



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED*
MAINTENANCE (RCM) PADA *COOLING TOWER*
PLTGU PT XYZ**

SKRIPSI

Oleh:

Oswin Tolovan Hutabarat

NIM. 2102421026

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
JUNI, 2025**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED
MAINTENANCE* (RCM) PADA *COOLING TOWER*
PLTGU PT XYZ**

SKRIPSI

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan
Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi,
Jurusan Teknik Mesin

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh:

**Oswin Tolovan Hutabarat
NIM. 2102421026**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
JUNI, 2025**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) PADA *COOLING TOWER* PLTGU PT XYZ

Oleh:

Oswin Tolovan Hutabarat
NIM. 2102421026

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1


Dr. Dianta Mustofa Kamal, S.T., M.T
NIP. 197312282008121001

Pembimbing 2


Dr. Eng. Pribadi Mumpuni Adhi, S.Si., M.Eng.
NIP. 198901312019031009

Kepala Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi


Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T
NIP. 196605191990031002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) PADA *COOLING TOWER* PLTGU PT XYZ

Oleh :

Oswin Tolovan Hutabarat

NIM. 2102421026

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 17 Juni 2025 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Dr. Dianta Mustofa Kamal, S.T., M.T. NIP. 197312282008121001	Ketua		17/06/2025
2.	Dr. Paulus Sukusno, S.T., M.T. NIP. 197707142008121005	Anggota 1		17/06/2025
3.	Dr. Gun Gun Ramdhan Gunadi, S.T., M.T. NIP. 197111142006041001	Anggota 2		17/06/2025



Depok, 17 Juni 2025

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr.Eng. Muslimin, S.T., M.T. IWE.
NIP.197707142008121005



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Oswin Tolovan Hutabarat

NIM : 2102421026

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam skripsi telah saya kutip dan rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 17 Juni 2025



Oswin Tolovan Hutabarat

NIM. 2102421026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) PADA *COOLING TOWER* PLTGU PT XYZ

Oswin Tolovan Hutabarat¹⁾, Dianta Mustofa Kamal¹⁾, Pribadi Mumpuni Adhi¹⁾,

¹⁾Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424

Email : oswin.tolovan.hutabarat.tm21@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRAK

Cooling tower merupakan asset penting dalam menjaga parameter temperature operasional steam turbine generator (STG) pada proses produksi listrik pada pembangkit listrik tenaga gas uap (PLTGU), sehingga penting bagi perusahaan untuk memastikan kinerja *cooling tower* tetap andal dan optimal melalui proses pemeliharaan yang tepat. Sehingga penting untuk dapat menentukan komponen kritis *cooling tower*, tindakan pemeliharaan yang tepat, dan mengetahui waktu rata-rata kerusakan dan waktu rata-rata perbaikan komponen kritis. Metode *reliability centered maintenance* (RCM) merupakan suatu proses yang dapat digunakan untuk menentukan strategi pemeliharaan yang sesuai dengan konteks operasional dan konsekuensi kegagalan pada suatu asset. Hasil implementasi RCM pada *cooling tower* PLTGU PT XYZ didapat *spray nozzle* sebagai komponen kritis dengan RPN 180 pada komponen *spray nozzle*, dan tiga komponen dengan klasifikasi *condition base* (CD) diantaranya yaitu *spray nozzle*, *shaft composite*, baut *drive coupling* sehingga dapat dilakukan tindakan perawata *predictive maintenance* (PdM), dan empat komponen dengan klasifikasi *finding failure* (FF) diantaranya yaitu pipa *outlet cooling water pump* (CWP), *valve drain*, *sight glass*, tanki kimia sehingga dapat dilakukan tindakan perawatan *preventive maintenance* (PM). Kemudian didapat *mean time to failure* (MTTF) *spray nozzle* adalah 912,41 jam atau 38,018 hari dan *mean time to repair* (MTTR) *spray nozzle* adalah 63,75 menit.

