristisal Wibowo**
buubayy@gmail.com
Teknik Elektro

ABSTRAK

Salah satu pembangkit listrik yang ada di pulau sumatera yaitu pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di Pangkalan Susu dengan daya *netto* 2x200 *Megawatt*. Pembangkit ini secara terus menerus (kontinyu) menyuplai energi ke dalam transmisi sumatera utara dan sekitarnya secara optimal. Seiring berjalannya waktu, terjadi beberapa kasus yang menyebabkan pasokan listrik terhambat, salah satunya yaitu terjadinya trip yang disebabkan oleh peralatan *scanner cooling air fan*. Dalam skripsi ini, penulis menganalisis terminasi *scanner cooling air fan* sehingga dapat menambah kehandalan peralatan. Metode penelitian yang digunakan yaitu dengan *interview* operator, teknisi dan pengecekan langsung kondisi di *local* (lapangan). Hasil dari analisis ini yaitu menentukan solusi berupa emergency terminasi yang dapat membantu perawatan dan *change over* peralatan berjalan dengan baik dan aman.

Kata kunci: *Scanner Cooling Air Fan, Terminasi Emergency, Flame Scanner Lose Cooling Air, Trip dan Change Over.*

* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro : buubayy@gmail.com

** Dosen Program Studi Teknik Elektro

**MODIFIKASI TERMINASI DAN EMERGENCY
MAINTENANCE SCANNER COOLING AIR FAN PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU)
PANGKALAN SUSU**

Budi Bayu Anggara*
Solly Aryza**
Pristisal Wibowo**
buubayy@gmail.com
Teknik Elektro

ABSTRACK

One of the power plants on the island of Sumatra is the steam power plant (PLTU) in Pangkalan Susu with a net power of 2x200 Megawatts. This plant continuously (continuously) supplies energy to the transmission of North Sumatra and its surroundings optimally. Over time, there were several cases that caused the electricity supply to be hampered, one of which was the occurrence of trips caused by scanner cooling air fan equipment. In this paper, the author analyzes the termination of the scanner cooling air fan so that it can increase the reliability of the equipment. The research method used is by interviewing operators, technicians and directly checking conditions in the local (field) area. The result of this analysis is to determine a solution in the form of emergency termination that can help maintenance and change over equipment run properly and safely.

Key words: *Scanner Cooling Air Fan, Terminasi Emergency, Flame Scanner Lose Cooling Air, Trip dan Change Over.*

* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro : buubayy@gmail.com

** Dosen Program Studi Teknik Elektro

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh. Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karena telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini di Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Panca Budi. Skripsi ini disusun dengan judul "**Modifikasi Terminasi dan Emergency Maintenance Scanner Cooling Air Fan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Pangkalan Susu**" sebagai salah satu persyaratan untuk memenuhi gelar sarjana pada Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Panca Budi.

Dalam penyelesaian skripsi ini, penulis mendapat banyak tantangan, dan hambatan akan tetapi dengan bantuan dari berbagai pihak hal itu bisa teratasi. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya dan setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak Dr. H. M. Isa Indrawan, S.E, M.M, selaku Rektor Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
2. Bapak Hamdani, S.T.,M.T selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
3. Ibu Siti Anisah, S.T.,M.T selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
4. Bapak Solly Aryza, S.T.,M.Eng selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan pengetahuan dalam menyelesaikan skripsi.
5. Bapak Pristisal Wibowo ST.,MT selaku dosen pembimbing kedua yang sabar dalam memberi arahan dalam menyelesaikan skripsi.
6. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
7. Bapak dan Mamak serta Keluarga tercinta dan tersayang yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis dalam proses pelaksanaan dan penyusunan Skripsi.
8. Rekan-rekan seperjuangan yang membantu penulis dalam penyusunan Skripsi ini khususnya.
9. Serta pihak-pihak yang tidak dapat dituliskan satu-persatu namanya oleh penulis, yang telah membantu dan mendukung penulis secara langsung dan tidak langsung hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dalam segala hal sehingga mungkin masih banyak kekurangan ataupun kelemahan dalam penyusunannya.

Karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk penyempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Medan, November 2021

Budi Bayu Anggara
1924210058

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR RUMUS	x

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metodologi Pengumpulan Data	3
1.7 Sistematika Penulisan	4

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap	7
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Uap Pangkalan Susu.....	11
2.4 Bagian-Bagian Pembangkit Listrik Tenaga Uap	13
2.5 Boiler dan Alat Bantu	18
2.6 <i>Scanner Cooling Air Fan</i>	29
2.7 <i>Flame Scanner</i>	30
2.8 Gerbang Logika	34
2.9 Keandalan (<i>Realibility</i>).....	37
2.10 <i>Derating</i>	38
2.11 <i>Trip</i>	39

2.12 <i>Blackout</i>	39
2.13 Tang Ampere (<i>Clamp Meter</i>)	41
2.14 <i>Infrared Thermography</i>	43
2.15 <i>Vibration Meter</i>	48
BAB 3 METODE PENELITIAN	
3.1 Diagram Alur Penelitian	53
3.2 Spesifikasi Peralatan	57
3.3 Proteksi <i>Main Fuel Trip</i> (MFT)	60
3.4 <i>Distributed Control System</i>	61
BAB 4 HASIL PENELITIAN	
4.1 Analisa Perancangan <i>System terminasi dan emergency maintenance scanner cooling air fan</i>	65
4.2 Sistem Kerja <i>Terminasi Emergency</i> ..	72
4.3 Performa <i>Scanner Cooling air Fan</i>	74
4.4 Manfaat <i>Finansial</i>	76
4.5 Manfaat <i>Non Finansial</i>	77
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	78
5.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	6
Tabel 3.1 Kajian Alternatif Solusi.....	56
Tabel 3.2 Spesifikasi Generator di Pembangkit Tenaga Uap Pangkalan Susu	59
Tabel 3.3 Spesifikasi <i>Scanner Cooling Air Fan</i> di PLTU Pangkalan Susu	60
Tabel 4.1 Kajian Alternatif Solusi	67
Tabel 4.2 Spesifikasi SCAF	69
Tabel 4.3 Material yang digunakan	70
Tabel 4.4 Pengujian Change Over SCAF A ke SCAF B	71
Tabel 4.5 Pengujian Change Over SCAF B ke SCAF A	71
Tabel 4.6 Data <i>monitoring Terminasi emergency SCAF</i>	74
Tabel 4.7 Proses Pengoperasian <i>Change Over</i> Peralatan dan Pemeliharaan	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Konversi Energi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap	8
Gambar 2.2	Siklus Fluida Sederhana Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap	9
Gambar 2.3	Diagram T-S Siklus Rankine	10
Gambar 2.4	Letak Pembangkit Listrik Tenaga Uap Pangkalan Susu Pada Peta	11
Gambar 2.5	Proyek PLTU Pangkalan Susu	13
Gambar 2.6	Boiler	14
Gambar 2.7	Turbin Uap	14
Gambar 2.8	Kondensor	15
Gambar 2.9	Generator Listrik	15
Gambar 2.10	Boiler Pipa Air	19
Gambar 2.11	<i>Pulverized Coal</i> (PC) Boiler Batu bara	21
Gambar 2.12	<i>Economiser Fineed Tubes</i> (Tipe Pipa Bersirip)	22
Gambar 2.13	Siklus Air dan Uap di Boiler	23
Gambar 2.14a	Prinsip Sirkulasi Alami	24
Gambar 2.14b	Prinsip Sirkulasi Paksa	24
Gambar 2.15	Pipa Riser dan Dinding Ruang Bakar Boiler	25
Gambar 2.16	<i>Drum Boiler</i>	26
Gambar 2.17	Konstruksi Drum Boiler	26
Gambar 2.18	Siklus Uap <i>Superheat</i>	27
Gambar 2.19	Siklus Air-Uap Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dengan <i>Reheater</i> ..	28
Gambar 2.20	<i>Scanner Cooling Air Fan</i>	29
Gambar 2.21	<i>Flame Scanner</i>	30
Gambar 2.22	Spektrum Warna Pada <i>Flame Scanner</i>	30
Gambar 2.23	Modul <i>Card VTB 5041</i>	31
Gambar 2.24	<i>Connection diagram LM258</i>	31
Gambar 2.25	<i>Reverse Engineering Flame Detector Modul</i>	33
Gambar 2.26	Lambang Gerbang Logika	36
Gambar 2.27	Tabel Kebeneran	36

Gambar 2.28 Perbedaan <i>Multimeter</i> dan <i>Clamp Meter</i>	42
Gambar 2.29 Cara Kerja <i>Infrared themography</i>	46
Gambar 2.30 Hasil <i>Infrared themography</i>	47
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Metode Penelitian	53
Gambar 3.2 <i>Vibrasi</i> dan <i>Temperature SCAF</i>	55
Gambar 3.3 Tampilan <i>Main Fuel Trip</i> (MFT) Ketika Normal Operasi	63
Gambar 3.4 Tampilan <i>Scanner Cooling Air Fan</i> Ketika Normal Operasi	63
Gambar 3.5 Tampilan <i>Main Fuel Trip</i> (MFT) pada <i>Distribute Control System</i> (DCS) Ketika Terjadi <i>Trip</i>	64
Gambar 4.1 <i>Vibrasi</i> dan <i>Temperature SCAF</i>	65
Gambar 4.2 Analisa akar permasalahan <i>Scanner Colling Air Fan</i>	66
Gambar 4.3 Perancangan diagram <i>Terminasi Emergency SCAF</i>	68
Gambar 4.4 Implementasi <i>Terminasi Emergency SCAF</i>	69
Gambar 4.5 Temperatur Sebelum dan Setelah	71
Gambar 4.6 Signal diagram <i>Flame Scanner Lose Cooling Air</i>	72
Gambar 4.7 Hasil <i>Monitoring</i> Peralatan	75

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1 <i>Losses</i>	38
Rumus 2.2 Omzet listrik yang hilang	38
Rumus 2.3 Manfaat finansial	38

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik tenaga uap Pangkalan Susu merupakan salah satu pembangkit yang termasuk dalam daftar jasa *Operation and Maintenance* (O&M) PT. Indonesia Power yaitu Pangkalan Susu *Operation and Maintenance Service Unit* (OMU) 1 dan 2. Pembangkit ini mempunyai peran penting dalam memasok energi listrik di Sumatera Bagian Utara (Sumbagut) dan mempunyai peran penting dalam pengaturan tegangan di area Aceh. Oleh karena itu, sangat perlu dijaga kehandalan pembangkit listrik ini agar dapat melayani pelanggan yaitu PT. PLN (Persero) UPB SBU.

Pembangkit listrik tenaga uap Pangkalan Susu Unit 1 dan 2 masing-masing memiliki 2 unit SCAF (*Scanner Cooling Air Fan*). *Scanner Cooling Air Fan* berfungsi untuk melindungi peralatan *flame detector* di ruang bakar boiler supaya terhindar dari kerusakan akibat temperature tinggi pada boiler. *Scanner Cooling Air Fan* harus beroperasi dalam keadaan baik sehingga apabila terjadi gejala kerusakan, hal ini harus dapat ditangani dengan *schedule* yang tepat tanpa harus membuat unit *stop* beroperasi. Penambahan *power supply* tambahan ini berfungsi untukantisipasi melakukan *emergency maintenance* yang *safety* dan bisa juga untuk *change over* pada *Scanner Cooling Air Fan*.

Modifikasi ini dilakukan agar bila terjadi gejala kerusakan pada *Scanner Cooling Air Fan*, bisa ditangani dengan cepat dan dapat di eksekusi saat itu juga sehingga dari

sisi operasi tidak ada kekhawatiran unit mengalami *trip* akibat *Scanner Cooling Air Fan* yang *fail*. Untuk meningkatkan keandalan peralatan *Scanner Cooling Air Fan* tersebut, maka dibuatlah sebuah modifikasi terminasi *Scanner Cooling Air Fan*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, penulis dapat merumuskan masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana menganalisa *modifikasi system terminasi dan emergency maintenance scanner cooling air fan yang safety?*
- b. Bagaimana sistem kerja modifikasi *system terminasi dan emergency maintenance scanner cooling air fan* ini pada PLTU Pangkalan susu?
- c. Bagaimana performa *scanner cooling air fan* PLTU Pangkalan susu setelah modifikasi *system terminasi dan emergency maintenance?*

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam skripsi ini adalah :

- a. Tidak membahas PLTU secara keseluruhan sistem.
- b. Hanya menjelaskan system scanner cooling air fan pangkalan susu ditinjau dari *sestem terminasi dan emergency maintenance*.
- c. Hanya menjelaskan perancangan *emergency maintenance scanner cooling air fan* PLTU Pangkalan susu.
- d. Hanya Membahas perhitungan kerugian nilai jual produksi yang hilang jika terjadi tidak aktifnya peralatan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam pembuatan skripsi ini antara lain :

- a. Untuk mengetahui analisa modifikasi *system* terminasi dan *emergency maintenance scanner cooling air fan* yang *safety*.
- b. Untuk mengetahui sistem kerja modifikasi *system* terminasi dan *emergency scanner cooling air fan* pada PLTU Pangkalan susu.
- c. Untuk mengetahui performa *scanner cooling air fan* PLTU Pangkalan susu setelah modifikasi *system* terminasi dan *emergency maintenance*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat dari Skripsi ini adalah :

- a. Untuk Menjaga kehandalan *system scanner cooling air fan* Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Pangkalan Susu.
- b. Untuk keamanan *personil* pada saat melakukan pemeliharaan dan pengoperasian *Scanner cooling air fan*.
- c. Untuk Menambah wawasan dan ilmu pembaca pada penelitian ini.

1.6 Metodologi Pengumpulan Data

Dalam penelitian dan pembuatan skripsi ini, dilakukan metode-metode pengerjaan sebagai berikut :

- a. Secara literatur, yaitu mengadakan ke perpustakaan yang meliputi :
 - a) Mencari dari buku – buku maupun informasi yang mendukung ataupun yang ada hubungannya dengan topik yang dibahas.

- b) Mempelajari buku – buku yang menyangkut teori – teori serta cara kerja sistem yang digunakan.
- c) Mencari data – data yang berhubungan dengan penelitian di internet.
- b. Secara wawancara, yaitu dengan berdiskusi dengan dosen pembimbing dan rekan mahasiswa, ataupun arahan dari orang – orang yang mengetahui tentang pembuatan skripsi ini.
- c. Secara observasi, yaitu metode pengumpulan data melalui pengamatan langsung atau peninjauan secara cermat dan langsung di lapangan.

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun yang akan menjadi sistematika penulisan yang akan digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi latar belakang masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat, metodologi pengumpulan data dan sistematika penulisan.

BAB 2. DASAR TEORI

Pada bab ini dibahas mengenai dasar teori serta penjelasan mengenai peralatan yang ada dalam sistem yang diangkat dalam penelitian. Literatur – literatur yang mendukung akan disertakan untuk pemahaman yang baik.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Dalam bab ini membahas tentang metode pengumpulan data, metode analisis data untuk mencari hasil dari penelitian.

BAB 4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis data dan hasil penelitian yang sudah dilakukan.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dibahas tentang inti kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, serta saran yang datang setelah pembahasan yang dilakukan skripsi ini.

DAFTAR PUSTAKA

Pada Daftar Pustaka akan di cantumkan sumber-sumber atau rujukan penulis dalam melakukan laporan penelitian skripsi ini.

LAMPIRAN

Pada bagian ini akan di lampirkan dokumen-dokumen tambahan yang menunjang data-data penelitian skripsi ini.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian ini penulis mendapatkan beberapa referensi penelitian terdahulu, berikut penelitian terdahulu yaitu:

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul Penelitian	Keterangan
1	Mochamad Ravi Hidayat (2018)	Root cause failure analysis unit 1 trip flame scanner lose cooling air PLTU Pangkalan Susu	RCFA ini membahas tentang kronologi kejadian, data operasional, failure mode effect analysis (FMEA), kemungkinan penyebab dan analisa pembahasan
2	Lukman Hakim Amarullah (2019)	Analisis pengaruh scanner cooling air fan terhadap terjadinya trip pada pembangkit listrik tenaga uap (pltu) unit 1 Pangkalan susu	Analisis untuk menentukan titik permasalahan dan rekomendasi solusi permasalahan yaitu penggantian terminal power, pengencangan terminal, dan melakukan pengecekan berkala

Sumber: Penulis, 2021

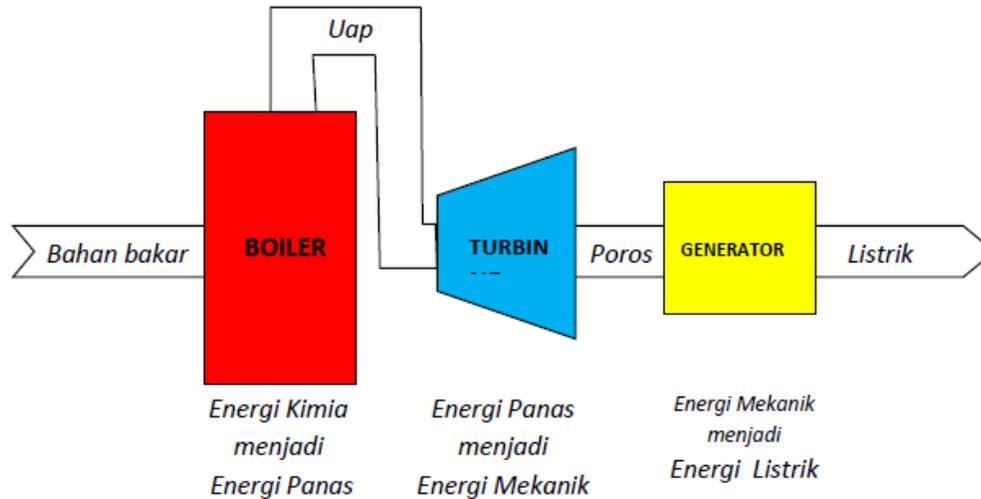
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit listrik tenaga uap adalah pembangkit listrik yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang seporos dengan turbin dengan digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas/kering. Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan berbagai macam bahan bakar terutama batu bara dan minyak serta *main fuel oil* (MFO) untuk *start up* awal.

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah jenis pembangkit listrik tenaga termal yang lebih banyak digunakan, karena memiliki efisiensi tinggi sehingga dapat menghasilkan energi listrik yang ekonomis. Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) merupakan mesin konversi energi yang mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik.

Proses konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu :

1. Pertama, energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap kering bertekanan dan temperatur tinggi.
2. Kedua, energi panas atau uap kemudian diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
3. Ketiga, energi mekanik dalam bentuk kemudian diubah menjadi energi listrik.