Kata Kunci: *reliability centered maintenance*, menara pendingin, pemeliharaan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRACT

Cooling tower is an important asset in maintaining the operational temperature parameters of steam turbine generator (STG) in the electricity production process at the combine cycle power plant (CCPP) so it is important for the company to ensure the performance of the cooling tower remains reliable and optimal through the right maintenance process. So it is important to be able to determine the critical components of the cooling tower, the right maintenance actions, and know the average time of damage and the average time of repair of critical components. The reliability centered maintenance (RCM) method is a process that can be used to determine a maintenance strategy that is appropriate to the operational context and the consequences of failure on an asset. The results of the implementation of RCM on the cool tower of PLTGU PT XYZ obtained a spray nozzle as a critical component with RPN 180, and three components with a condition base (CD) classification including the spray nozzle, composite axis, drive clutch bolt so that predictive maintenance (PdM) can be carried out, and four components with a Finding Failure (FF) classification including the CWP outlet pipe, valve drain, sight glass, chemical tank so that preventive maintenance (PM) can be carried out. Then the mean time to failure (MTTF) of the spray nozzle was 912.41 hours or 38.018 days and the mean time to Repair (MTTR) of the spray nozzle was 63.75 minutes.

Keywords: *reliability centered maintenance, cooling tower, maintenance*

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan berkat dan karunianya-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Implementasi *Reliability Centered Maintenance (RCM)* Pada *Cooling Tower* PLTGU PT XYZ”**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi sarjana terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tiada terhingga kepada:

1. Bapak Dr.Eng. Muslimin, S.T., M.T. IWE. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta
2. Bapak Cecep Slamet Abadi, S.T, M.T. selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Jakarta
3. Bapak Dr. Dianta Mustofa Kamal, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing I yang telah membimbing dengan sabar, dan memberikan motivasi kepada penulis selama proses penulisan skripsi.
4. Bapak Dr.Eng. Pribadi Mumpuni Adhi, S.Si., M.Eng. sebagai dosen pembimbing II yang telah membimbing dengan sabar, dan memberikan motivasi kepada penulis selama proses penulisan skripsi.
5. Kedua Orang Tua yaitu Bapak Timbul Hutabarat dan Ibu Oppon Merry Lisma Sinurat atas dukungan cinta, kasih sayang, waktu, energi, pikiran, doa, dan materi untuk mengusahakan pendidikan anaknya dalam mencapai gelar ini.

Depok, 17 Juni 2025

Oswin Tolovan Hutabarat

NIM. 2102421026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PENYATAAN ORISINALITAS.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Pertanyaan Penelitian.....	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
1.7 Sistematikan Penulisan.....	6
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Landasan Teori.....	7
2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU).....	7
2.1.2 Cooling Tower.....	9
2.1.3 Komponen Cooling Tower.....	11
2.1.4 Pemeliharaan.....	17
2.1.5 Jenis-jenis Pemeliharaan.....	17
2.1.6 Reliability Centered Maintenance (RCM).....	18



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.1.7	<i>Functional Block Diagram (FBD)</i>	19
2.1.8	<i>Failure Mode Effect and Analysis (FMEA)</i>	19
2.1.9	<i>Logic Tree Analysis (LTA)</i>	22
2.1.10	<i>Task Selection</i>	24
2.1.11	Keandalan.....	26
2.1.12	Fungsi Keandalan.....	27
2.1.13	Laju Kerusakan (<i>Failure Rate</i>)	27
2.1.14	Fungsi Distribusi Kerusakan.....	29
2.1.15	Penentuan Distribusi <i>Time To Failure</i> dan <i>Time To Repair</i>	33
2.1.16	Estimasi Parameter.....	34
2.1.17	<i>Mean Time To Failure (MTTF)</i>	36
2.1.18	<i>Mean Time To Repair (MTTR)</i>	37
2.2	Kajian Literatur	37
2.3	Kerangka Pemikiran.....	41
BAB III		43
METODE PENELITIAN		43
3.1	Jenis Penelitian.....	43
3.2	Objek Penelitian	44
3.3	Metode Pengambilan Sampel.....	44
3.4	Jenis dan Sumber Data Penelitian	45
3.5	Metode Pengumpulan Data Penelitian	45
3.6	Metode Analisis Data	46
BAB IV		48
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		48
4.1	Pengolahan Data Kualitatif	48
4.2.1	<i>Functional Block Diagram (FBD)</i>	48
4.2.2	<i>Failure Mode Effect and Analysis (FMEA)</i>	49