Gambar 2.1 Proses Konversi Energi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap
 Sumber: PLN Corporate University, 2018

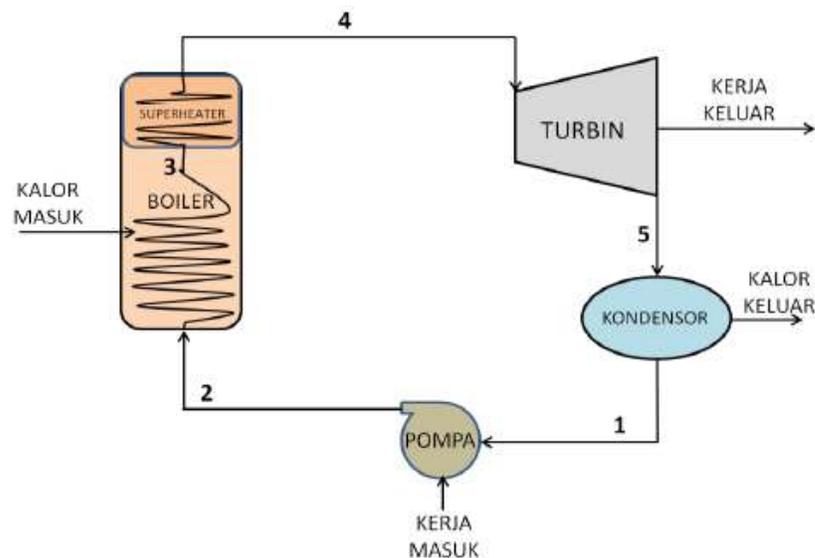
Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) menggunakan fluida kerja air dan uap yang bersirkulasi secara tertutup. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang. Urutan sirkulasinya adalah sebagai berikut :

1. Pertama air dipompakan oleh *boiler feed pump* dari *deaerator* dan *condensate pump* dari *hotwell* (tempat penampung air penambah dan hasil kondensasi *condenser*).
2. Kedua, *boiler feed pump* mengisiskan ke *boiler* hingga terisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas.
3. Ketiga, di dalam boiler air dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.
4. Keempat, uap hasil produksi boiler dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin uap sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran. Generator yang porosnya dikopel langsung dengan poros turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran

medan magnet dalam kumparan generator, sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal output generator.

5. Kelima, uap setelah keluar turbin masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air yang disebut air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap ini kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi atau air penambah boiler.

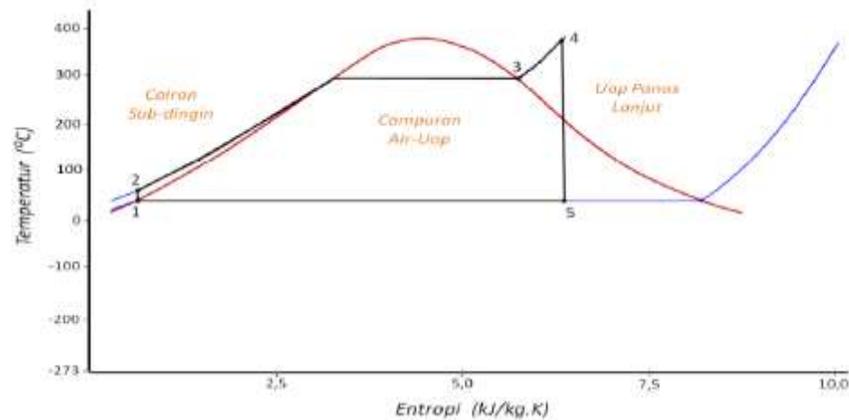
Demikian siklus ini berlangsung terus menerus dan berulang-ulang. (PLN Corporate University, 2018)



Gambar 2.2 Siklus Fluida Sederhana Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Sumber: PLN Corporate University, 2018

Siklus kerja Pembangkit listrik tenaga uap yang merupakan siklus tertutup dapat digambarkan dengan diagram T – S (temperatur – entropi). Siklus ini adalah penerapan siklus rankine ideal. Adapun urutan langkahnya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.3 Diagram T-S Siklus Rankine

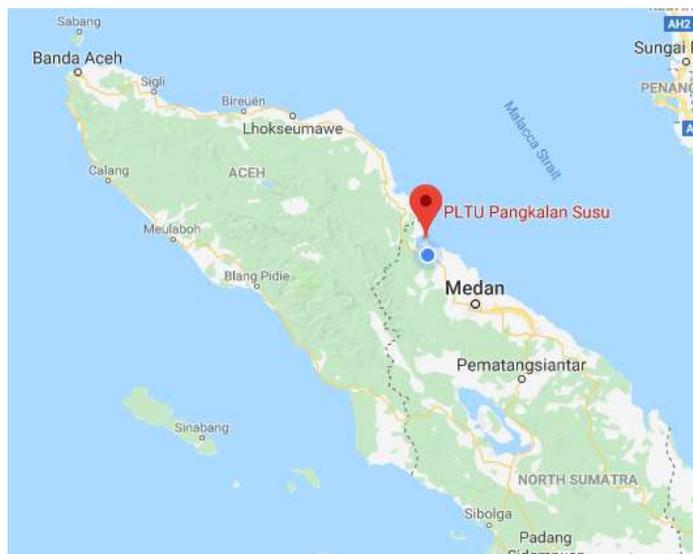
Sumber: PLN Corporate University, 2018

1. a - b : Air dipompa dari tekanan P2 menjadi P1. Langkah ini adalah langkah *kompresi isentropis*, dan proses ini terjadi pada pompa air pengisi.
2. b - c : Air bertekanan ini dinaikkan temperaturnya hingga mencapai titik didih. Terjadi di LP *heater*, HP *heater* dan *Economiser*.
3. 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*.
4. d - e : Uap dipanaskan lebih lanjut hingga uap mencapai temperature kerjanya menjadi uap panas lanjut (*superheated vapour*). Langkah ini terjadi di *superheater* boiler dengan proses *isobar*.
5. e - f : Uap melakukan kerja sehingga tekanan dan temperaturnya turun. Langkah ini adalah langkah *ekspansi isentropis*, dan terjadi didalam turbin.
6. f - a : Pembuangan panas laten uap sehingga berubah menjadi air kondensat. Langkah ini adalah *isobar isothermis*, dan terjadi di dalam kondensor. (PLN Corporate University, 2018)

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Uap Pangkalan Susu

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Sumatera Utara Pangkalan Susu, dibangun pada area seluas 105 Ha, beralamat di Desa Tanjung Pasir, Kecamatan Pangkalan Susu, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara. Pembangkit listrik tenaga uap Pangkalan Susu ini mempunyai daya *netto* terpasang 2x200 MW. Sehingga masing-masing unit menghasilkan daya listrik *netto* 200 MW kemudian ditransmisikan ke sistem kelistrikan.

Pembangunan proyek percepatan pembangkit listrik berbahan bakar batubara berdasarkan pada Peraturan Presiden RI (Perpres) Nomor 71 Tahun 2006, tanggal 5 Juli 2006 tentang penugasan kepada PT. PLN (Persero) untuk melakukan percepatan pembangunan pembangkit tenaga listrik yang menggunakan batubara. Pada gambar 2.4 dapat dilihat letak (posisi) keberadaan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di Pangkalan Susu pada gambar.



Gambar 2.4 Letak Pembangkit Listrik Tenaga Uap Pangkalan Susu
Sumber: Penulis, 2020

Peraturan Presiden ini menjadi dasar untuk pembangunan 10 Pembangkit Listrik Tenaga Uap di Jawa dan 25 Pembangkit Listrik Tenaga Uap di Luar Jawa Bali atau yang diketahui dengan nama Proyek Percepatan Pembangkit Listrik Tenaga Uap 10.000 MW. Pembangunan proyek – proyek Pembangkit Listrik Tenaga Uap itu guna memenuhi pasokan tenaga listrik yang akan mengalami defisit beberapa tahun mendatang, serta menunjang program diversifikasi energi untuk pembangkit tenaga listrik dari bahan bakar minyak (BBM) ke non BBM dengan memanfaatkan batubara berkalori rendah.

Tujuan dilaksanakan pembangunan pembangkit listrik tenaga uap Pangkalan Susu :

1. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat di sistem Sumatera Bagian Utara.
2. Mengurangi subsidi bahan bakar minyak (BBM) untuk sektor kelistrikan dengan cara penggunaan bahan bakar utama yaitu batubara.
3. Memanfaatkan stok batubara rendah kalori (*low rank coal*) yang banyak terdapat di wilayah Indonesia.
4. Merangsang pertumbuhan industri, baik di sisi hulu yaitu sebagai penyedia bahan baku batubara maupun di sisi hilir yang sebagai pemakai energi listrik untuk industri.

Pada gambar 2.5 dapat kita lihat gambar pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di Pangkalan Susu unit 1 (satu) dan 2 (dua) yang menjadi salah satu pemasok kelistrikan yang berlokasi di Provinsi Sumatera Utara.



Gambar 2.5 Proyek PLTU Pangkalan Susu

Sumber: PLN UIP Kitsum, 2018

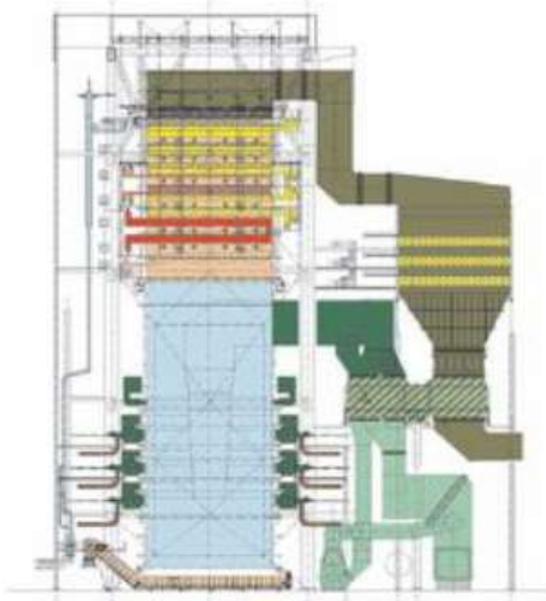
2.4 Bagian-Bagian Pembangkit Listrik Tenaga Uap

2.4.1 Bagian Utama

Bagian utama pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yaitu :

a. Boiler

Boiler / ketel uap berfungsi untuk mengubah air (*feed water*) menjadi uap panas kering (*superheated steam*) yang selanjutnya digunakan untuk memutar turbin uap. Pada gambar 2.6 dapat dilihat bentuk umum boiler pada suatu pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).



Gambar 2.6 Boiler

Sumber: PLN Corporate University, 2018

b. Turbin

Turbin uap adalah peralatan yang berfungsi untuk mengkonversi energi panas yang terdapat pada uap menjadi energi putar (energi mekanik). Poros atau shaft turbin dikopel dengan poros atau shaft generator sehingga ketika turbin berputar generator pun juga ikut berputar. Pada gambar 2.7 dapat dilihat bentuk turbin uap pada pembangkit listrik tenaga uap.

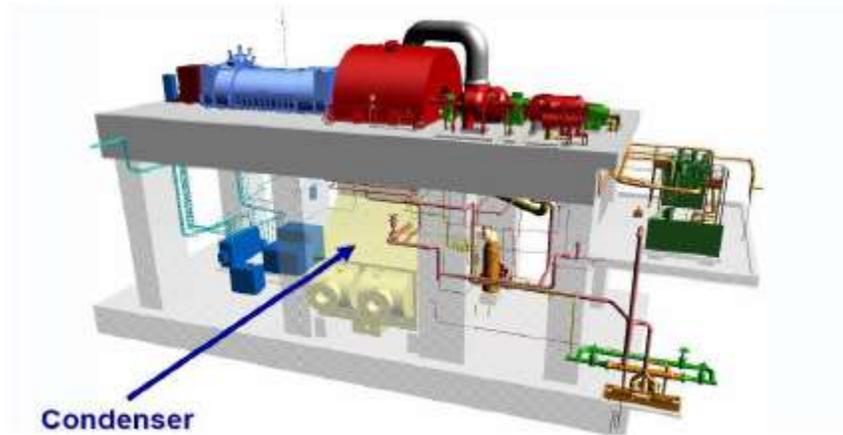


Gambar 2.7 Turbin uap

Sumber: PLN Corporate University, 2018

c. Kondensor

Kondensor adalah peralatan yang berfungsi untuk mengubah uap keluaran dari turbin (uap yang telah selesai digunakan untuk memutar turbin). Pada gambar 2.8 diperlihatkan letak kondensor dalam sistem pembangkit listrik tenaga uap. Letaknya tepat dibawah *Low Pressure* Turbin karena uap hasil memutar turbin akan dikondensasikan oleh kondensor.

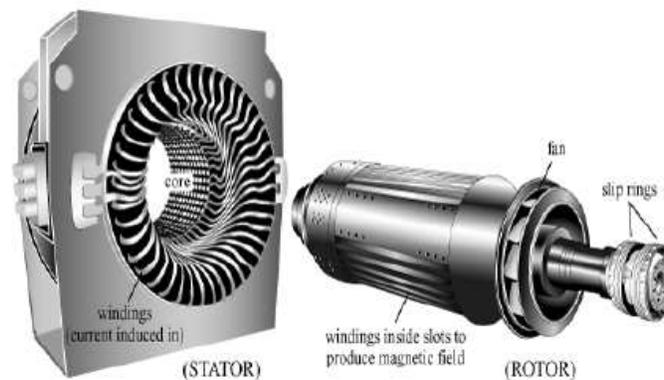


Gambar 2.8 Kondensor

Sumber: PLN Corporate University, 2015

d. Generator

Generator adalah peralatan yang berfungsi untuk mengubah energi putar (energi mekanik) dari turbin uap menjadi energi listrik.



Gambar 2.9 Generator Listrik

Sumber: PLN Corporate University, 2018

2.4.2 Peralatan Penunjang (*Auxiliary*)

Peralatan penunjang atau peralatan bantu yang terdapat pada suatu PLTU pada umumnya adalah:

a. *Desalination Plant* (Unit Desal)

Desalination Plant berfungsi untuk mengubah air laut (*sea water*) menjadi air tawar (*freshwater*) dengan metode penyulingan (gabungan evaporasi dan kondensasi). Hal ini dikarenakan sifat air laut yang menyebabkan korosif, sehingga jika air laut (*sea water*) tersebut digunakan langsung masuk ke dalam unit utama, hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan pembangkit listrik tenaga uap.

b. *Reverse Osmosis* (RO)

Reverse Osmosis mempunyai fungsi yang sama dengan *desalination plant* namun metode atau teknik yang digunakan berbeda. Peralatan ini menggunakan membran *semi permeable* yang dapat menyaring garam-garam yang terkandung pada air laut (*sea water*), sehingga dapat dihasilkan air tawar.

c. *Pre Treatment* (untuk unit dengan pendingin air tanah atau air sungai)

Untuk pembangkit listrik tenaga uap yang pendinginnya air tanah/air sungai, *pre-treatment* berfungsi untuk menghilangkan endapan, kotoran dan mineral yang terkandung dalam air tersebut.

d. *Demineralizer Plant* (Unit Demin)

Demineralizer Plant berfungsi untuk menghilangkan kadar mineral atau ion yang terkandung atau terdapat dalam air tawar. Air yang digunakan sebagai

fluida kerja pembangkit listrik tenaga uap harus bebas dari mineral, karena jika air tersebut masih mengandung mineral atau ion berarti konduktivitasnya atau daya hantar listriknya masih tinggi sehingga dapat menyebabkan terjadinya gaya gerak listrik (GGL) induksi pada saat air tersebut melalui jalur perpipaan di dalam pembangkit listrik tenaga uap. Hal tersebut dapat menimbulkan korosi pada peralatan pembangkit listrik tenaga uap.

e. *Hydrogen Plant* (Unit Hidrogen)

Hydrogen Plant pada pembangkit listrik tenaga uap digunakan untuk menghasilkan hydrogen (H_2) sebagai pendingin Generator.

f. *Chlorination Plant* (Unit Chlorin)

Chlorination Plant adalah peralatan yang berfungsi untuk menghasilkan senyawa *sodium hypochlorite* ($NaOCl$) yang digunakan untuk memabukkan/melemahkan mikro organisme laut yang terdapat pada area *water intake*. Hal tersebut dimaksudkan untuk menghindari terjadinya pengerakkan (*scaling*) pada pipa-pipa kondensor dan unit *desal* akibat perkembangbiakan mikro organisme laut tersebut.

g. *Auxiliary Boiler* (Boiler Bantu)

Auxiliary Boiler pada umumnya merupakan boiler berbahan bakar minyak (*fuel oil*), yang berfungsi untuk menghasilkan uap (*steam*) yang akan digunakan pada saat boiler utama start up maupun sebagai uap bantu (*auxiliary steam*).

h. *Coal Handling* (Unit Pelayanan Batubara)

Coal Handling merupakan unit yang mengakomodir pengolahan batubara yaitu dari proses bongkar muat kapal batubara (*ship unloading*) di dermaga, untuk penyaluran ke *stock* area sampai penyaluran ke bunker unit.

i. *Ash Handling* (Unit Pelayanan Abu)

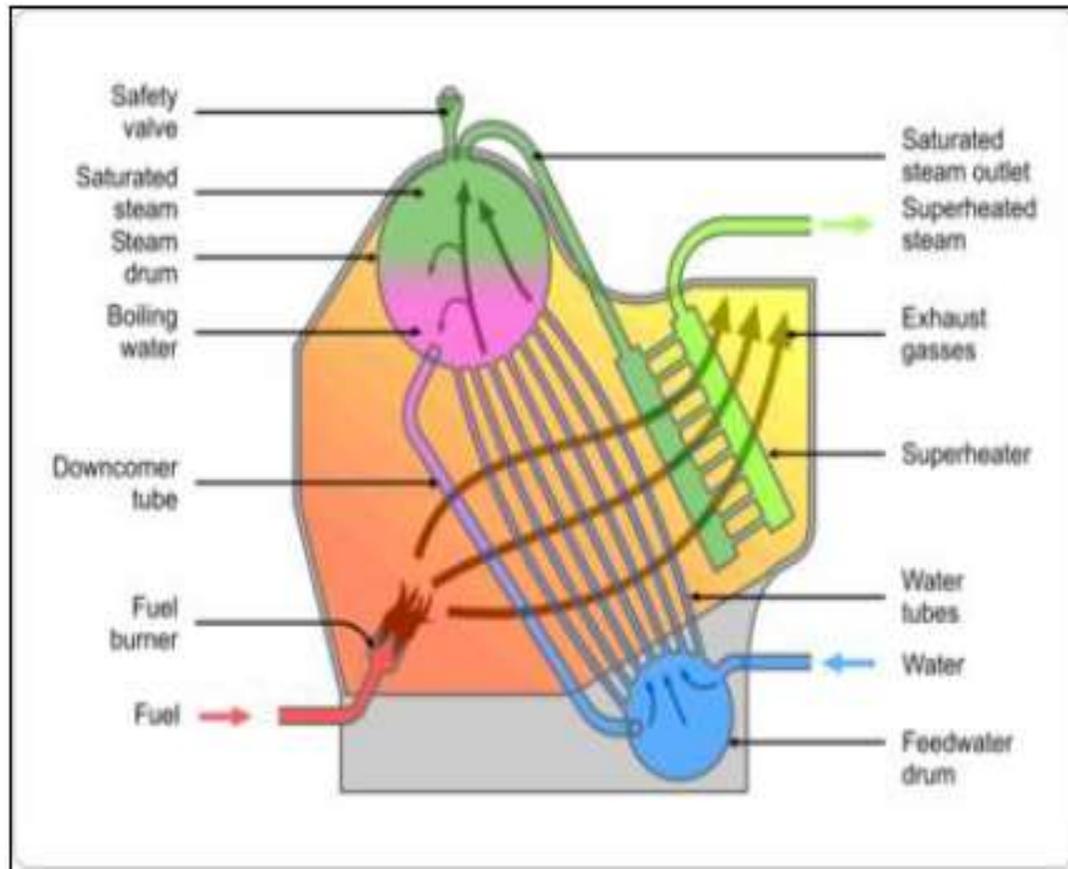
Ash Handling merupakan unit yang berfungsi sebagai tempat pengolahan abu baik itu abu jatuh (*bottom ash*) maupun abu terbang (*fly ash*) dari *electrostatic precipitator hopper* dan *submerged drag chain conveyor* (SDCC) pada unit utama sampai ke wadah penampungan abu (*ash valley*).