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.2.3	<i>Logic Tree Analysis (LTA)</i>	51
4.2.4	<i>Task Selection</i>	52
4.2	Pengolahan Data Kuantitatif	54
4.2.1	Penentuan Distribusi Data Antar Waktu Kerusakan (<i>Time To Failure</i>).....	54
4.2.2	Penentuan Distribusi Data Antar Waktu Perbaikan (<i>Time To Repair</i>).....	59
4.2.3	Perhitungan Parameter Distribusi Data Waktu Kerusakan (<i>Time To Failure</i>).....	64
4.2.4	Perhitungan Parameter Distribusi Data Waktu Perbaikan (<i>Time To Repair</i>).....	64
4.2.5	Penentuan Nilai Tengah Distribusi Data Waktu Kerusakan (<i>Mean Time To Failure</i>).....	64
4.2.6	Penentuan Nilai Tengah Distribusi Data Waktu Pebaikan (<i>Mean Time To Repair</i>).....	65
BAB V		66
PENUTUP		66
5.1	Kesimpulan	66
5.2	Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA		68
LAMPIRAN		72



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Format FMEA	19
Tabel 2. 2 <i>Severity</i>	20
Tabel 2. 3 <i>Occurance</i>	20
Tabel 2. 4 <i>Detection</i>	21
Tabel 2. 5 Format LTA	22
Tabel 2. 6 Format <i>Selection Task</i>	24
Tabel 3. 1 Spesifikasi <i>Cooling Tower</i>	44
Tabel 4. 1 <i>Failure Mode Effect and Analysis Cooling Tower</i>	50
Tabel 4. 2 <i>Logic Tree Analysis (LTA) Cooling Tower</i>	51
Tabel 4. 3 <i>Task Selection Cooling Tower</i>	52
Tabel 4. 4 <i>Index Of Fit Time To Failure</i>	57
Tabel 4. 5 <i>Index Of Fit Time To Repair</i>	62

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Data Kerusakan Unit PLTGU PT XYZ.....	2
Gambar 1. 2 Diagram Pareto RPN.....	4
Gambar 2. 1 Proses PLTGU PT XYZ	7
Gambar 2. 2 Siklus Gabungan	8
Gambar 2. 3 <i>Cooling Tower</i> PLTGU PT XYZ.....	10
Gambar 2. 4 Komponen <i>Cooling Tower</i>	11
Gambar 2. 5 <i>Fan Stack</i>	12
Gambar 2. 6 <i>Fan</i>	12
Gambar 2. 7 <i>Gear Box</i>	13
Gambar 2. 8 <i>Drive Shaft</i>	13
Gambar 2. 9 <i>Drift Eleminator</i>	14
Gambar 2. 10 <i>Spray Nozzle</i>	15
Gambar 2. 11 <i>Filler</i>	15
Gambar 2. 12 <i>Hot Basin</i>	16
Gambar 2. 13 <i>Cold Basin</i>	16
Gambar 2. 14 <i>Road Map Logic Tree Analysis</i>	24
Gambar 2. 15 <i>Road Map Task Selection</i>	26
Gambar 2. 16 <i>Bathub Curve</i>	27
Gambar 2. 17 Kurva Distribusi Normal.....	29
Gambar 2. 18 Kurva Distribusi Lognormal	30
Gambar 2. 19 Kurva Distribusi Weibull.....	31
Gambar 2. 20 Kurva Distribusi Eksponensial.....	32
Gambar 3. 1 Diagram Alir.....	43
Gambar 4. 1 <i>Functional Block Diagram</i>	48
Gambar 4. 2 Kurva Distribusi Eksponensial <i>Time To Failure</i>	58
Gambar 4. 3 Kurva Distribusi Eksponensial <i>Time To Repair</i>	63



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik memiliki peran yang sangat penting pada berbagai aspek dalam kehidupan masyarakat. Menurut KESDM konsumsi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan dari 1.173 kWh/kapita pada tahun 2022 menjadi 1.337 kWh/kapita pada tahun 2023, lalu mengalami kenaikan kembali menjadi 1.411 kWh/kapita pada tahun 2024, serta pada 2025 ditargetkan mengalami peningkatan konsumsi listrik perkapita menjadi 1.439 kWh/kapita [1]. Fenomena kenaikan target konsumsi listrik perkapita merupakan suatu indikator berkembangnya kebutuhan masyarakat terhadap penggunaan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari.