Setiap komponen utama atau komponen inti dan peralatan penunjang dilengkapi dengan sistem-sistem serta alat bantu yang mendukung kerja komponen tersebut. Gangguan atau *malfunction* dari suatu bagian komponen utama dapat menyebabkan terganggunya seluruh sistem pembangkit listrik tenaga uap.

2.5 Boiler dan Alat Bantu

2.5.1 Prinsip Kerja Boiler

Boiler atau ketel uap adalah suatu peralatan mesin yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap ini terjadi dengan cara memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan menggunakan panas dari hasil pembakaran bahan bakar di ruang bakar. Pembakaran dilakukan secara terus menerus didalam ruang bakar dengan memasukkan bahan bakar dan udara dari luar ruang bakar.



Gambar 2.10 Boiler Pipa Air

Sumber: PLN Corporate University, 2018

Uap yang dihasilkan boiler adalah uap *superheat* atau uap kering dengan tekanan tinggi dan temperature tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan perpindahan panas, laju aliran, dan panas pembakaran. Boiler yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa berisi air disebut dengan boiler pipa air (*water tube boiler*).

Pada unit pembangkit listrik, boiler juga disebut dengan steam generator (pembangkit uap) mengingat arti kata boiler yaitu hanya pendidih, sementara pada kenyataannya dari boiler dihasilkan uap kering / *superheat* bertekanan tinggi.

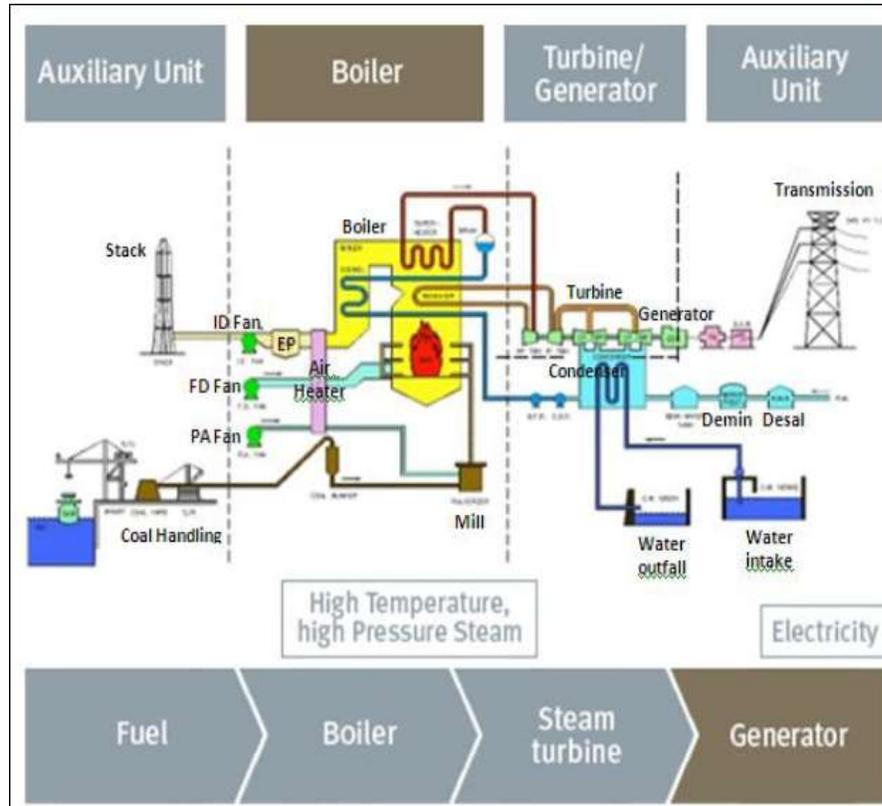
Ditinjau dari bahan bakar yang dipakai, maka pembangkit listrik tenaga uap dapat diklasifikasikan menjadi :

- a. PLTU Batubara
- b. PLTU Minyak
- c. PLTU Gas
- d. PLTU Nuklir atau PLTN

Jenis pembangkit listrik tenaga uap batu bara masih bisa dibedakan berdasarkan proses pembakarannya, yaitu pembangkit listrik tenaga uap dengan pembakaran batu bara bubuk (*pulverized coal*) dan pembangkit listrik tenaga uap dengan pembakaran batu bara curah (*circulating fluidized bed / CFB boiler*).

Perbedaan antara pembangkit listrik tenaga uap batu bara dengan pembangkit listrik tenaga uap minyak atau gas adalah di peralatan dan sistem penanganan dan pembakaran bahan bakarnya serta penanganan limbah abunya. Pembangkit listrik tenaga uap batubara mempunyai peralatan bantu yang lebih banyak dan lebih kompleks dari pada pembangkit listrik tenaga uap minyak atau gas. Pembangkit listrik tenaga uap gas merupakan pembangkit listrik tenaga uap yang paling sederhana peralatan *auxiliary* nya.

Selanjutnya tampilan pada gambar 2.11 terlihat tata letak peralatan pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) batubara dengan sistem pulverized coal (PC) yang mempunyai peralatan *auxiliary* lebih banyak dan lebih kompleks.



Gambar 2.11 Pulverized Coal (PC) Boiler Batu bara

Sumber: PLN Corporate University, 2018

Dilihat dari tekanan ruang bakar boilernya, pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dapat dibedakan menjadi:

- a. PLTU dengan *pressurised boiler*
- b. PLTU dengan *balanced draft boiler*
- c. PLTU dengan *vacuum boiler*

2.5.2 Siklus Air dan Uap pada Boiler

- a. Siklus Air

Siklus air di boiler merupakan suatu mata rantai dari rangkaian siklus fluida kerja. Boiler memperoleh pasokan fluida kerja air dan menghasilkan uap untuk dimasukkan ke turbin. Air sebagai fluida kerja dimasukkan ke

boiler menggunakan pompa air pengisi (*boiler feed pump*) dengan melewati *economiser* dan ditampung didalam *steam drum* boiler. *Economiser* adalah tempat perpindahan panas yang merupakan pemanas air terakhir sebelum masuk ke *steam drum*. Di dalam *economiser* air menyerap panas dari gas buang yang keluar dari *superheater* sebelum dibuang ke atmosfer melalui *stack* atau cerobong. Pada gambar 2.12 dapat kita lihat bentuk dari *economiser fined Tubes* (tipe bersirip) dengan cukup jelas. Karena ketika telah dimasukkannya ke dalam boiler sisi *flue gas*, maka *tube* sudah tidak bisa kita lihat lagi kecuali dalam proses perbaikan atau saat sisi *manholenya* dibuka.

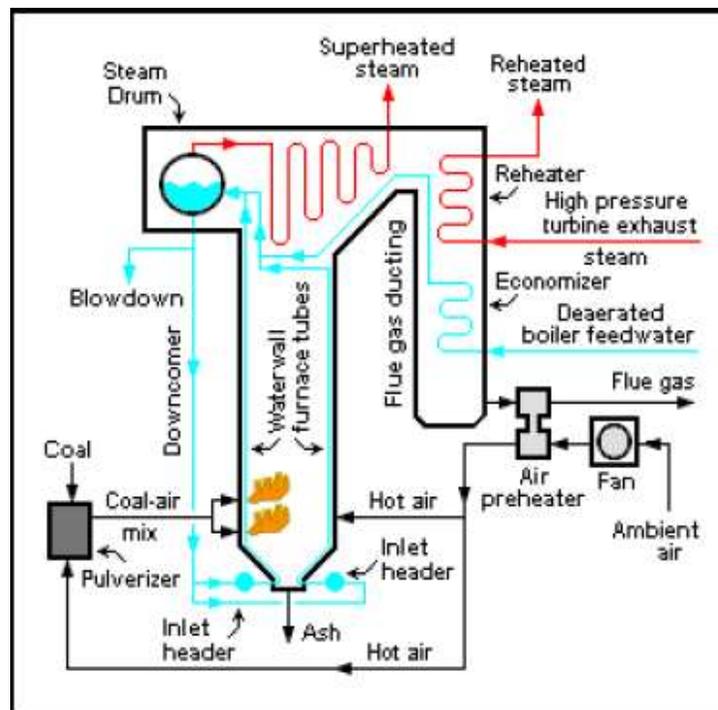


Gambar 2.12 Economiser Fined Tubes (Tipe Pipa Bersirip)
Sumber: PLN Corporate University, 2018

Peralatan yang dilewati dalam siklus air pada boiler adalah *drum boiler*, *down comer*, *header* bawah (*bottom header*), dan *riser*. Siklus air di *steam drum* adalah air dari *drum* turun ke pipa-pipa *down comer* ke header bagian bawah (*bottom header*). Dari *header* bagian bawah air didistribusikan ke

pipa-pipa pemanas (*riser*) yang tersusun membentuk dinding pada ruang bakar boiler. Didalam *riser* air mengalami pemanasan kemudian naik ke *drum* kembali akibat perbedaan temperature yang terjadi.

Selanjutnya pada gambar 2.13 bisa dilihat gambaran dari siklus air dan uap pada boiler. Pada jalur yang warna biru menunjukkan siklus ketika masih berbentuk *fluida* air, lalu pada jalur yang warna merah menunjukkan siklus ketika sudah menjadi bentuk uap.



Gambar 2.13 Siklus Air dan Uap pada Boiler

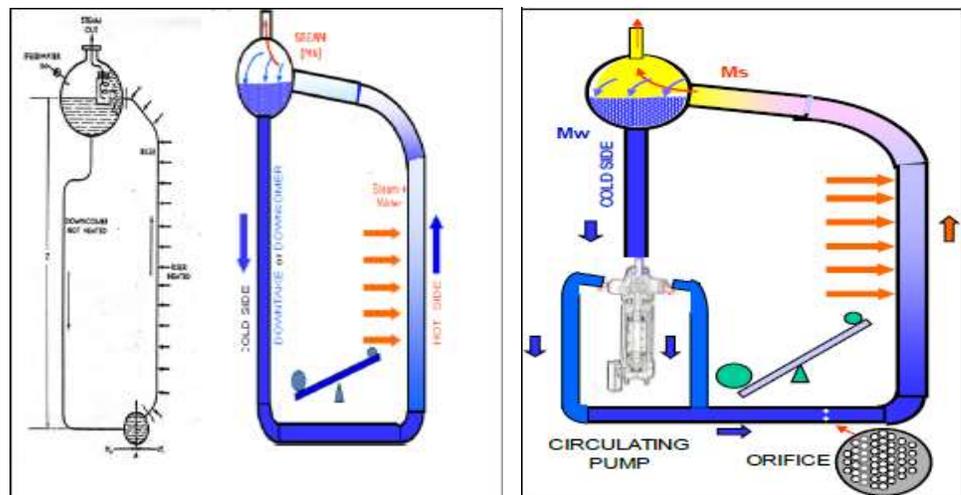
Sumber: PLN Corporate University, 2018

Perpindahan panas dari api pembakaran (*flue gas*) ke air di dalam pipa-pipa boiler terjadi secara radiasi, konveksi dan konduksi. Akibat pemanasan tersebut selain temperatur naik hingga mendidih juga terjadi sirkulasi air secara alami, yakni dari *drum* turun melalui *down comer* ke

header bawah dan naik kembali ke *drum* melalui pipa-pipa *riser*. Adanya sirkulasi ini sangat diperlukan supaya terjadi pendinginan terhadap pipa-pipa pemanas dan mempercepat proses perpindahan panas. Kecepatan sirkulasi akan berpengaruh pada produksi uap dan kenaikan tekanan serta temperaturnya.

Selain sirkulasi alami, juga dikenal sirkulasi paksa (*forced circulation*). Untuk sirkulasi ini digunakan sebuah pompa sirkulasi (*circulation pump*). Umumnya pompa sirkulasi mempunyai laju sirkulasi sekitar 1,7, artinya jumlah air yang disirkulasikan adalah 1,7 kali kapasitas penguapan. Beberapa keuntungan dari sistem sirkulasi paksa ini antara lain :

- Waktu *start* (pemanasan) lebih cepat
- Mempunyai respon yang lebih baik dalam mempertahankan aliran air ke pipa-pipa pemanas saat start maupun beban penuh.
- Mencegah kemungkinan terjadinya stagnasi pada sisi penguapan

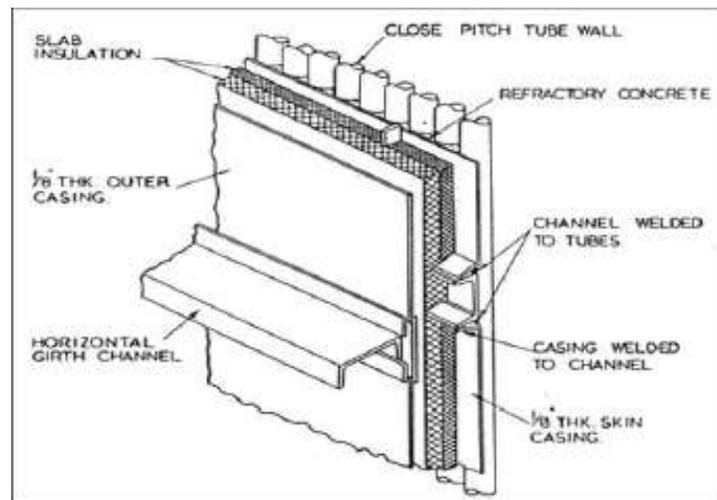


Gambar 2.14a Prinsip Sirkulasi Alami

Gambar 2.14b Prinsip Sirkulasi Paksa

Sumber: PLN Corporate University, 2018

Pada gambar 2.14a dapat dilihat gambaran prinsip sirkulasi alami. Begitu pula pada gambar 2.14b dapat kita lihat gambaran dar prinsip sirkulasi paksa. Terlihat perbedaan di sana yang sudah dijelaskan sebelumnya. Selanjutnya pada gambar 2.20 dapat dilihat bentuk dari pipa *riser* dan dinding dari ruang bakar boiler.



Gambar 2.15 Pipa Riser dan Dinding Ruang Bakar Boiler

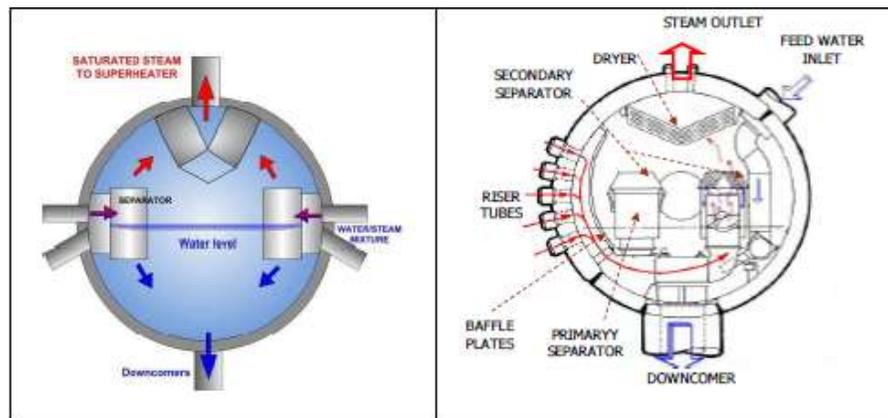
Sumber: PLN Corporate University, 2015

Drum boiler berfungsi untuk menampung dan mengontrol kebutuhan air di boiler. Fungsi lain *drum boiler* yang tidak kalah pentingnya adalah memisahkan uap dan air. Untuk mengontrol kebutuhan air di boiler, maka level air drum harus dijaga konstan pada level normalnya. Level ini dapat dilihat di monitor kontrol room maupun di lokal. Kualitas air di boiler juga harus dipantau dengan mengambil sampelnya dari air dalam drum.



Gambar 2.16 Drum Boiler

Sumber: PLN Corporate University, 2018



Gambar 2.17 Konstruksi Drum Boiler

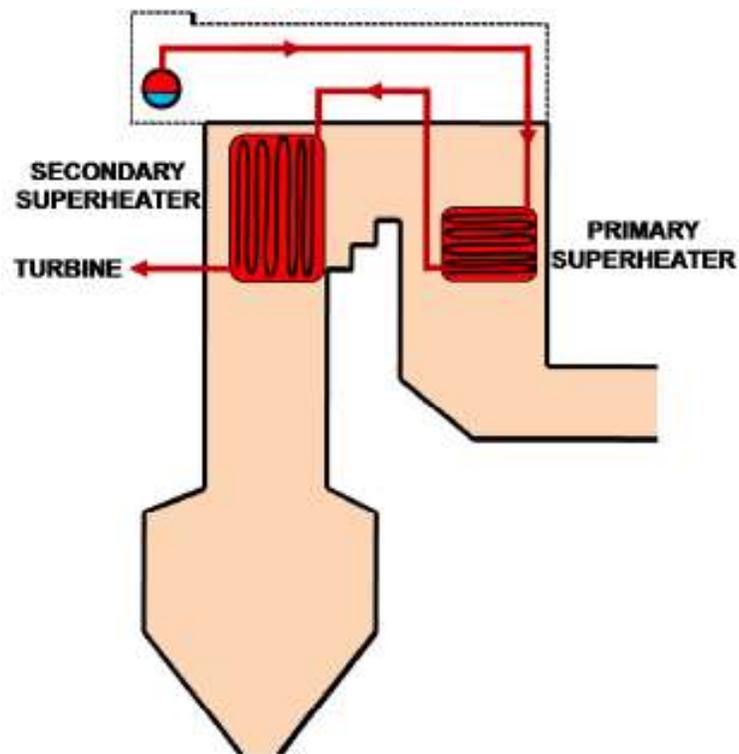
Sumber: PLN Corporate University, 2018

b. Siklus Uap

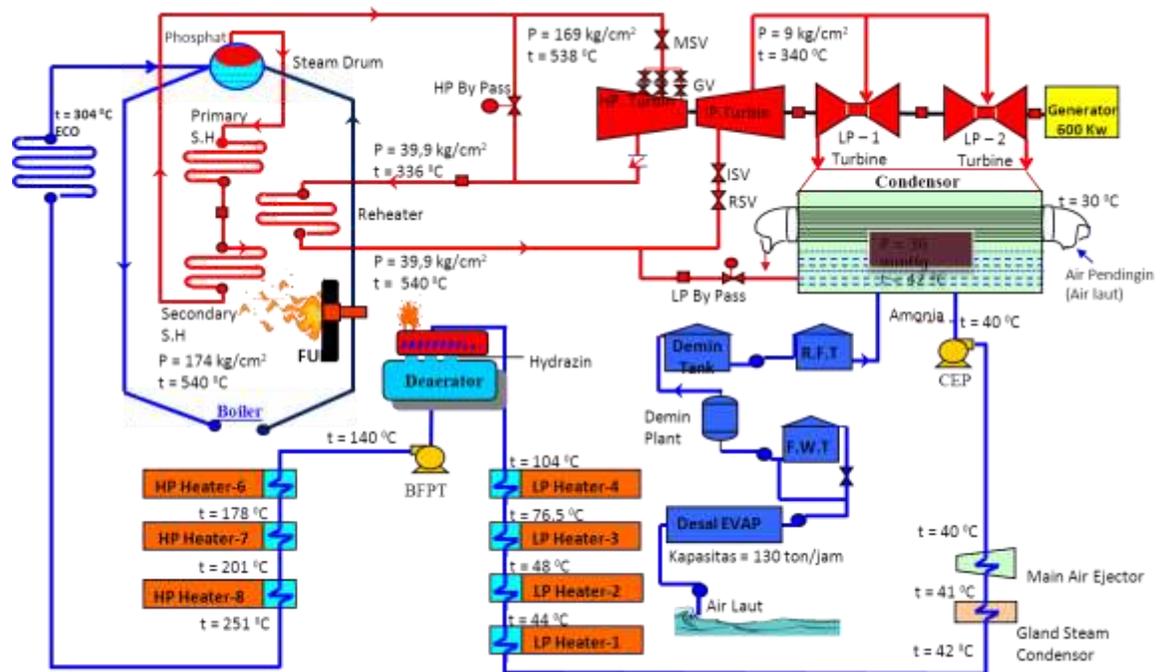
1) Siklus Uap Utama (Main Steam System)

Siklus uap utama dalam boiler adalah, uap dari drum boiler dalam kondisi jenuh dialirkan menuju *superheater* pertama (*primary SH*) dan ke *superheater* dua (*secondary SH*) kemudian ke *outlet header* untuk selanjutnya disalurkan ke turbin. Apabila temperatur uap (*main steam*) melebihi batas temperatur kerjanya, maka *desuperheater*

menyemprotkan *steam* bersuhu yang lebih rendah untuk menurunkan temperatur main steam sehingga sesuai harga yang diinginkan. *Desuperheater* terletak diantara *superheater* satu dan *superheater* dua. *Superheater* berfungsi untuk memanaskan uap agar kandungan energi panas dan kekeringannya bertambah sehingga menjadi uap *superheat* (uap panas lanjut). Pemanasan dilakukan dalam dua atau tiga tahap. Pemanasnya adalah gas hasil pembakaran bahan bakar.