Indonesia adalah negara penghasil gas alam, salah satu bentuk pemanfaatan gas alam adalah sebagai sumber bahan bakar pada pembangkit listrik tenaga gas uap. Pembangkit listrik tenaga gas uap dinilai memiliki efisiensi yang cukup baik dikarenakan menggunakan siklus gabungan (*combine cycle*) dalam produksi listrik. Efisiensi turbin gas dalam menghasilkan listrik berkisar 28%-33%, dengan pemanfaatan kembali gas buang dalam memanaskan uap untuk menggerakkan turbin uap dapat meningkatkan efisiensi pembangkit listrik hingga berkisar 60% [2]. Indonesia tercatat memiliki pembangkit listrik tenaga gas uap dengan total kapasitas daya terpasang sebesar 13.951 MW [3].

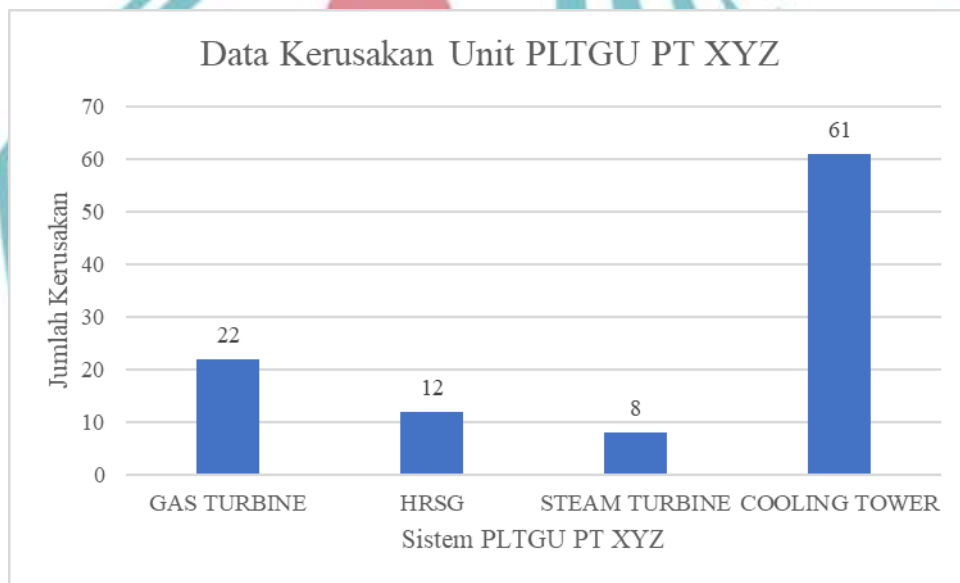
PLTGU PT XYZ memproduksi listrik dengan memanfaatkan gas alam sebagai sumber bahan bakar yang digunakan *gas turbine generator* (GTG), gas buang hasil sisa pembakaran dimanfaatkan kembali untuk memanaskan *heat recovery steam generator* (HRSG) untuk menghasilkan uap kering yang digunakan untuk menggerakkan *steam turbine generator* (STG). Pada PLTGU parameter temperatur mempengaruhi keberlangsungan proses operasional produksi listrik, sehingga dibutuhkan sistem pendinginan yang mampu menjaga parameter temperatur operasional sesuai dengan standar parameter yang sudah ditentukan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Menara pendingin atau *cooling tower* merupakan sebuah sistem pendingin pada *steam turbine generator*. *Cooling tower* dirancang untuk menyerap secara maksimal perpindahan panas dari air keluaran alat penukar panas, panas pada permukaan air akan dilepaskan ke lingkungan dengan bantuan aliran udara. Air yang sudah melalui proses pelepasan panas pada *cooling tower* akan memiliki temperatur yang lebih rendah kemudian disirkulasikan kembali pada alat penukar panas berupa: *surface condenser*, *gland steam condenser*, *lube oil heat exchanger*, *heat exchanger vacuum pump*, *water cooler generator*.



Gambar 1. 1 Data Kerusakan Unit PLTGU PT XYZ

Sumber: Pengolahan Data

Gambar 1.1 menunjukkan data historis kerusakan keseluruhan unit PLTGU PT XYZ selama 6 tahun yang terhitung pada periode 2018-2024. Tercatat *cooling tower* memiliki kerusakan paling tinggi dengan jumlah kerusakan sebanyak 61 kerusakan dari total keseluruhan kerusakan sebanyak 103 kerusakan. Berdasarkan fungsinya *cooling tower* merupakan asset penting dalam proses produksi listrik pada *steam turbine generator* dalam menjaga temperatur operasional, sehingga diperlukan perhatian khusus pada proses pengoperasian dan pemeliharaan pada *cooling tower*.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berdasarkan data historis kerusakan *cooling tower* PLTGU PT XYZ, selama 6 tahun yang dihitung pada periode 2018-2024 tercatat terjadi 7 mode kerusakan komponen pada *cooling tower*. Mode kegagalan yang terjadi berupa: *spray nozzle* pecah, baut *drive shaft* patah, *shaft composite fan* patah, kebocoran pipa *outlet cooling water pump*, kerusakan *valve*, kebocoran *chemical tank*, kebocoran *sight glass lube oil gearbox*.