Gambar 2.18 Siklus Uap *Superheat*
PLN Corporate University, 2018



Gambar 2.19 Siklus Air-Uap Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan Reheater

Sumber: PLN Corporate University, 2018

2) Siklus Uap Panas Ulang (*reheat steam system*)

Pada pembangkit listrik tenaga uap kapasitas > 100 MW dan mempunyai turbin *multi cylinder*, maka uap dari *high pressure* turbin dialirkan kembali ke boiler untuk dipanaskan, yaitu ke *reheater*.

Konfigurasi *reheater* sama dengan *superheater*.

Reheater berfungsi untuk memanaskan uap dari *high pressure* (HP) turbin agar kandungan energi panasnya meningkat lagi setelah memutar *high pressure* turbin. Uap ini selanjutnya dialirkan kembali ke intermediate pressure (IP) turbin. Pemanasan diperoleh dari gas buang yang keluar *superheater*.

2.6 *Scanner Cooling Air Fan*

Scanner cooling air fan merupakan peralatan yang berfungsi untuk menyuplai udara yang dipompa dari luar untuk melindungi *flame detector* di ruang bakar, *flame detector* sendiri berfungsi untuk monitoring api di dalam boiler, posisi *flame detector* berada tepat di atas *burner gun*, ketika *flame detector* tidak membaca adanya api di *burner gun* sedangkan *burner gun* sedang beroperasi maka *flame detector* akan mengirimkan sinyal untuk *stop* operasi *burner gun*, ini berfungsi untuk melindungi boiler dari *explosion* akibat *fuel* atau bahan bakar yang tidak terbakar.

Untuk melindungi *flame detector* ini digunakanlah udara yang menjadi sealing pada sekitar *flame detector* sehingga panas dari boiler atau ruang bakar tidak merusak komponen *flame detector*. Ketika udara seal pelindung *flame detector* berkurang / hilang maka sistem proteksi *flame detector* akan mengirim sinyal kepada *programmable logic control* (PLC) *main fuel trip* (MFT) agar mengindikasikan *force stop / trip* untuk melindungi peralatan tersebut.



Gambar 2.20 *Scanner Cooling Air Fan*
Sumber: Penulis, 2020

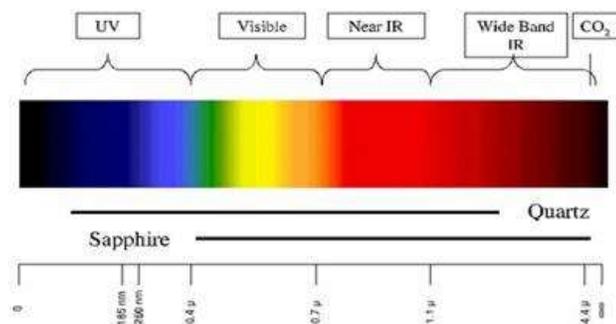
2.7 Flame Scanner

Flame scanner / flame detector merupakan peralatan *instrument* berupa sensor yang dapat mendeteksi nilai intensitas dan frekuensi api dalam suatu proses pembakaran di dalam ruang bakar, dalam hal ini pembakaran dalam *boiler* pada pembangkit listrik tenaga uap. Prinsip kerja *flame detector* adalah dimulai dari api yang akan bisa dideteksi oleh keberadaan *spectrum* cahaya *infra red* ataupun *ultraviolet*, dan dari sana semacam sensor dalam *flame detector* akan bekerja untuk membedakan spectrum cahaya yang terdapat pada api yang terdeteksi.



Gambar 2.21 Flame Scanner

Sumber: Fireye, 2012



Gambar 2.22 Spektrum Warna Pada Flame Scanner

Sumber: Ruslan, 2012



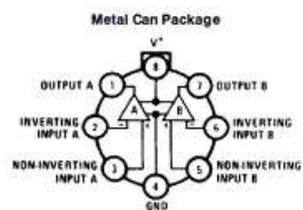
Gambar 2.23 Modul Card VTB 5041

Sumber: Ruslan, 2012

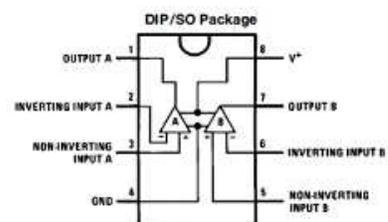
Photo diode merupakan komponen peralatan utama yang bisa menangkap intensitas dan frekuensi api yang terdapat pada cahaya api. Jenis *photo diode* yang digunakan adalah VTB5041 yang mana sensor ini sangat peka terhadap cahaya berwarna biru.

Kemudian ada juga IC LM 258, IC ini adalah sebuah IC dengan dual *operational amplifier* yang mempunyai keunikan di *output* yang dapat mengayun sampai *ground*, karena sifatnya inilah sehingga *output* dari *photo diode* dapat dikonversi ke dalam bentuk sinyal-sinyal listrik, sehingga dapat diketahui besarnya nilai intensitas dan frekuensi api yang ditangkap oleh *photo diode* tersebut.

Connection Diagrams (Top Views)



Order Number LM158AH, LM158AH/883*,
LM158H, LM158H/883*, LM258H or LM358H
See NS Package Number H08C



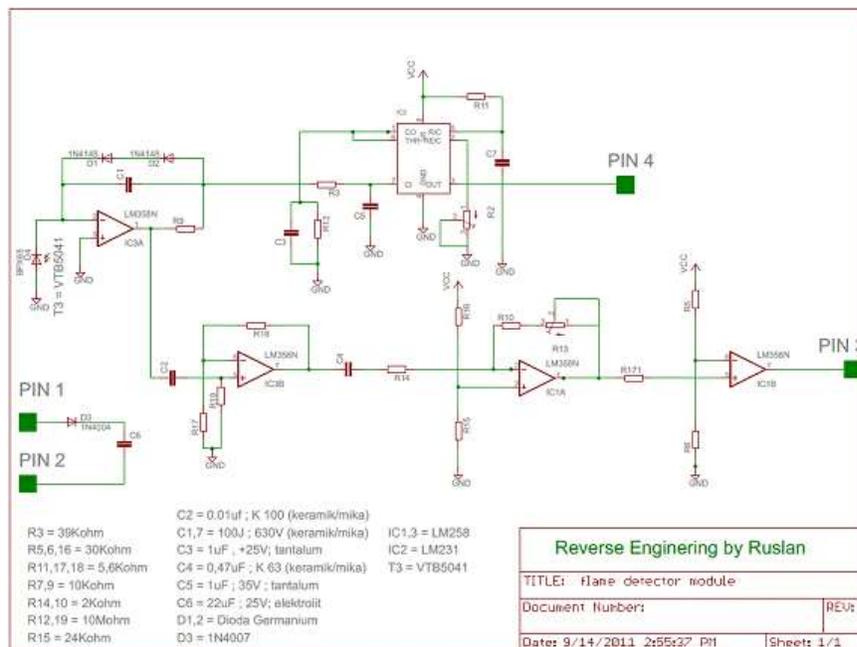
Order Number LM158J, LM158J/883*,
LM158AJ or LM158AJ/883*
See NS Package Number J08A
Order Number LM358M, LM358AM or LM2904M
See NS Package Number M08A
Order Number LM358AN, LM358N or LM2904N
See NS Package Number N08E

Gambar 2.24 Connection diagram LM258

Sumber: Ruslan, 2012

Intensitas api yang dimaksud yaitu kuat suatu intensitas api dalam suatu proses pembakaran yang di deteksi oleh *flame detector*, intensitas api ini akan dikonversi ke dalam bentuk sinyal-sinyal listrik. Semakin kuat intensitas api yang dideteksi *flame detector*, maka semakin besar pula nilai sinyal-sinyal listrik yang dihasilkan oleh *flame detector* tersebut. Kemudian sinyal-sinyal listrik tersebut akan diinputkan ke panel-panel *instrument flame detector*. Kemudian dirubah lagi ke dalam bentuk bit-bit digital, sehingga dapat ditampilkan pada panel *instrument* yang berupa tampilan angka-angka *decimal*, sehingga dapat terbaca oleh operator kuat intensitas api suatu pembakaran pada *boiler* pembangkit listrik tenaga uap di monitor.

Frekuensi api sendiri merupakan nilai frekuensi suatu nyala api pada proses pembakaran di dalam *boiler* pembangkit listrik tenaga uap. Frekuensi api ini akan melalui proses penapis atau *filter* frekuensi, yang bertujuan untuk memperoleh nilai frekuensi yang benar-benar akurat, sehingga tidak terjadi *error* dalam mengkonfersinya kedalam bentuk sinyal-sinyal listrik. Setelah dikonversi ke dalam bentuk sinyal-sinyal listrik, mkaan akan dikonversi lagi kebentuk bit-bit digital yang kemudian akan ditampilkan di panel *instrument* yang berupa tampilan angka-angka *decimal*, sehingga operator dapat mengetahui nilai frekuensi api pada *boiler* tersebut.



Gambar 2.25 Reverse Engineering Flame Detector Modul
 Sumber: Ruslan, 2012

Gambar di atas adalah skema rangkaian *module card conversion of flame detector*. Api mempunyai dua hal yang ingin kita ukur, pertama adalah intensitasnya dan yang kedua adalah frekuensinya (*disturbancenya*). Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan sensor *photodiode*, dimana kedua hal tersebut dapat ditangkap oleh sensor *photodiode*. Prinsip kerja skema rangkaian di atas adalah ketika *photo diode* mendeteksi intensitas dan frekuensi api, *output photo diode* tersebut akan masuk ke IC LM258.

Untuk intensitas api, *output* dari IC LM258 masih berupa gelombang tegangan AC, sehingga perlu dikonversi ke dalam bentuk gelombang tegangan DC. Untuk merubahnya, *output* tersebut akan diinputkan lagi ke IC LM231. Yang mana IC LM231 ini mempunyai fungsi sebagai *converter* dari frekuensi ke tegangan. Sedangkan untuk frekuensi api, *output* dari IC LM258 yang masih berupa sinyal yang

belum difilterisasi, perlu difilterisasi dengan menginputkan kembali sinyal *output* tersebut ke IC LM258 dan kapasitor, sehingga frekuensi *outputnya* benar-benar akurat.

2.8 Gerbang Logika

Gerbang logika (*logic gates*) adalah sebuah entitas untuk melakukan pengolahan input-input yang berupa bilangan biner (hanya terdapat 2 kode bilangan biner yaitu, angka 1 dan 0) dengan menggunakan teori matematika *boolean* sehingga dihasilkan sebuah sinyal output yang dapat digunakan untuk proses berikutnya. (Martin Kosasi, 2017)

Sedangkan menurut wikipedia, gerbang logika atau gerbang logik adalah suatu entitas dalam elektronika dan matematika *boolean* yang mengubah satu atau beberapa masukan logik menjadi sebuah sinyal keluaran logika. Gerbang logika terutama diimplementasikan secara elektronis menggunakan *diode* atau *transistor*, akan tetapi dapat pula dibangun menggunakan susunan komponen-komponen yang memanfaatkan sifat-sifat elektromagnetik (*relay*), cairan, optik dan bahkan mekanik.

2.8.1. Jenis-jenis Gerbang Logika

Terdapat 7 jenis gerbang logika, yaitu :

a. Gerbang *AND*

Apabila semua / salah satu input merupakan bilangan biner (berlogika) 0, maka output akan menjadi 0. Sedangkan jika semua input adalah bilangan biner (berlogika) 1, maka output akan berlogika 1.

b. Gerbang OR

Apabila semua / salah satu input merupakan bilangan biner (berlogika) 1, maka output akan menjadi 1. Sedangkan jika semua input adalah bilangan biner (berlogika) 0, maka output akan berlogika 0.

c. Gerbang NOT

Fungsi gerbang NOT adalah sebagai *inverter* (pembalik). Nilai output akan berlawanan dengan inputnya.

d. Gerbang NAND

Apabila semua / salah satu input bilangan biner (berlogika) 0, maka outputnya akan berlogika 1. Sedangkan jika semua input adalah bilangan biner (berlogika) 1, maka output akan berlogika 0.

e. Gerbang NOR

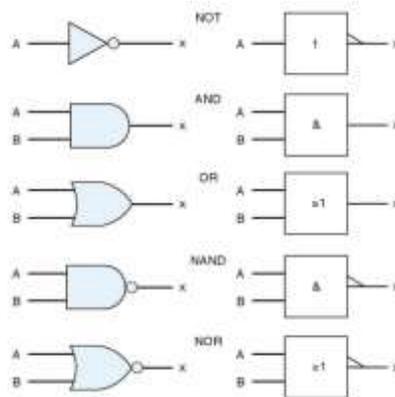
Apabila semua / salah satu input bilangan biner (berlogika) 1, maka outputnya akan berlogika 0. Sedangkan jika semua input adalah bilangan biner (berlogika) 0, maka output akan berlogika 1.

f. Gerbang XOR

Apabila input berbeda (contoh : input A=1, input B=0) maka output akan berlogika 1. Sedangkan jika input adalah sama, maka output akan berlogika 0.

g. Gerbang XNOR

Apabila input berbeda (contoh : input A=1, input B=0) maka output akan berlogika 0. Sedangkan jika input adalah sama, maka output akan berlogika 1. (Martin Kosasi, 2017)



Gambar 2.26 Lambang Gerbang Logika

Sumber: (Tocci, Windmer, Moss, 2007)

Pada gambar 2.26 dapat kita lihat lambang-lambang dari gerbang logika yang telah dijelaskan sebelumnya. Terdapat lambang AND, OR, NOT, NOR, NAND, EX-OR, maupun EX-NOR. Selanjutnya pada gambar 2.26 memperlihatkan tabel kebenaran dari gerbang logika.

Nama	Rumus	Lambang Gerbang Logika			Tabel Kebenaran															
		Simbol	Logika	Simbol																
Gerbang AND (AND)	$Y = A \wedge B$ $Y = A \cdot B$ $Y = AB$				<table border="1"><tr><td>A</td><td>B</td><td>Y</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
A	B	Y																		
0	0	0																		
0	1	0																		
1	0	0																		
1	1	1																		
Gerbang OR (OR)	$Y = A \vee B$ $Y = A + B$				<table border="1"><tr><td>A</td><td>B</td><td>Y</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
A	B	Y																		
0	0	0																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	1																		
Gerbang NOT (NOT, Invers, Negasi, Komplementasi)	$Y = \bar{A}$ $Y = \sim A$				<table border="1"><tr><td>A</td><td>Y</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	Y	0	1	1	0									
A	Y																			
0	1																			
1	0																			
Gerbang NAND (NAND)	$Y = \overline{A \wedge B}$ $Y = \overline{A \cdot B}$ $Y = \overline{AB}$				<table border="1"><tr><td>A</td><td>B</td><td>Y</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	Y	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	Y																		
0	0	1																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	0																		
Gerbang NOR (NOR)	$Y = \overline{A \vee B}$ $Y = \overline{A + B}$ $Y = \overline{A + B}$				<table border="1"><tr><td>A</td><td>B</td><td>Y</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	Y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
A	B	Y																		
0	0	1																		
0	1	0																		
1	0	0																		
1	1	0																		
Gerbang EX-OR (EX-OR, Eksklusif OR)	$Y = A \underline{\vee} B$ $Y = A \oplus B$				<table border="1"><tr><td>A</td><td>B</td><td>Y</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	Y																		
0	0	0																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	0																		
Gerbang EX-NOR (EX-NOR, Eksklusif NOR)	$Y = \overline{A \underline{\vee} B}$ $Y = \overline{A \oplus B}$ $Y = \overline{A \oplus B}$				<table border="1"><tr><td>A</td><td>B</td><td>Y</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	A	B	Y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1
A	B	Y																		
0	0	1																		
0	1	0																		
1	0	0																		
1	1	1																		

Gambar 2.27 Tabel Kebenaran

Sumber: Mahedul, 2014

2.9 Keandalan (*Reliability*)

Keandalan adalah suatu penerapan perancangan pada komponen sehingga komponen dapat melaksanakan fungsinya dengan baik, tanpa kegagalan, sesuai rancangan atau proses yang dibuat. Keandalan merupakan probabilitas bahwa suatu sistem mempunyai performansi sesuai dengan fungsi yang diharapkan dalam selang waktu dan kondisi operasi tertentu. Secara umum keandalan merupakan ukuran kemampuan suatu komponen beroperasi secara terus menerus tanpa adanya kerusakan, tindakan perawatan pencegahan yang dilakukan dapat meningkatkan keandalan sistem.