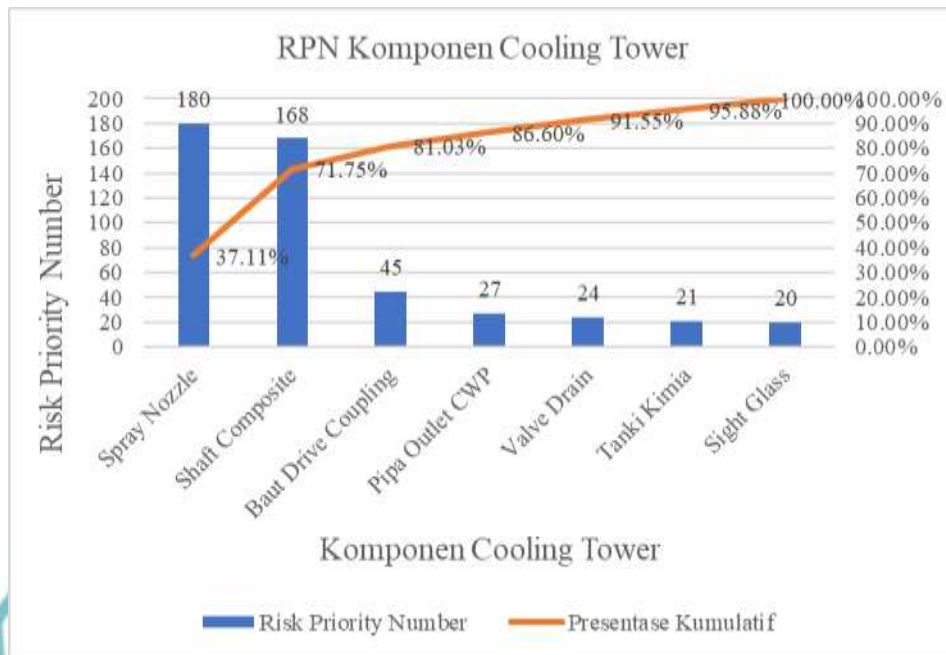
Kerusakan komponen dapat mempengaruhi temperatur air pendingin yang masuk dan keluar sehingga menyebabkan terjadinya penurunan efektivitas *cooling tower* PLTGU [4]. Penurunan efektivitas *cooling tower* dapat memicu terjadinya kenaikan temperatur operasional pada *steam turbine generator*. Faktor penyebab kerusakan komponen dapat diakibatkan oleh proses operasional yang tidak sesuai dengan *standard operational procedure* (SOP), tidak dilaksanakannya pemeliharaan terjadwal, serta lambatnya penanganan kerusakan yang dapat memicu terjadinya *trip* pada *cooling tower* [5].

Reliability centered maintenance (RCM) merupakan suatu proses untuk dapat menentukan jenis pemeliharaan yang sesuai dengan konteks operasional dan konsekuensi kegagalan pada suatu asset [6]. Metode RCM dapat mempermudah proses indentifikasi kerusakan dengan melibatkan data operasional, pola kerusakan berdasarkan data historis perawatan sehingga dapat menghasilkan strategi perawatan dalam upaya mencegah kerusakan. Fleksibilitas metode RCM dapat diterapkan pada *cooling tower* PLTGU PT XYZ dalam upaya menjaga fungsi asset sesuai dengan parameter standar operasional yang sudah ditetapkan.

Komponen kritis merupakan komponen yang memiliki dampak signifikan terhadap kinerja asset. Implementasi RCM dapat menghasilkan pemetaan terhadap komponen kritis pada suatu asset sehingga dapat mengidentifikasi komponen yang rentan mengalami kegagalan, sehingga komponen tersebut menjadi prioritas. Pemetaan komponen kritis juga membantu dalam perencanaan sumber daya berupa tenaga kerja dan suku cadang sehingga dapat dialokasikan dengan efisien dalam menjaga kinerja asset. Penentuan komponen kritis didasarkan oleh *risk priority number* (RPN).