Fokus utama dari perancangan sistem keandalan adalah karakteristik kekuatan tekanan komponen. Bagian-bagian komponen dirancang dan dihasilkan untuk bekerja dengan cara yang spesifik ketika beroperasi dibawah kondisi normal. Jika kekuatan ditambahkan akan memaksakan beban elektrik, karena berhubungan dengan variasi, getaran, guncangan, kelembaban dan sebagainya, kemudian kegagalan yang tak terduga akan terjadi dan sistem keandalan menjadi kurang diantisipasi. Selain itu juga, jika komponen digunakan melewati batas normal maka kelelahan akan terjadi, komponen yang gagal akan menjadi lebih banyak dari yang diharapkan.

Bagaimanapun juga kondisi-kondisi tekanan akan mengakibatkan penurunan keandalan, menyebabkan peningkatan kebutuhan pemeliharaan dan akan menimbulkan biaya yang mahal sebagai hasil atas kelebihan perancangan. (Suprobo dkk, 2013)

2.10 *Derating*

Derating terjadi apabila daya keluaran pembangkit (MW) unit kurang dari Daya mampu netto (DMN). *Derating* dapat digolongkan menjadi beberapa kategori yang berbeda. *Derating* mulai saat unit tidak mampu mencapai 98% DMN dan sama dengan atau lebih lama dari 30 menit. *Derating* berakhir ketika peralatan yang menyebabkan *derating* tersebut kembali beroperasi normal dan dapat memenuhi perintah pengatur beban jaringan kelistrikan (*dispatch*). Kapasitas yang tersedia didasarkan pada keluaran unit pembangkit dan bukan pada instruksi *dispatch*.

Semua *derating* yang lebih besar dari 2% DMN meskipun kurang dari 30 menit atau yang lebih kecil dari 2% tetapi lebih dari 30 menit, maka harus dilaporkan ke P2B. Sebagai contoh, *Derating* 10% dari DMN tetapi berlangsung selama 10 menit harus dilaporkan ke P2B atau *Derating* 1% dari DMN tetapi berlangsung selama 6 jam harus juga dilaporkan ke P2B. *Derating* jenis ini tidak diperhitungkan dalam transaksi tenaga listrik, tetapi akan digunakan untuk data operasional. (PT. PLN Persero, 2017). *Losses* adalah Gangguan yang menyebabkan hasil MWH kurang dikarenakan oleh *derating*. Berikut merupakan rumus perhitungan *losses* suatu unit pembangkit listrik tenaga uap :

$$\text{Losses} = \text{produksi daya yang hilang (MW)} \times \text{derating hour (jam)} \quad (2.1)$$

$$\text{Omzet listrik yang hilang} = \text{Losses (MWh)} \times \text{harga jual listrik (Rp/KWh)} \quad (2.2)$$

$$\text{Manfaat finansial} = \text{Omzet listrik yang hilang} - \text{biaya produksi} \quad (2.3)$$

2.11 Trip

Trip di sistem pembangkitan listrik adalah kondisi unit pembangkit yang sedang dalam kondisi operasi, diputus atau distop dengan peralatan *emergency trip* karena alasan keamanan, atau secara tiba-tiba unit pembangkit listrik keluar dari sistem karena terdapat gangguan pada peralatan unit pembangkit listrik itu sendiri atau gangguan yang terdapat pada sistem jaringan luar. Apabila unit pembangkit listrik mengalami *trip* yang disebabkan gangguan dari unit itu sendiri, maka dinyatakan unit pembangkit tersebut *trip* karena gangguan dari dalam. Dan apabila unit pembangkit listrik *trip* disebabkan oleh gangguan dari gangguan yang terjadi pada jaringan luar dan siap dioperasikan kembali maka ini dinyatakan unit pembangkit listrik *trip* karena gangguan dari luar. Namun jika unit pembangkit listrik tidak siap untuk dioperasikan kembali maka dinyatakan keluar paksa (*forced outage*).

2.12 Blackout

Blackout pada jaringan listrik adalah suatu keadaan yang dapat diartikan sebagai pemadaman listrik atau biasa disebut dengan istilah "mati listrik" namun dalam jangkauan luas. Seperti keadaan tiba-tiba suatu wilayah atau daerah kehilangan daya listriknya. Tentu hal ini sangat tidak diinginkan. Banyak pihak yang akan merasa dirugikan. Oleh karena itu kita perlu mengetahui apa yang biasa atau bisa menjadi penyebab terjadinya *blackout*, dan apa saja yang bisa atau sebaiknya kita lakukan sebagai pelanggan listrik. Banyak hal yang bisa menyebabkan terjadinya *blackout*. Perlu kita ketahui dalam suatu sistem kelistrikan penyaluran listrik di bagi menjadi 3 bagian yaitu pembangkit, transmisi, dan distribusi.

Untuk pembangkit listrik bisa berupa pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), dan pembangkit listrik tenaga lainnya. Intinya adalah sumber listrik dihasilkan. Pada pembangkitan listrik ini ada yang di kelola oleh PLN, ada juga oleh anak perusahaannya atau bisa dikelola oleh pihak swasta.

Pada bagian sistem transmisi, bagian yang sering dan kita kenal yaitu tower-tower yang tinggi, besar, dan melintasi berbagai wilayah daerah. Tegangan yang melintasi daerah ini memiliki tegangan yang tinggi, yaitu 150 KV.

Pada sistem pembangkit listrik biasanya *blackout* disebabkan oleh gangguan yang terjadi pada unit pembangkitan (PLTU, PLTD, PLTA, dan lain-lain). Gangguan yang menyebabkan pembangkit listrik *trip* atau mati tentunya akan menyebabkan pasokan listrik pada sistem berkurang. Hal ini biasanya ditandai dengan frekuensi yang menurun. Jika frekuensi terlalu turun dan pembangkit listrik lain tidak bisa menutupi kekurangan tersebut, pada jaringan listrik ada sistem pengaman atau proteksi *under frekuensi relay* (UFR) bekerja. *Under frekuensi relay* akan bekerja jika frekuensi terlalu rendah. Hal ini menyebabkan beberapa daerah mengalami pemadaman listrik.

Kalau pada jaringan transmisi dan distribusi gangguannya hampir sama. Antara gangguan alam, kerusakan alat karena umur atau karenanya kesalahan pemasangan (*human error*), bisa juga ada pengalihan aliran listrik guna perawatan atau perbaikan alat. Contoh yang sering terjadi adalah ada pohon tumbang yang menyebabkan tiang listrik roboh. Jika ini terjadi tentu akan menyebabkan pasokan listrik akan terganggu.

Ketiga bagian pada sistem kelistrikan yaitu pembangkit, transmisi dan distribusi saling berkaitan. Hal yang paling tidak diinginkan atau menakutkan dan dihindari

adalah blackout total, dimana pasokan listrik pada jaringan benar-benar kosong atau kekurangan.

2.13 Tang Ampere (*Clamp Meter*)

Tang Ampere atau dalam bahasa Inggrisnya disebut dengan *Clamp Meter* adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur arus listrik pada sebuah kabel konduktor yang dialiri arus listrik dengan menggunakan dua rahang penjepitnya (*Clamp*) tanpa harus memiliki kontak langsung dengan terminal listriknya. Dengan demikian, kita tidak perlu mengganggu rangkaian listrik yang akan diukur, cukup dengan ditempatkan pada sekeliling kabel listrik yang akan diukur. Pada umumnya, Tang Ampere (*Clamp Meter*) yang terdapat di pasaran memiliki fungsi sebagai Multimeter juga. Jadi selain terdapat dua rahang penjepit, *Clamp Meter* juga memiliki dua *probe* yang dapat digunakan untuk mengukur Resistansi, Tegangan AC, Tegangan DC dan bahkan ada model tertentu yang dapat mengukur Frekuensi, Arus Listrik DC, Kapasitansi dan Suhu. Cara Mengukur Arus Listrik (*Ampere*) dengan menggunakan Tang Ampere (*Clamp Meter*) Cara menggunakan Tang Ampere atau *Clamp Meter* ini sebenarnya cukup mudah, yaitu dengan menjepitkan rahang penjepitnya ke kabel listrik yang diinginkan.

Berikut ini adalah langkah-langkah selengkapnya untuk Mengukur Arus Listrik AC atau Ampere AC dengan menggunakan *Clamp Meter* (Tang Ampere).

- a. Putar atau setting Saklar *Clamp Meter* ke posisi Ampere Meter (biasanya tertulis huruf A dengan gelombang sinus di atasnya).

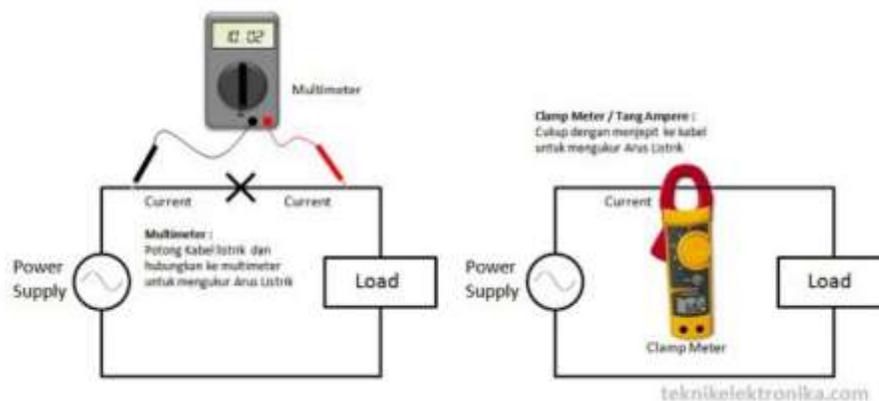
- b. Tekan Trigger untuk membuka rahang Penjepit Clamp Meter atau Tang Ampere.
- c. Jepitkan Rahang penjepit ke kabel Konduktor yang dialiri arus listrik AC (Kabel Listrik berada di tengah-tengah rahang penjepit) kemudian lepaskan Trigger Clamp Meter.

Catatan : Jika kabel listrik tersebut belum dialiri listrik, hubungkan kabel tersebut atau ON-kan perangkat yang ingin diukur arus listriknya.

- d. Baca Nilai Ampere yang tertera di layar Clamp Meter (Tang Ampere). Untuk mengukur Tegangan dan Resistansi, cara pengukurannya hampir sama dengan Multimeter yaitu dengan menggunakan Probe yang dicolokkan di Terminal COM yang berwarna Hitam dan Terminal Positif yang berwarna Merah.

Dibawah ini adalah perbedaan *Multimeter* dan *Clamp Meter* dalam mengukur

Arus listrik :



Gambar 2.28 Perbedaan *Multimeter* dan *Clamp Meter*

Sumber: teknikelektronika.com, 2021

Pada dasarnya, Tang Ampere (*Clamp Meter*) menggunakan prinsip induksi Magnetik untuk menghasilkan pengukuran non-kontak terhadap arus listrik AC. Arus Listrik yang mengalir di kabel *konduktor* akan menghasilkan Medan Magnet. Seperti yang diketahui bahwa, arus AC adalah arus dengan polaritas yang bolak-balik, hal ini akan menyebabkan *fluktuasi* dinamis dalam medan magnet yang sebanding dengan aliran arus listriknya. Sebuah *Transformator* yang terdapat di dalam *Clamp Meter/Tang Ampere* akan merasakan *fluktuasi* magnet tersebut dan kemudian mengkonversikannya menjadi nilai *Ampere* (arus listrik) sehingga kita dapat membacanya di layar *Clamp Meter*. Cara Pengukuran dengan teknologi ini sangat mempermudah kita dalam mengukur arus listrik AC terutama pada arus listrik AC yang tinggi

2.14 Infrared Thermography

Infrared adalah energi yang merupakan bagian dari pancaran gelombang *electromagnetic*, memiliki persamaan sifat dengan cahaya yang tampak, namun infrared tidak tampak oleh mata manusia karena beda panjang gelombang.

Infrared themography adalah pemeriksaan NDT (*Non Destructive test*) atau tanpa melakukan *contact* fisik langsung pada benda tersebut. Infrared thermography sering digunakan untuk kehidupan sehari-hari seperti pengecekan instalasi listrik dan peralatan mekanik (ME) pada pabrik-pabrik, industri pertambangan, gedung bertingkat, supermall, rumah sakit, bandara, pelabuhan dan fasilitas lainnya.

Mengapa pemeriksaan secara *non contact* dengan menggunakan infrared thermography sangat diperlukan? karena dengan cara seperti diatas dapat keuntungan yang di peroleh adalah sebagai berikut:

- a. Proses produksi pada waktu pemeriksaan tidak perlu di hentikan.
- b. Tidak ada perusakan terhadap benda yang diambil data karena hanya pengambilan foto.
- c. Tidak ada benda yang tercemar karena tersentuh saat pemeriksaan.
- d. Bahaya yang ditimbulkan hampir tidak ada.
- e. Proses pengukuran sangat cepat apabila ada pengukuran yang melebihi dari 100 unit tidak memakan waktu yang lama.
- f. Proses analisa adalah melakukan pengecekan lebih cepat dan mudah.
- g. Hemat biaya dan waktu.
- h. Tidak memerlukan banyak orang untuk melakukan pengecekan karena sekali foto sudah dapat terbagi dalam 2 bagian yaitu foto sesungguhnya dan foto thermal. Hasil pemeriksaan dapat disajikan dengan foto visual dan thermal sehingga mudah dalam menganalisa dan melakukan perbaikan.

Manfaat infrared thermography pada kehidupan sehari-hari :

- a. *Preventive Maintenance* : Mengetahui dengan tepat lokasi titik-titik yang mengalami overheatings, sehingga perbaikan dilakukan sebelum kerusakan tersebut terjadi.
- b. *Fire Preventive* : Mencegah bahaya kebakaran, karena setiap titik overheating yang tidak terdeteksi berpotensi untuk memicu timbulnya kebakaran (saat beban di tambah).

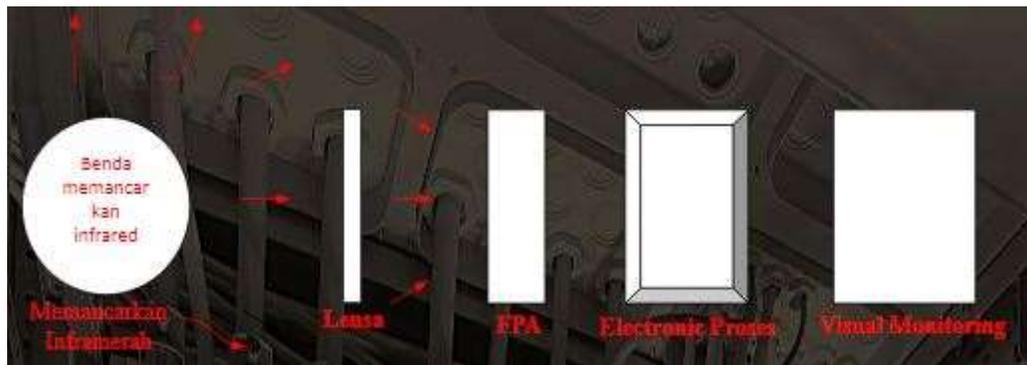
- c. Mengetahui kondisi dari tiap-tiap peralatan ME yang sedang beroperasi (dapat mendeteksi adanya *overloading*, kerusakan komponen yang lewat usia pakai, pemasangan yg tidak tepat /kendor, pelumasan yg kurang baik).
- d. Mengetahui kualitas sambungan/ koneksi kabel/ jaringan listrik (mendeteksi koneksi yang kendor, kotor, berkarat, beban berlebih dan beban tidak seimbang).
- e. Mendeteksi kebocoran pada pipa pipa steam / sambungannya (flanges, valves).
- f. Laporan Infrared dapat dipakai sebagai acuan sebelum melakukan perbaikan/overhaul, sehingga persiapan waktu, suku cadang dan tenaga kerja dapat dipersiapkan terlebih dahulu.
- g. Sebagai audit *maintenance* yang *transparent* dan *independent*. Jika pemeriksaan dilakukan secara periodik (setiap 6 bulan sekali / setiap 1 tahun sekali) seluruh data dan kondisi peralatan serta perubahannya dapat di dokumentasikan.
- h. Dapat menurunkan premi asuransi karyawan karena kondisi setiap peralatan dapat diketahui dengan baik.
- i. Meningkatkan *work-place safety* dan citra management pengelola secara keseluruhan.

Beberapa macam suhu panas yang sering di infrared pada ME dan Panel:

- Instalasi listrik.
- Motor motor listrik, trafo, Busduct dll.
- Lift.

- Kabel yang tidak memenuhi kapasitas pemakaian.
- Koneksi-koneksi kabel.
- Penyekunan pada kabel.
- Sambungan instalasi.
- Mesin mesin pabrik.
- Komponen komponen pada panel (komponen utama, kabel, Cu, skun, aksesoris).

Cara Kerja *Infrared themography*:



Gambar 2.29 Cara Kerja *Infrared themography*
 Sumber: PT. Rickstar Indonesia, 2021

Keterangan gambar:

- Lensa : berfungsi menyaring dan menguatkan infrared yang akan diperiksa sehingga cukup energi untuk diperiksa.
- FPA *unclored micro balometer* : mengubah energi infrared menjadi energi yang terukur dan terlihat oleh mata.
- Electronic proses : energi yang terlihat mata menjadi laporan secara langsung untuk proses selanjutnya dan bisa juga disimpan dalam *memory card*.

- *Visual monitoring* : menampilkan gambar yang mudah untuk dilihat oleh mata dan dimengerti.

Contoh Hasil *Infrared Thermography*



Gambar 2.30 Hasil *Infrared Thermography*
 Sumber: PT. Rickstar Indonesia, 2021

2.15 *Vibration Meter*

Fungsi Vibration Meter adalah alat ukur yang digunakan untuk mendeteksi atau mengetahui kekuatan dan pola (displacement) getaran pada komponen mekanis atau mesin suatu benda.

2.15.1 Pengertian dan Fungsi Vibration Meter

Mengenali Vibration Meter (*Vibration Severity*), berkorelasi erat dengan fungsinya sebagai sebuah alat ukur. Terkait dengan itu, fungsi vibration meter pada dasarnya adalah sebuah alat pengukur yang dirancang khusus dalam mengukur getaran pada sebuah benda tertentu. Benda dalam hal ini adalah sebuah komponen mekanis (mesin) yang bekerja sesuai peruntukannya. Kita bisa memberikan pemisalan, misalnya saja getaran pada sebuah mesin pompa, getaran motor dan getaran pada sebuah mesin pengolahan baik yang berukuran kecil, sedang, maupun mesin berat.

Pertanyaannya kemudian, kenapa getaran penting untuk diukur? Kerena getaran secara fisis menjadi indikasi awal normal atau tidaknya sebuah mesin bekerja. Getaran yang terlalu kuat maupun getaran yang tidak normal bisa menyebabkan sebuah mesin mengalami kerusakan, baik pada bagian dalam dan bagian luarnya. Penggunaan vibration meter sebagai pendeteksi, memungkinkan kita dapat meminimalisir kerusakan mesin yang akan mengakibatkan kerugian lebih lanjut.