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 1. 2 Diagram Pareto RPN

Sumber: Pengolahan Data

Gambar 1.2 merupakan diagram pareto *risk priority number* (RPN) pada mode kegagalan yang terjadi pada *cooling tower* PLTGU PT XYZ. Berdasarkan hasil perhitungan $severity \times occurrence \times detection$ komponen *spray nozzle* dengan kerusakan *spray nozzle* pecah memiliki nilai RPN sebesar 180 dan memiliki presentase sebesar 37,11% dari total keseluruhan RPN, sehingga penelitian ini akan berfokus pada komponen *spray nozzle* menunjukkan potensi yang signifikan terhadap kerusakan yang terjadi pada *cooling tower*.

Berdasarkan latar belakang diatas penulis melakukan penelitian berjudul “Implementasi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Pada *Cooling Tower* PLTGU PT XYZ” yang bertujuan melakukan pemetaan terhadap komponen kritis, mengetahui langkah perawatan yang tepat, dan mengetahui rata-rata waktu kerusakan dan rata-rata waktu perbaikan komponen kritis *cooling tower*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang dalam penelitian ini, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Belum tersedianya pemetaan komponen kritis *cooling tower*.
2. Pemilihan langkah pemeliharaan yang tepat untuk mencegah kerusakan lebih lanjut dan mengurangi resiko *unplanned downtime*.
3. Belum diketahuinya waktu rata-rata kerusakan dan waktu rata-rata perbaikan komponen kritis.

1.3 Batasan Masalah

1. Penelitian hanya melibatkan mode kegagalan dengan sistem kerja mekanik yang ada pada *cooling tower* PLTGU PT XYZ
2. Penelitian ini hanya berfokus pada penerepan metode RCM pada komponen kritis *cooling tower* PLTGU PT XYZ
3. Penelitian ini tidak mencakup perhitungan biaya pada perawatan *cooling tower* PLTGU PT XYZ
4. Data historis pemeliharaan yang digunakan hanya pada rentang waktu 2018 - 2024

1.4 Pertanyaan Penelitian

1. Komponen *cooling tower* yang membutuhkan perhatian dalam pemeliharaan?
2. Bagaimana tindakan perawatan yang tepat pada *cooling tower*?
3. Berapa lama rata-rata waktu komponen kritis mengalami kerusakan dan berapa lama rata-rata waktu perbaikan komponen kritis *cooling tower*?

1.5 Tujuan Penelitian

1. Menentukan komponen kritis pada *cooling tower* PLTGU PT XYZ
2. Menentukan tindakan perawatan pada *cooling tower* PLTGU PT XYZ
3. Menemukan waktu rata-rata kerusakan dan perbaikan komponen kritis pada *cooling tower* PLTGU PT XYZ

1.6 Manfaat Penelitian

1. Mengetahui komponen kritis pada *cooling tower* PLTGU PT XYZ
2. Mengetahui langkah pemeliharaan yang tepat pada *cooling tower* PLTGU PT XYZ



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Mengetahui waktu rata-rata kerusakan komponen kritis pada *cooling tower* PLTGU PT XYZ