Guna mendukung fungsinya, kemampuan pengukuran vibration meter dikembangkan untuk dapat mendeteksi sejumlah parameter (unit pengukuran) yang dihasilkan dari sebuah getaran pada mesin. Dalam hal ini, fungsi vibration meter modern setidaknya memiliki kemampuan dasar untuk mengukur unit pengukuran sebagai berikut :

a. Displacement

Displacement adalah ukuran dari jumlah gerakan yang ada di massa suatu benda. Benda yang dimaksud di sini adalah benda yang gerakannya terpengaruhi oleh vibrasi yang ada. Displacement menjadi perubahan tempat atau posisi dari benda tersebut, bisa maju atau mundur. Besarnya gaya dari displacement ini biasanya dipengaruhi oleh amplitude yang dihasilkan oleh vibrasi. Dengan begitu, makin tinggi amplitude yang ada, maka makin tinggi pula vibrasi yang dihasilkan oleh mesin tersebut. Begitu juga sebaliknya.

b. Velocity

Selanjutnya adalah velocity. Velocity secara singkat diartikan sebagai kecepatan getaran. Dalam hal ini, velocity adalah jumlah waktu yang dibutuhkan ketika terjadinya displacement. Sebagai salah satu dasar pengukuran vibrasi menggunakan vibration meter, velocity bisa disebut sebagai indikator yang paling baik untuk mengetahui apakah ada masalah vibrasi yang terjadi. Masalah vibrasi yang terjadi mencakup unbalance, mechanical loosess, misalignment, hingga kerusakan bearing yang digunakan di dalam mesin tersebut. Velocity melihat ukuran kecepatan dari benda tersebut saat sedang bergerak atau bergetar selama terisolasi.

c. Acceleration

Dasar pengukuran vibrasi dengan vibration meter terakhir adalah acceleration. Dari namanya sendiri, sebenarnya sudah terlihat apa yang dihitung oleh acceleration. Ya, acceleration di dalam praktik pengukuran

vibrasi berguna untuk menghitung percepatan getaran yang ada. Dengan ini, maka acceleration berguna ketika muncul velocity. Namun untuk menggunakan dasar pengukuran vibrasi lewat acceleration, tidak semua tipe mesin bisa diukur menggunakan ini.

Biasanya untuk menggunakan pengukuran acceleration, jenis mesin yang paling pas adalah mesin-mesin yang berputar, atau biasa disebut dengan *rotating equipment*. Analisis yang dihasilkan acceleration sangat penting untuk mesin yang berputar. Biasanya, dengan acceleration, maka akan terdeteksi kerusakan yang biasanya muncul di bagian bearing hingga gearbox yang memiliki kecepatan tinggi.

Deteksi masalah dari acceleration pun bisa terlihat lebih cepat dan lebih awal.

1) Cara Penggunaan Vibration Meter

Kita akan mengenali fungsi Vibration Meter lebih jauh dari cara penggunaannya. Cara menggunakannya relatif mudah, kita cukup menempelkan sensor vibration maupun magnetic base pada benda yang akan diukur. Nantinya, akan muncul sebuah data angka kekuatan getaran di layar pengukur pada alat.

Secara teknis, langkah pertama yang dilakukan menghidupkan alat dengan menekan tombol ON/OFF yang ada. Sebagai catatan, kita perlu melakukan pengecekan bagian komponen baterai untuk memastikan vibration meter bisa digunakan dengan optimal. Setelah alat vibration meter menyala, sekarang saatnya melakukan pengukuran vibrasi. Caranya adalah dengan menempelkan sensor vibration atau magnetix base yang ada ke bagian mesin yang akan diukur. Dari sensor vibration yang ada inilah, akan muncul

data yang dikirimkan ke bagian *dynamic signal analyzer*. Dari *dynamic signal analyzer* inilah, maka akan terlihat angka vibrasi di bagian display layar LCD.

Guna mendapatkan pengukuran data yang baik dan tepat, sebaiknya kita bisa memastikan tingkat getaran yang ada di mesin tersebut bekerja seperti modus atau nilai yang sering muncul. Kemudian ambil nilai rata-ratanya (median) dari nilai-nilai getaran yang dihasilkan mesin tersebut. Dengan demikian, Kita bisa mendapatkan hasil akhir yang tepat dan sesuai dengan pengukuran yang ada. Hasil pengukuran inilah yang selanjutnya digunakan sebagai patokan dasar dalam melakukan tindakan perbaikan, maupun pengaturan getaran yang sesuai dengan ambang batas yang ditentukan.

2) Rekomendasi Model Vibration Meter

Sedikit telah disinggung sebelumnya, bahwa terdapat 2 jenis perangkat pengukuran vibration meter, magnetic base dan sensor (probe) vibrasi. Perangkat inilah yang ditempelkan pada mesin yang akan diukur kekuatan getarannya. Kedua jenis perangkat pengukuran tersebut sesungguhnya dari segi fungsi, hanya berbeda sesuai dengan model alat vibration meternya.

Bagi Anda yang memiliki kebutuhan akan alat ini, Kami merekomendasikan 3 model Vibration Meter dengan perangkat pengukuran yang berbeda. Ketiga model ini telah digunakan secara luas, baik untuk kebutuhan workshop perbengkelan, industri pengolahan dan lainnya. Ketiga model tersebut adalah sebagai berikut :

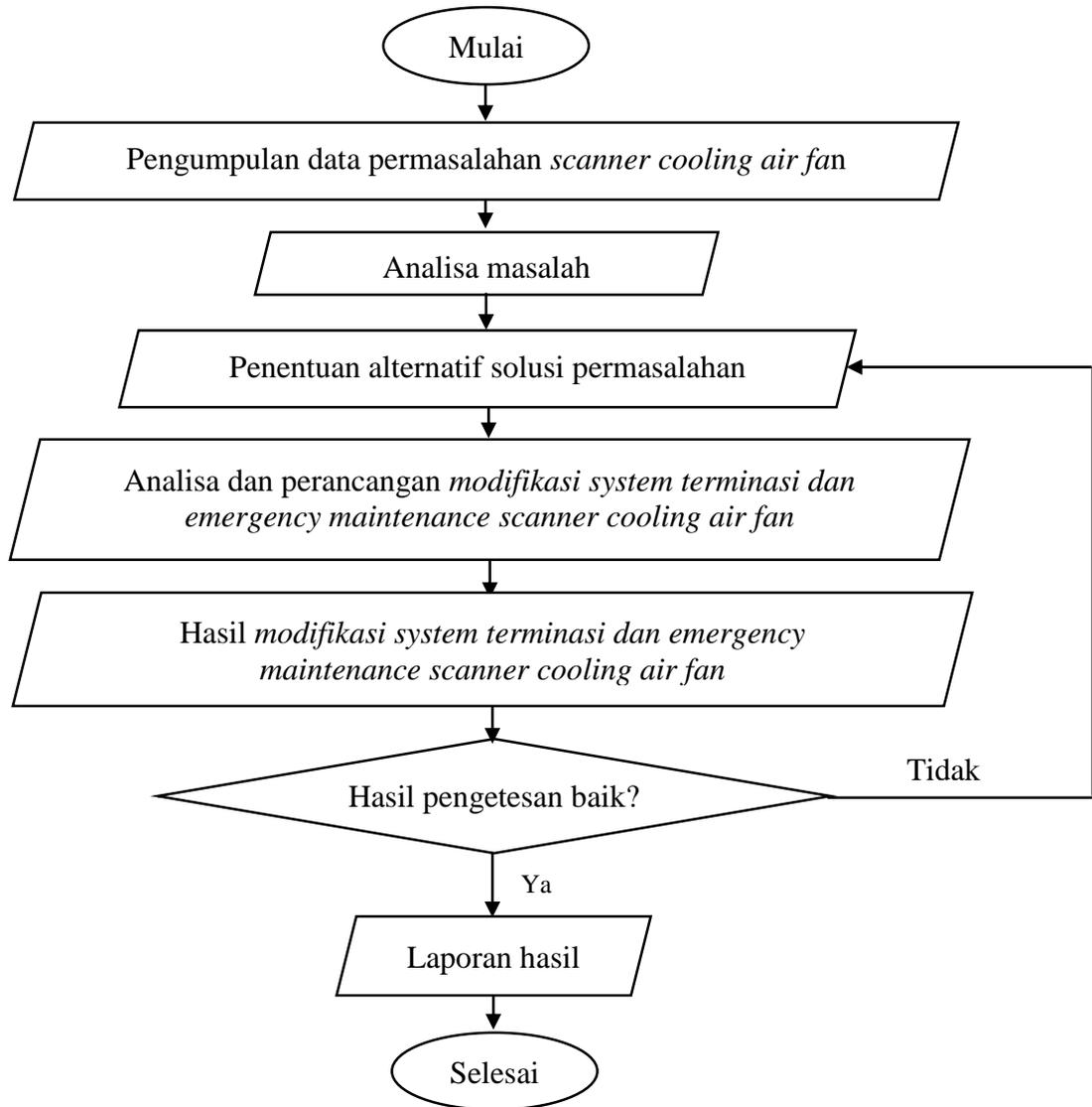
- 1) Vibration Meter VB-8200 LUTRON. Model ini menggunakan memiliki 2 perangkat pengukuran yang dapat dipilih, magnetic base dan sensor vibration.
- 2) Vibration Meter Portable AS63A SMART SENSOR. Model ini didesain portable untuk memudahkan penggunaannya secara mobile. Menggunakan sensor vibration sebagai perangkat pengukuran.
- 3) Landtek Vibration Meter VM-8200. Model ini adalah model lengkap yang mencakup seluruh parameter dasar dalam pengukurana getaran (Acceleration, Velocity, Displacement and RPM reading).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alur Penelitian

Tahapan yang akan dilakukan untuk menganalisis *modifikasi system terminasi dan emergency maintenance scanner cooling air fan* (PLTU) Pangkalan Susu.



Gambar 3.1 *Flowchart* Metode Penelitian

Sumber: Penulis, 2020

3.1.1 Pengumpulan Data

Dalam proses pengumpulan data ini penulis mencari data-data yang terpercaya dan valid menurut bidangnya. Meliputi:

- a. *Interview* permasalahan kepada operator unit pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di Pangkalan Susu.
- b. Mengecek *history* permasalahan kejadian pada Distribute Control System (DCS) di *Central Control Room* (CCR) pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di Pangkalan Susu.
- c. Mengecek kondisi di *local* (lokasi kejadian).

Terjadi berbagai masalah pada *scanner cooling air fan* (SCAF) di PNS OMU.

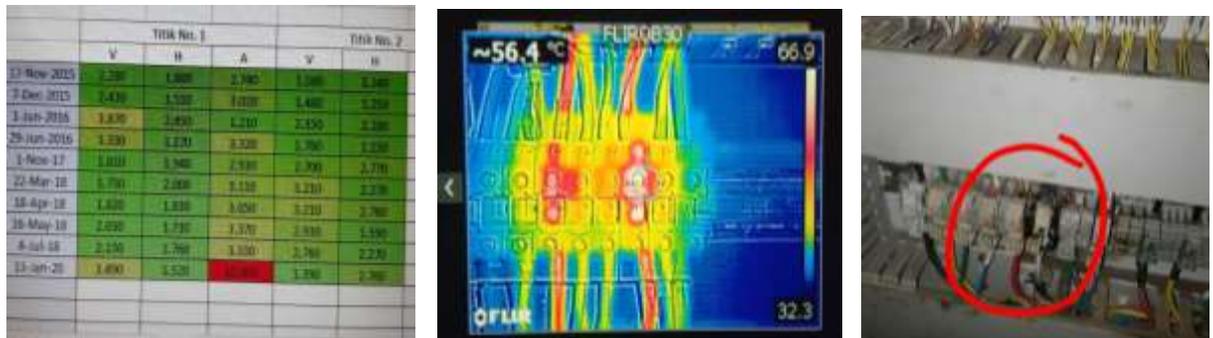
Pada tahun 2016 Kontaktor pada SCAF 1B terbakar, dan pada 2017 dan 2018 terminal kabel pernah terbakar yang menyebabkan unit 1 tidak bisa beroperasi.

Berikut ini adalah Workorder dari masalah-masalah tersebut:

- a. (201614678) Kontaktor Scanner Cooling Air Fan 1B N2 Terbakar
- b. (201713750) Perbaikan Terminal Kabel pada Panel Local Flame Scanner Cooling Fan Terbakar
- c. (201816540) HLT - Perbaikan Kabel Terbakar pada Terminal Motor Scanner Cooling Fan
- d. (201816541) HLT - Perbaikan Kabel Terbakar pada Terminal Motor Scanner Cooling Fan

3.1.2 Analisis

Setelah dilakukan pemeriksaan, didapatkan bahwa temperature dari terminal tinggi mencapai 66.9°C dan saat terjadi vibrasi yang tinggi pada SCAF yang sedang beroperasi, operator ragu untuk melakukan changeover secara normal karena berpotensi unit akan terjadi trip disebabkan kondisi SCAF yang tidak bisa running 2 secara bersamaan. Apabila dilakukan changeover berpotensi menyebabkan pressure udara akan turun beberapa saat yang dapat menjadi permit trip (MFT) pada unit. Berikut ini adalah gambar data vibrasi dan temperature terminal block beserta wiring SCAF 1B dan interlock bagi SCAF 1A.



Gambar 3.2 Vibrasi dan Temperature SCAF

Sumber: Penulis, 2020

Berdasarkan data-data yang telah didapatkan pada proses pengumpulan data maka analisis yang dilakukan meliputi :

- Mengidentifikasi data permasalahan yang telah didapatkan serta mencari kemungkinan-kemungkinan yang menjadi penyebab.
- Menentukan alternatif solusi permasalahan.
- Melaksanakan perancangan solusi permasalahan

Dari masalah diatas maka didapatkan alternatif penyelesaian masalah yang terjadi dan mengatasi masalah-masalah lain pada sistem SCAF Unit 1.

Tabel 3.1 Kajian Alternatif Solusi

No	Aspek	Bobot (%)	Alternatif 1 (Emergency Start)			Alternatif 2 (Merubah Wiring)		
			Ket.	Nilai	Skor	Ket.	Nilai	Skor
1	Ketersediaan, Kemudahan & Keandalan	30	Material tersedia, mudah didapat dan Keandalan jauh lebih baik dari eksisting Kualitas baik	9	2,7	Material tersedia, Tetapi secara kontrol Harus diuji kembali keandalannya	6	1,8
2	Kualitas	20	Kualitas baik	8	1,6	Kualitas baik	8	1,6
3	Kesulitan	15	Sederhana	8	1,2	Rumit	6	0,9
4	Kompatibilitas	10	Kompatibel dengan eksisting	8	0,8	Kompatibel dengan eksisting	8	0,8
5	K3 & Lingkungan	10	Tidak berdampak terhadap lingkungan secara umum	8	0,8	Tidak berdampak terhadap lingkungan secara umum	8	0,8
6	Biaya	15	Biaya investasi relatif rendah	8	1,2	Biaya investasi relatif tinggi	6	0,9
	Total Nilai	100			8,3			6,8

Sumber: Penulis, 2020

Dengan begitu alternatif terbaik untuk menyelesaikan masalah pada alternatif pertama.

3.1.3 Hasil Penelitian

Berdasarkan penelitian analisis permasalahan *scanner cooling air fan* pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) unit 1 di Pangkalan Susu, hasil perancangan solusi dapat dilihat pada bab selanjutnya (Bab 4).

3.1.4 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran pada penelitian ini dapat dilihat pada Bab 5.

3.2 Spesifikasi Peralatan

Peralatan-peralatan yang digunakan di unit jasa pembangkitan (UJP) pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di Pangkalan Susu memiliki spesifikasi sebagai berikut :

3.2.1 Boiler

Tipe boiler yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) unit 1 dan 2 yaitu *subcritical pressure, four corner tangentially fired, natural circulation with steam drum, single furnace II arrangement, single reheat, balanced draft, tri-sector regenerative air heater*.

Spesifikasi boiler pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Unit 1 dan 2 :

a. Manufacture	Dongfang Boiler Group Co.Ltd, China
b. Parameter	BMCR
c. Main steam Flow	693 / 660 T/H
d. Main steam outlet Pres.	13.43 Mpa.g.
e. Mainsteam outlet Temp.	540 Deg C
f. RH Flow	603.7 T/H

g. RH inlet / outlet Press. 2.6 / 2.4 Mpa.g.

h. RH inlet / outlet Temp. 323 / 540 Deg C

(Wang Xiaoning, 2013)

3.2.2 Turbin

Turbin yang digunakan di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Pangkalan Susu unit 1 dan 2 merupakan produk *Beijing Beizhong Steam Turbine Generator Co., Ltd.* Model N220 -12.75/535/535 bertipe *condensing turbine, subcritical pressure, single reheat, triple casings, two exhaust steam.*

Spesifikasi turbin pada PLTU Unit 1 dan 2 adalah :

- | | |
|--|---|
| a. Rated Power | 220 MW |
| b. Maximum Power (VWO) | 229 MW |
| c. HP Turbine Rated Pressure | 12.75 Mpa.a |
| d. HP Turbin Rated Temperature | 535 ⁰ C |
| e. Main Steam Flow (VWO/TRL) | 693 / 660 T/H |
| f. HP casing exhaust steam pres. (TRL) | 2.6163Mpa.a |
| g. IP Turbine Rated Pressure (TRL) | 2.3025 Mpa.a |
| h. IP Turbine Rated Temp. (VWO/TRL) | 535 ⁰ C / 535 ⁰ C |
| i. Condenser backpressure | 8.7 kPa.a (rated stator cooling
water temperature 30 ⁰ C) |
| j. Feedwater Temperature | 251.3 ⁰ C |
| k. Arah putaran rotor searah putaran jarum jam dilihat dari turbine ke arah
Generator | |

Field Voltage	472 V
Rated Field Current	1845 A

Sumber: PLN UDIKLAT, 2016

3.2.4 Scanner Cooling Air Fan

SCAF berfungsi untuk mengisolasi flame detector dari temperature tinggi akibat pembakaran dari boiler.

Tabel 3.3 Spesifikasi Scanner Cooling Air Fan di PLTU Pangkalan Susu

Nameplate SCAF PNS OMU Unit 1			
1	Power	7500	W
2	Voltage	380	V
3	Ampere	14.32	A
4	Speed	2900	rpm
5	Air Pressure	9000-10000	Pa
6	Air Flow	1450-1600	m ³ /h
7	Frequency	50	Hz
8	Weight	Motor: 60	kg

Sumber: Penulis, 2020

3.3 Proteksi Main Fuel Trip (MFT)

Main fuel trip (MFT) adalah sebuah proteksi dari sisi sistem yang ada di boiler yang mana bisa membuat unit *trip* ketika aktifnya proteksi ini dikarenakan gangguan pada sisi boiler. Gangguan-gangguan tersebut meliputi :

1. MFT *button*
2. All FD *fan trip*
3. All ID *fan trip*
4. PA *fan trip and mill running*

5. *No preheater running*
6. *All burner flame no fire*
7. *Boiler drum level HHH*
8. *Boiler drum level LLL*
9. *Boiler furnace pressure HH*
10. *Boiler furnace pressure LL*
11. *Flame scanner lose cooling air*
12. *Boiler wind rate less than minimum*
13. *Turbine ETS trip*
14. *Lose fuel*
15. *ETS & bypass closed & fuel >20%*
16. *Delay ignition*
17. *Ignition 3 times*
18. *Reheat Temperature HH*
19. *Superheat Temperature HH*
20. *Main steam pressure HH*

Sumber: Penulis, 2020

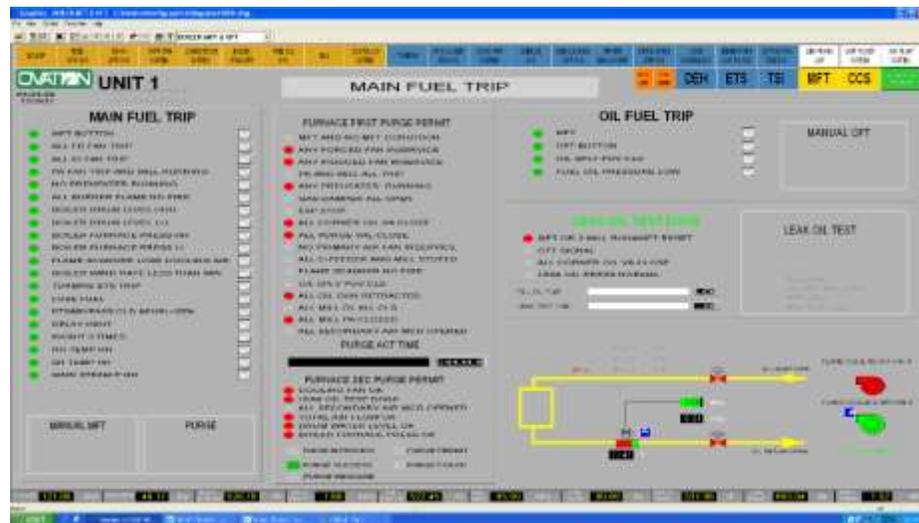
3.4. *Distributed Control System*

Distributed control system (DCS) digunakan untuk pengendalian proses produksi yang mempunyai karakteristik dimana proses produksi berlangsung secara kontinu (terus - menerus) dan terdapat banyak proses yang tersebar secara geografis. Selain proses kontinu, *Distributed control system* (DCS) juga banyak diaplikasikan

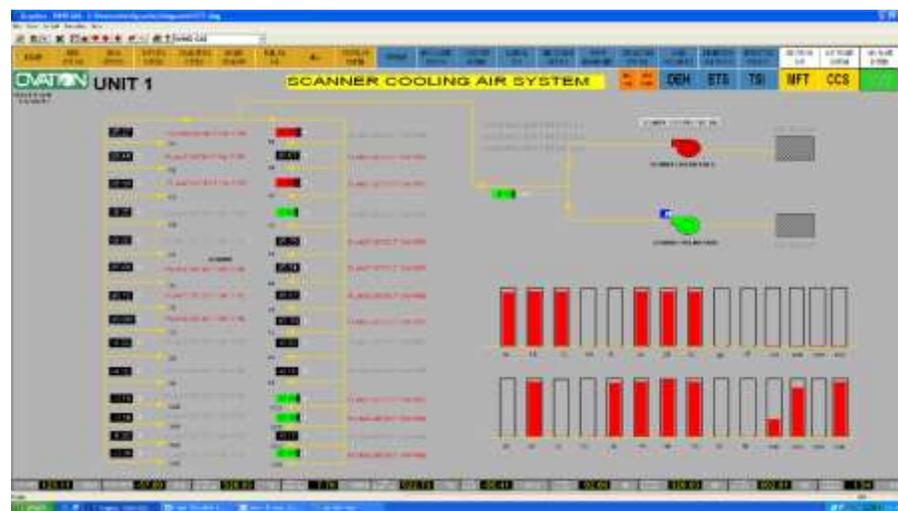
pada kontrol proses jenis semi kontinu atau batch. Contoh industri yang proses produksinya berlangsung secara kontinu 24 jam sehari, 7 hari dalam seminggu secara terus menerus adalah industri penambangan minyak dan gas dan pembangkit tenaga listrik. Sedangkan industri yang proses produksinya berlangsung secara batch diantaranya adalah industri semen, industri makanan dan minuman, industri petrokimia, industri obat-obatan, peleburan besi dan industri kertas.

Distributed control system (DCS) merupakan suatu pengembangan sistem kontrol digital dengan menggunakan komputer dan peraralan elektronik lainnya agar didapat suatu pengontrol suatu loop sistem lebih terpadu dan dapat dilakukan oleh semua orang dengan cepat dan mudah. *Distributed control system* (DCS) dapat digunakan untuk mengontrol proses produksi di industri baik dalam skala kecil, menengah maupun besar. (Muhammad Ali, 2012).

Tampilan pada *distributed control system* (DCS) terdiri atas beberapa layar yang digunakan untuk mengontrol sistem pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Berikut layar-layar yang akan ditampilkan ini akan menambah wawasan serta mendukung / memperkuat analisis yang akan penulis jabarkan pada bab berikutnya. Adapun gambarnya terdiri atas :



Gambar 3.3 Tampilan *Main Fuel Trip* (MFT) Ketika Normal Operasi
 Sumber: Penulis, 2020



Gambar 3.4 Tampilan *Scanner Cooling Air Fan* Ketika Normal Operasi
 Sumber: Penulis, 2020

Berdasarkan dua gambar di atas (gambar 3.3 dan gambar 3.4) ditampilkan kondisi layar *main fuel trip* (MFT) maupun layar *scanner cooling air fan* ketika kondisi normal operasi pada monitor *distributed control system* (DCS). Tidak ada

indikasi alarm pada layer *main fuel trip* (MFT) serta *scanner cooling air fan* ada yang beroperasi dan tekanan yang dihasilkan dalam batasan aman.

Selanjutnya pada gambar 3.5 tampilan layar *main fuel trip* (MFT) ketika terjadi *trip* dan *alarm* yang muncul adalah sinyal *flame scanner lose cooling air*. Ini menandakan bahwa *flame scanner* kehilangan udara pendinginnya. Untuk analisis lebih lanjutnya akan diterangkan di bab selanjutnya. (Penulis, 2020)



Gambar 3.5 Tampilan *Main Fuel Trip* (MFT) pada *Distribute Control System* (DCS) Ketika Terjadi *Trip*

Sumber: Penulis, 2020

BAB 4

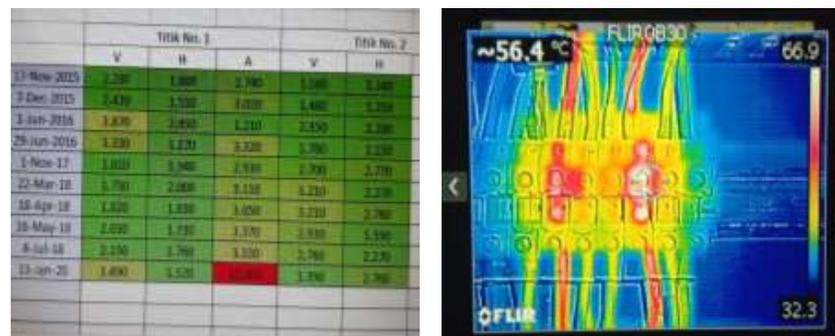
HASIL PENELITIAN

4.1 Analisa Perancangan *System terminasi dan emergency maintenance scanner cooling air fan*

Analisa ini penulis susun berdasarkan perancangan sistem yang penulis dapatkan dari proses pengumpulan data di PLTU Pangkalan Susu.

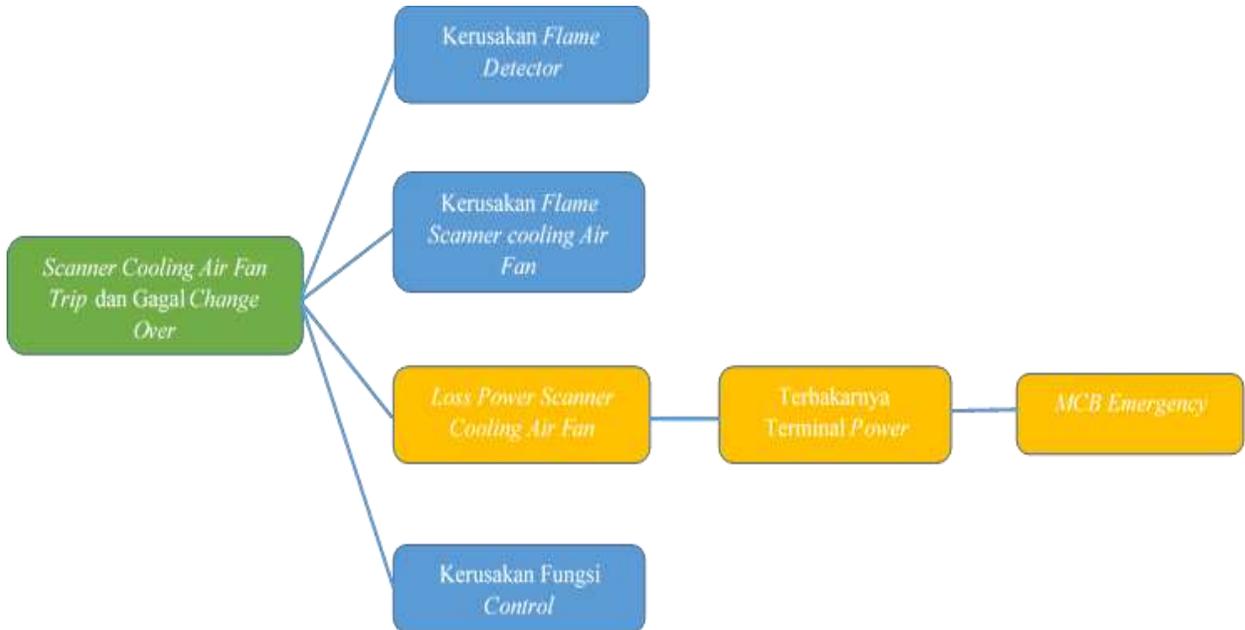
2.5.1 Penentuan Alternatif Penyelesaian

Berdasarkan Analisis pemeriksaan sebelumnya yaitu didapatkan bahwa temperature dari terminal tinggi mencapai 66.9°C dan saat terjadi vibrasi yang tinggi pada SCAF yang sedang beroperasi, operator ragu untuk melakukan changeover secara normal karena berpotensi unit akan terjadi trip disebabkan kondisi SCAF yang tidak bisa running 2 secara bersamaan. Apabila dilakukan changeover berpotensi menyebabkan pressure udara akan turun beberapa saat yang dapat menjadi permit trip (MFT) pada unit. Berikut ini adalah gambar data vibrasi dan temperature terminal block beserta wiring SCAF 1B dan interlock bagi SCAF 1A.



Gambar 4.1 *Vibrasi dan Temperature SCAF*
Sumber: Penulis, 2020

Berdasarkan data yang penulis dapatkan dari PLTU Pangkalan Susu, penyebab permasalahan pada perbaikan *Scanner Cooling Air Fan* dapat diatasi dengan menganalisa akar permasalahan dari peralatan *Scanner Cooling Air Fan*. Berikut ini merupakan *Root Cause Failure Analysis Scanner Cooling Air Fan Trip* yang di alami pada Unit 1 PLTU Pangkalan Susu.



Gambar 4.2 Analisa akar permasalahan *Scanner Colling Air Fan*
 Sumber : PT. Indonesia Power PNS OMU, 2020

Berdasarkan hasil *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) kejadian permasalahan pada *Scanner Cooling Air Fan*. Salah satu penyebab permasalahan itu adalah terbakarnya terminal *power* dan sering terjadi kegagalan *change over*. Dalam hal tersebut untuk perbaikannya diperlukan penggantian secara *online*, berdasarkan hal tersebut maka perlu dibuat *MCB emergency* agar perbaikan atau penggantian terminal *power* dapat dilakukan secara *online* tanpa mengganggu kinerja dari *Scanner Cooling Air Fan*.

Tabel 4.1 Kajian Alternatif Solusi

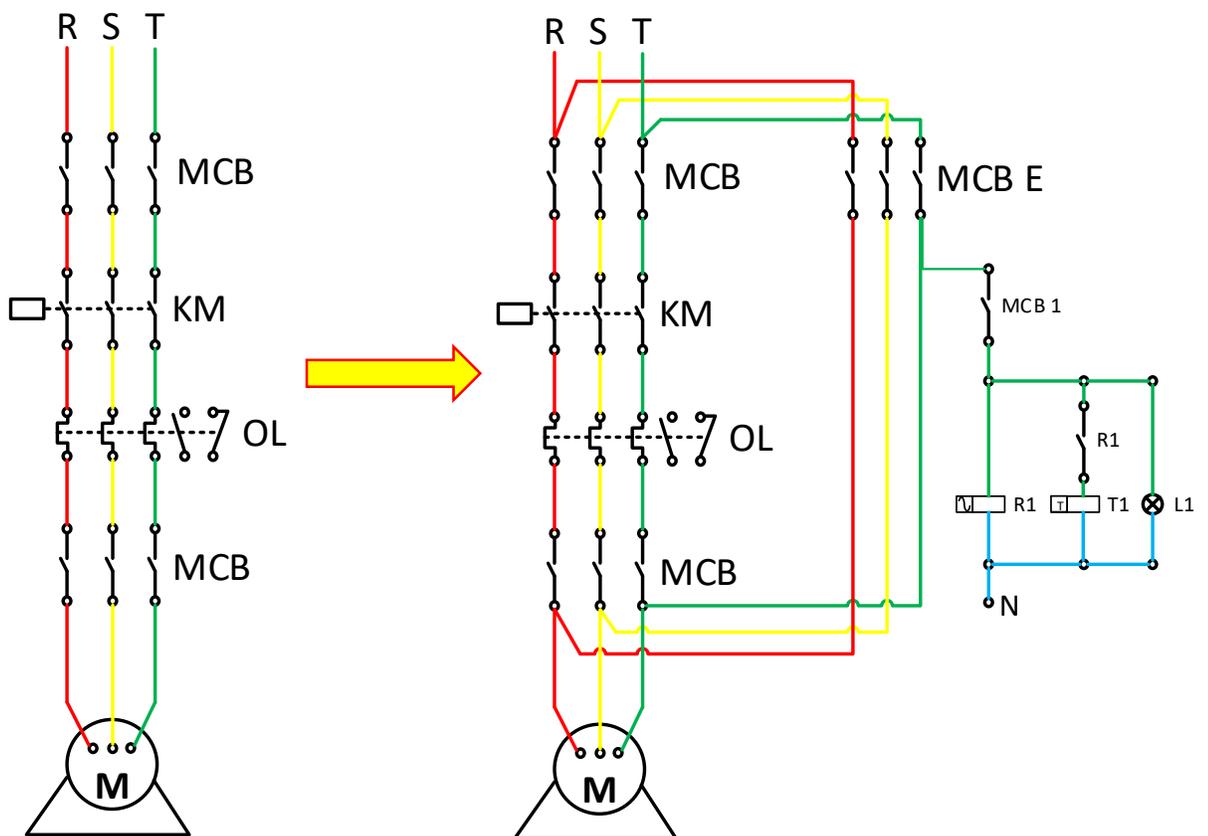
No	Aspek	Bobot (%)	Alternatif 1 (Emergency Start)			Alternatif 2 (Merubah Wiring)		
			Ket.	Nilai	Skor	Ket.	Nilai	Skor
1	Ketersediaan, Kemudahan & Keandalan	30	Material tersedia, mudah didapat dan Keandalan jauh lebih baik dari eksisting Kualitas baik	9	2,7	Material tersedia, Tetapi secara kontrol Harus diuji kembali keandalannya	6	1,8
2	Kualitas	20	Kualitas baik	8	1,6	Kualitas baik	8	1,6
3	Kesulitan	15	Sederhana	8	1,2	Rumit	6	0,9
4	Kompatibilitas	10	Kompatibel dengan eksisting	8	0,8	Kompatibel dengan eksisting	8	0,8
5	K3 & Lingkungan	10	Tidak berdampak terhadap lingkungan secara umum	8	0,8	Tidak berdampak terhadap lingkungan secara umum	8	0,8
6	Biaya	15	Biaya investasi relatif rendah	8	1,2	Biaya investasi relatif tinggi	6	0,9
	Total Nilai	100			8,3			6,8

Sumber: Penulis, 2020

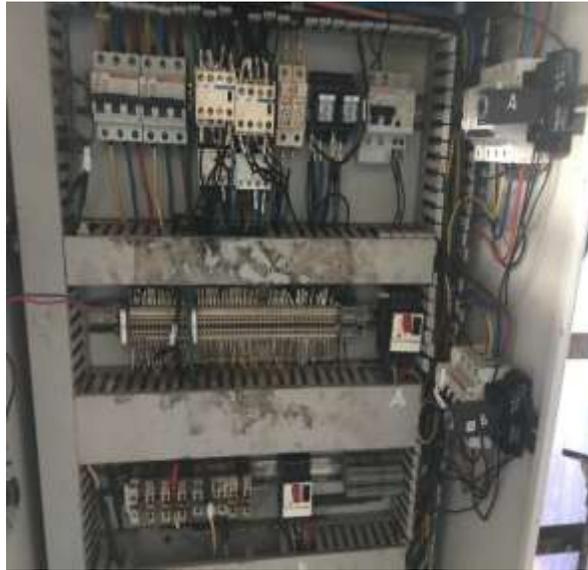
Dengan begitu alternatif terbaik untuk menyelesaikan masalah pada alternatif pertama.

4.1.2 Perancangan *System terminasi dan emergency maintenance scanner cooling air fan*

Perancangan Sistem yang dilakukan pada terminasi *Scanner Cooling Air Fan* adalah dengan modifikasi yaitu melakukan penambahan pada sisi *bypass terminasi scanner cooling air fan* dari *power* ke motor. Modifikasi ini meliputi penambahan *MCB* dan *jalur bypass terminasi*. Sambungan nya menggunakan *skunshock* agar lebih kuat. Penambahan terminasi ini akan mempermudah dalam melakukan *change over* peralatan dan menambah kehandalan serta *safety* pada *scanner cooling air fan*.



Gambar 4.3 Perancangan diagram *Terminasi Emergency SCAF*
 Sumber: Penulis, 2020



Gambar 4.4 Implementasi *Terminasi Emergency SCAF*
Sumber: Penulis, 2020

Gambar di atas adalah *implementasi* perancangan *System terminasi dan emergency maintenance scanner cooling air fan* yang sudah di terapkan di PLTU Pangkalan Susu.

4.1.3 Penentuan *Material* yang digunakan

Tabel 4.2 Spesifikasi SCAF

Nameplate SCAF PNS OMU Unit 1			
1	Power	7500	W
2	Voltage	380	V
3	Ampere	14.32	A
4	Speed	2900	rpm
5	Air Pressure	9000-10000	Pa
6	Air Flow	1450-1600	m ³ /h
7	Frequency	50	Hz
8	Weight	Motor: 60	kg

Sumber: Penulis, 2020

Berdasarkan data pada table tersebut dapat kita tentukan :

- Ukuran kabel

$$3 \times I \text{ nominal} = 3 \times 14,32 = 42,96$$

Maka kita pakai kabel ukuran yang 6 mm

- Kapasitas breaker

$$3 \times I \text{ nominal} = 42,96$$

Maka kita pakai breaker MCB 40 A

- Overload disetting sesuai I nominal sesuai arus yaitu 14,32 A

Tabel 4.3 Material yang digunakan

No	Uraian	Qty	Unit	Unit Price	Harga Sub-total (Rp)		Harga (Rp)
				(Rp)	Jasa	Material	
A	Material						
1	MCB 40 A	2	Set	280.000		560.000	560.000
2	Relay 220V (8 Pin) + Socket	2	Set	160.000		320.000	320.000
3	Kabel NYM 6x6 mm	10	m	40.000		400.000	400.000
4	Kabel NYAF 1,5 mm	2	m	10.000		20.000	20.000
5	Skun Shock	6	Set	10.000		60.000	60.000
6	Skun Ferulles	6	Set	45.000		270.000	270.000
7	Heat Shrink Tube 10 mm	5	Batang	20.000		100.000	100.000
8	Timer	2	Set	240.000		480.000	480.000
9	Rel Terminal	2	Batang	20.000		40.000	40.000
	Sub Total A						2.250.000
	PPN 10%						225.000
	Total						2.475.000

Sumber: Penulis, 2020

Berikut ini merupakan pengujian operasi dan pemantauan *System terminasi* dan *emergency maintenance scanner cooling air fan* sebelum dan setelah di

tambahkan *terminasi emergency*. Pengujian *changer over* dan pemantauan parameter operasi.

Tabel 4.4 Pengujian *Change Over SCAF A ke SCAF B*

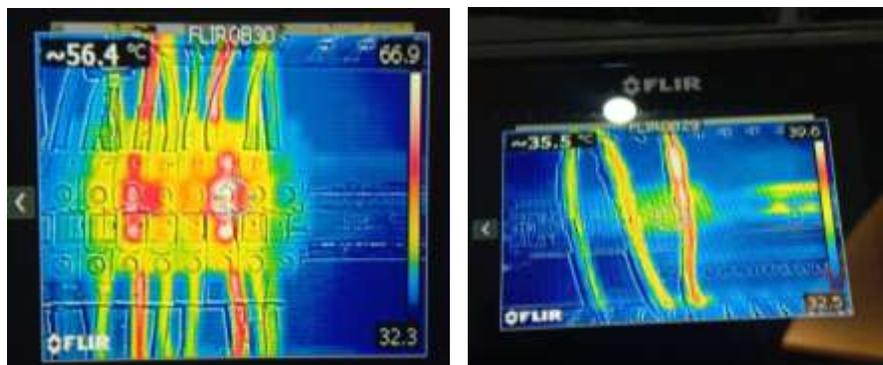
	Sebelum C/O	Proses C/O	Setelah C/O
Running	SCAF A	SCAF A&B	SCAF B
Pressure	9.12 kpa	9.2 kpa	9.13 kpa
Arus	12 A	12 A	12 A
Vibrasi	Normal	Normal	Normal
Suara	Normal	Normal	Normal
Tegangan	380	380	380

Sumber: Penulis, 2020

Tabel 4.5 Pengujian *Change Over SCAF B ke SCAF A*

	Sebelum C/O	Proses C/O	Setelah C/O
Running	SCAF B	SCAF A&B	SCAF A
Pressure	9.13 kpa	9.3 kpa	9.11 kpa
Arus	12 A	12 A	12 A
Vibrasi	Normal	Normal	Normal
Suara	Normal	Normal	Normal
Tegangan	380	380	380

Sumber: Penulis, 2020



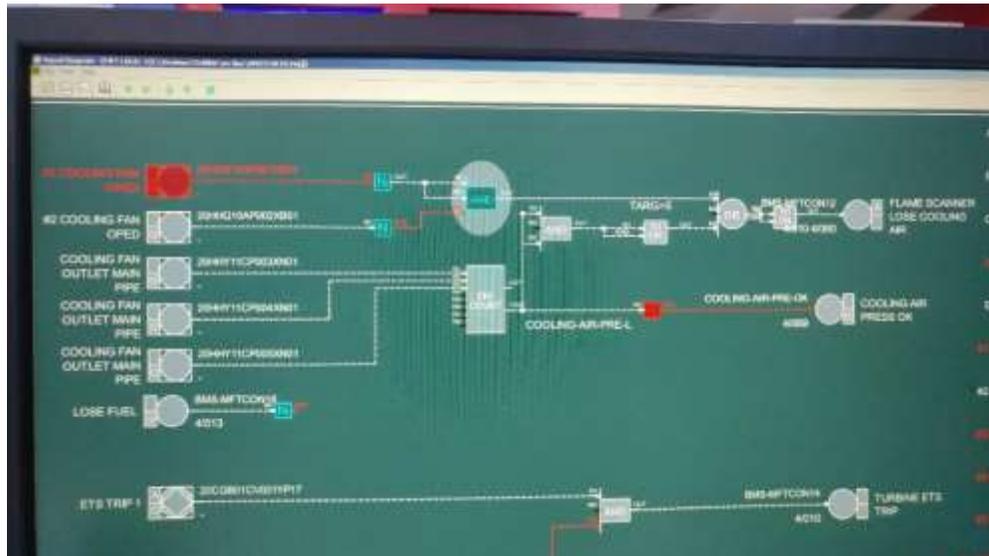
Gambar 4.5 Temperatur Sebelum dan Setelah

Sumber :Penulis, 2020

Dari hasil pengetesan memperoleh hasil yang aman untuk proses *change over* peralatan. Jadi peralatan dapat di *change over* dengan *terminasi* tambahan tersebut saat ada masalah atau ada *maintenance* pada salah satu SCAF, seperti *cleaning* filter, dan lain-lain.

4.2 Sistem Kerja *Terminasi Emergency*

Sequence atau sinyal diagram yang diterapkan dalam sistem kendali pengoperasian pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang berkaitan dengan *scanner cooling air fan* pada unit 1 pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di Pangkalan Susu dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Signal diagram *Flame Scanner Lose Cooling Air*

Sumber: Penulis, 2020

Dalam penerapan sinyal diagram tersebut, apabila *scanner cooling air fan* tidak beroperasi maka akan mengeluarkan sinyal “0”. Masing-masing keluarannya mendapatkan gerbang NOT sehingga akan berubah menjadi kebalikannya. “1”

menjadi “0”, ataupun sebaliknya. Dan hasil dari keluaran dari kedua sinyal *scanner cooling air fan* tersebut dimasukan ke gerbang AND. Sehingga keluarannya akan bernilai “1” apabila kedua *fan* tidak beroperasi. Nilai “1” tersebut dapat mengaktifkan sinyal *flame scanner lose cooling air* karena keluarannya bertemu dengan gerbang OR yang mana akan aktif apabila bertemu masukan “1”.

Selanjutnya, apabila aktif tiga buah sinyal *cooling air pressure low low* maka akan memberikan keluaran “1” karena bertemu gerbang AND dengan masukan sinyal dari *cooling air pressure ok* yang mana akan bernilai sama dengan kondisi tekanannya. Sinyal “1” tersebut juga dapat mengaktifkan sinyal *flame scanner lose cooling air* dengan *time delay* 5 detik.

Berdasarkan penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa penyebab munculnya sinyal *flame scanner lose cooling air* ada 2, yaitu :

- a. Tidak adanya *scanner cooling air fan* yang beroperasi / kedua *fan stop*.
- b. Rendahnya tekanan udara pendingin ke *flame scanner* (ditandai dengan aktifnya ketiga sinyal *low low pressure*).

Dalam kejadian ini dapat disimpulkan bahwa sinyal yang aktif terlebih dahulu adalah tidak adanya *scanner cooling air fan* yang beroperasi / kedua fan stop. Karena pressurennya turun setelah kedua fan *trip* (Penulis, 2020).

Terminasi emergency ini bekerja saat *operator* ingin melakukan *change over* peralatan agar tidak terjadi penurunan *pressure* yang dapat menyebabkan *trip* peralatan.

Yaitu mengikuti prosedur pengoperasian berikut:

- MCB SCAF A dan MCB SCAF B ON
- Motor A *running*
- On kan motor B (*remote* atau lokal)
- Motor A dan B *running*
- Pastikan *gate outlet* fan di tengah atau mendekati tengah
- Periksa ampere kedua motor (10-14 A)
- *Off* kan motor A

4.3 Performa *Scanner Cooling air Fan*

Tabel 4.6 Data monitoring terminasi emergency SCAF

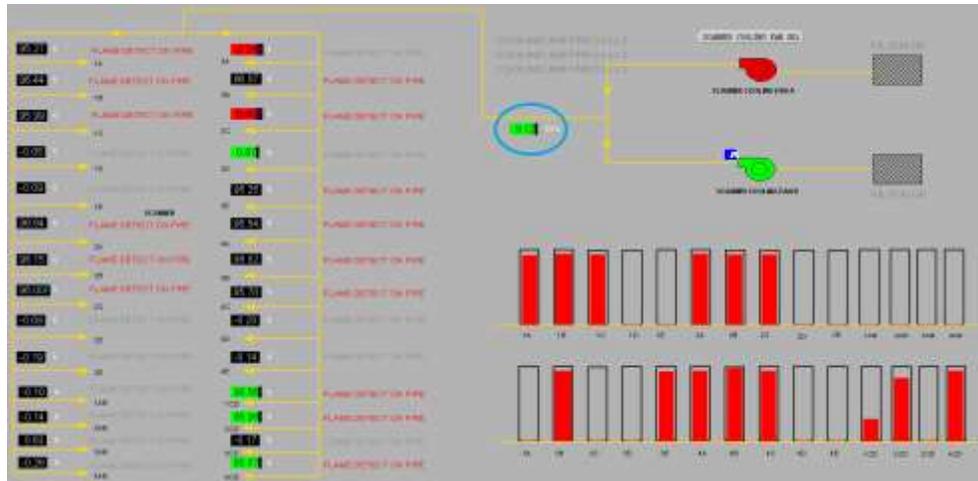
No	Tanggal	SCAF	Change Over	Pressure	Vibrasi	Keterangan
1	13-April-20	1A	1B	Normal	Normal	Pengetesan
2	13-Juli-20	1B	1A	Normal	Normal	Pengetesan
3	10-Maret-21	1A	1B	Normal	Normal	Pengetesan

Sumber : Penulis, 2021

Dari Tabel 4.6 menunjukkan *scanner cooling air fan* pasca diterapkannya *terminasi emergency*. Dapat disimpulkan kondisi *scanner cooling air fan* beroperasi dengan normal saat diperlukan melakukan *change over* peralatan. Pressure dan vibrasi normal membuktikan bahwa performa peralatan dapat berfungsi dengan baik, sehingga menjaga keandalan *scanner cooling air fan* dalam melindungi *flame scanner* untuk pembacaan *parameter* boiler PLTU.

4.3.1 Hasil Monitoring *change over scanner cooling air fan*

Berikut ini tampilan pada setelah proses *change over scanner cooling air fan* dilakukan. Pada tampilan gambar HMI DCS tersebut pressure *scanner cooling air fan* berwarna hijau yang artinya pressure terjaga normal.



Gambar 4.7 Hasil Monitoring Peralatan

Sumber: Penulis, 2020

4.3.2 Perbandingan Kondisi Sebelum Dan Sesudah Pemasangan *Terminasi Emergency*

Kondisi sebelum dilakukan pemasangan sistem *terminasi emergency SCAF*, sering terjadi kesulitan saat melakukan *change over* peralatan dikarenakan beresiko tinggi akan pressure turun dan dapat menyebabkan trip. Modifikasi *terminasi emergency SCAF* telah dilaksanakan pada saat unit stop pemeliharaan terencana unit 1 dan unit 2 yang dilakukan pada bulan Maret-April 2020. Dan sudah dilakukan pengetesan sesuai prosedur yang telah dibuat. Pada tanggal 13 April 2020 dilakukan pengetesan *change over* dengan *terminasi emergency SCAF*

seperti pada tabel 4.4 dan tabel 4.5. Hasil pengetesan baik dengan normal nya parameter operasi seperti pressure, vibrasi dan lainnya. Dari tabel 4.6 dapat disimpulkan bahwa modifikasi dengan perancangan sistem *terminasi emergency SCAF* cukup efektif karena dapat menjaga kinerja *safety* peralatan dan menjaga keandalan *Scanner Cooling Air Fan* di PLTU Pangkalan Susu. Berikut merupakan data hasil perbandingan kondisi sebelum dan sesudah pemasangan perancangan sistem *terminasi emergency SCAF*.

Tabel 4.7 Proses Pengoperasian *Change Over* Peralatan dan Pemeliharaan

Kondisi	Sebelum	Sesudah
Harus Stop Satu SCAF	Ya	Tidak
Penurunan Pressure	Ya	Tidak
Perbaikan Terminasi	Offline	Online

Sumber: Penulis, 2021

Berdasarkan Tabel 4.7 menunjukkan *terminasi emergency SCAF* menurunkan resiko-resiko pengoperasian yang dapat menyebabkan masalah pada peralatan saat melakukan proses *change over* peralatan. Dan apabila terjadi permasalahan pada jalur terminasi dapat dilakukan perbaikan secara online tanpa harus stop peralatan.

4.4 Manfaat Finansial

Terminasi Emergency ini perlu dibuat karena kegagalan SCAF dapat menyebabkan boiler *trip*, jika boiler *trip* maka unit *trip*, sehingga perkiraan kerugian akibat kegagalan *changeover* SCAF ini adalah sebagai berikut (*estimasi trip* unit sampai dengan *sinkron* adalah 6 jam).

Mengalami *trip* dengan beban 200 MW = 200.000 KW

Kerugian dalam 1 jam ($200.000 \text{ KW} \times \text{Rp}.1.352 = \text{Rp}.270.400.000,-$)

Maka kerugian dalam 6 jam ($\text{Rp}.270.400.000 \times 6 = \text{Rp}.1.622.400.000,-$)

Pemakaian batu bara yaitu 110 ton/jam

Maka biaya batu bara dalam 6 jam ($660 \text{ ton} \times \text{Rp}.800.000 = \text{Rp}.528.000.000,-$)

Biaya modifikasi Pemasangan *Terminasi Emergency* SCAF = $\text{Rp}.2.475.000,-$

Penghematan yang dapat diperoleh adalah:

$\text{Rp}.1.622.400.000 - \text{Rp}.528.000.000 - \text{Rp}.2.475.000 = \text{Rp}.1.091.925.000,-$

4.5 Manfaat Non Finansial

Dengan diterapkannya *Terminasi Emergency* ini maka terdapat manfaat non finansial, yaitu:

1. Unit pembangkit semakin handal
2. Kinerja *Scanner Cooling Air Fan* menjadi lebih baik
3. Eksekusi dalam melakukan *changeover* lebih aman dan lebih baik.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan analisa perancangan *terminasi dan emergency maintenance scanner cooling air fan* pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Pangkalan Susu unit 1 dan 2, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Perancangan *system terminasi dan emergency maintenance scanner cooling air fan* berfungsi untuk membantu proses *change over* peralatan *scanner cooling air fan* menjadi lebih *safety*.
- b. Perancangan *system terminasi dan emergency maintenance scanner cooling air fan* ini bekerja sebagai jalur *power emergency* agar saat *change over* SCAF bisa *running* aman, dan apabila terjadi kerusakan MCB utama, kita dapat melakukan pergantian *online*.
- c. Implementasi perancangan *system terminasi dan emergency maintenance scanner cooling air fan* ini mampu mengoptimalkan kinerja *scanner cooling air fan* sehingga lebih aman dalam melakukan *change over* peralatan, melakukan perawatan secara *online*, serta meminimalisir potensi terjadinya masalah atau trip pada *scanner cooling air fan*.
- d. Perancangan *system terminasi dan emergency maintenance scanner cooling air fan* ini memiliki manfaat yang baik dari segi finansial dengan meminimalisir potensi kerugian sebesar Rp 1.091.925.000,-

5.2 Saran

- a. Modifikasi Pemasangan *Terminasi Emergency SCAF* ini bisa direkomendasikan juga untuk dipasang di unit-unit lain sejenis untuk mencegah *trip* unit saat *change over SCAF*.
- b. Diharapkan ada pengembangan pada perancangan *system terminasi dan emergency maintenance scanner cooling air fan* untuk kedepanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Yani, D. M. (2018). *Rancangan Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Uap Mini Sebagai Media Praktikum Mahasiswa*. Jurnal Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Industri Bontang, 7.
- Alvera Siburian, S. (2019). *Statistik Pertanian Kabupaten Simalungun 2018*. Kabupaten Simalungun: Badan Pusat Statistik Kabupaten Simalungun.
- Aprita, I. R. (2016). *Produksi Biopellet Dan BioBriket Dari Ampas Seduhan Dan Cangkang Biji Kopi Dengan Dan Tanpa Pra Perlakuan Bahan Pada Berbagai Komposisi Perikat*. Bogor Agricultural, 6.
- Aryza, S., Irwanto, M., Lubis, Z., Siahaan, A. P. U., Rahim, R., & Furqan, M. (2018). A Novelty Design Of Minimization Of Electrical Losses In A Vector Controlled Induction Machine Drive. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 300, No. 1, p. 012067). IOP Publishing.
- Budiawan , L. (November,2014). *Pembuatan Dan Karakterisasi Briket Bioarang Dengan Variasi Komposisi Kulit Kopi*. Jurnal Bioproses Komoditas Tropis 2, , 2.
- Faujiah. (2016). *Pengaruh Konsentrasi Perikat Tepung Tapioka Terhadap Kualitas Briket Arang Kulit Buah Nipah (Nyfa fruticans wurmb)*. Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin.
- Fitri, N. (2017). *Pembuatan Briket Dari Campuran Kulit Kopi (Coffea Arabica) Dan Serbuk Gergaji Dengan Menggunakan Getah Pinus (Pinus merkusii) Sebagai Perikat*. Fakultas Sains dan Teknologi , UIN Alauddin Makassar.
- Hamdani, H., Tharo, Z., & Anisah, S. (2019, May). Perbandingan Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Antara Daerah Pegunungan Dengan Daerah Pesisir. In Seminar Nasional Teknik (Semnastek) Uisu (Vol. 2, No. 1, pp. 190-195).
- Humairah, M. A. (2017). *Analisis Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Riau-Tenayan Dengan Kapasitas 2 x 110 MW*. Teknik Elektro, 11-14.
- Narti , D. (2019). *Pengaruh Jenis Bahan Bakar Biobriket Terhadap Unjuk Kerja Pada Miniatur Pembangkit Listrik Tenaga Uap*. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makasar.

- Putri, M., Wibowo, P., Aryza, S., & Utama Siahaan, A. P. Rusiadi.(2018). An implementation of a filter design passive lc in reduce a current harmonisa. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(7), 867-873.
- Rahmaniar, R. (2019). *Model flash-nr Pada Analisis Sistem Tenaga Listrik* (Doctoral Dissertation, Universitas Negeri Padang).
- Syaifuddin Muhammad, B. D. (2018). *Model Pembangkit Listrik Tenaga Limbah Kayu Di Kabupaten Konawe Sulawesi Tenggara*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang, 2.
- Warmadewanthi, P. (2010). *ECO-BRIQUETTE DARI KOMPOSIT KULIT KOPI LUMPUR IPAL PT SIER, DAN SAMPAH PLASTIK LDPE*. Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XI, 2.