1.7 Sistematikan Penulisan

Berikut adalah sistematika penulisan skripsi, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat ladsan teori berupa tinjauan literatur, konsep, teori, dan kajian pustaka berkaitan diulas secara rinci.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan rancangan penelitian, terdapat penjelasan terkait jenis penelitian yang digunakan, objek penelitian yang menjadi fokus, metode pengambilan sampel yang digunakan, jenis dan sumber data penelitian, serta alur penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi uraian hasil dari rancangan penelitian yang telah dilakukan, menjelaskan bagaimana hasil dari metode yang sudah digunakan dalam penelitian serta pembahasan secara terperinci terkait dengan tujuan dari penelitian yang sudah dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyajikan kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengolahan data dan pembahasan yang sudah dilakukan , selain itu bab ini juga memberikan saran terkait dari temuan beserta dengan pembahasan sebagai bahan pertimbangan perusahaan dalam mengambil langkah perawatan komponen.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Komponen kritis pada *cooling tower* PLTGU PT XYZ diperoleh berdasarkan *failure mode effect and analysis* (FMEA) adalah *spray nozzle* dengan nilai RPN 180.
2. Terdapat dua mode kegagalan dengan klasifikasi *logic tree analysis* (LTA) *outage problem*, dan dengan klasifikasi *task selection condition direct* (CD) diantaranya mode kegagalan pada komponen *spray nozzle*, dan *shaft composite*, berdasarkan analisis tersebut dapat diterapkan tindakan perawatan *predictive maintenance* (PdM) dengan melakukan pengamatan, pemeriksaan, dan monitoring sejumlah data secara berkala sehingga jika terindikasi terdapat kerusakan dapat dilakukan penggantian pada komponen. Terdapat satu mode kegagalan dengan klasifikasi *logic tree analysis* (LTA) *hidden failure*, dan dengan klasifikasi *task selection condition direct* (CD) yaitu komponen baut *drive coupling*, berdasarkan analisis tersebut dapat diterapkan tindak perawatan *predictive maintenance* (PdM) dengan melakukan pengamatan, pemeriksaan, dan monitoring sejumlah data secara berkala, sehingga jika terindikasi terdapat kerusakan dapat dilakukan penggantian pada komponen baut *drive coupling*. Serta terdapat empat mode kegagalan dengan klasifikasi *hidden failure*, dan dengan klasifikasi *task selection finding failure* (FF) diantaranya mode kegagalan pada komponen pipa *outlet CWP*, *valve drain*, *sight glass*, tanki kimia, berdasarkan analisis berikut dapat menerapkan tindak perawatan *preventive maintenance* (PM) dengan melakukan pemeriksaan visual dan *function test* berkala untuk mengetahui kerusakan komponen tersembunyi, sehingga jika terindikasi terdapat kerusakan dapat dilakukan perbaikan atau penggantian pada komponen.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Komponen kritis berupa *spray nozzle* memiliki *mean time to failure* (MTTF) 912,41 jam atau 38,018 hari, serta memiliki *mean time to repair* (MTTR) 63,75 menit.

5.2 Saran

1. Melakukan tindakan perawatan berdasarkan *task selection* berupa tindakan perawatan *predictive maintenance* (PdM) pada komponen *spray nozzle*, shaft composite, baut *drive coupling*, dan tindakan *preventive maintenance* (PM) pada komponen pipa *outlet cooling water pump* (CWP), *valve drain*, *sight glass*, dan tanki kimia.
2. Melakukan pemeliharaan pada komponen *spray nozzle* sebelum 38,018 hari operasi untuk menghindari *unplanned downtime*.





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] KESDM, “Kinerja Sektor ESDM 2024: Lampui Target, Penuhi Kebutuhan Domestik, dan Tingkatkan Ketahanan Energi.” [Daring]. Tersedia pada: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/kinerja-sektor-esdm-2024-lampui-target-penuhi-kebutuhan-domestik-dan-tingkatkan-ketahanan-energi-#:~:text=Untuk konsumsi listrik perkapita%2C pada,perkapita sebesar 1.439 kWh%2Fkapita.>
- [2] N. Hasan, J. N. Rai, dan B. B. Arora, “Optimization of CCGT power plant and performance analysis using MATLAB/Simulink with actual operational data,” *Springerplus*, vol. 3, hal. 1–9, 2014.
- [3] Badan Pusat Statistik, “Kapasitas Terpasang PLN menurut Jenis Pembangkit Listrik (MW).” [Daring]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MzIxIzI=/kapasitas-terpasang-pln-menurut-jenis-pembangkit-listrik.html>
- [4] S. A. Fatin, C. S. Abadi, dan A. Y. Yusyama, “Kinerja Cooling Tower Pada PLTGU di Pabrik Semen X,” in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, 2023, hal. 938–946.
- [5] Fahrul Erizal, “ROOT CAUSE ANALYSIS TRIP PADA FAN COOLING TOWER DI PT. XYZ,” Politeknik Negeri Jakarta, 2024.
- [6] D. Denur, L. Hakim, I. Hasan, dan S. Rahmad, “Penerapan Reliability Centered Maintenance (RCM) pada mesin ripple mill,” *JISI J. Integr. Sist. Ind.*, vol. 4, no. 1, hal. 27–34, 2017.
- [7] T. P. Sari, “Siklus-siklus Mesin Kalor,” 2022.
- [8] R. Rahman dan A. Mursadin, “Analisis Kinerja Cooling Tower Menggunakan Metode Range Dan Approach Di Pltu Asam-Asam,” *JTAM ROTARY*, vol. 4, no. 2, hal. 129–140, 2022.
- [9] A. Corder, *Teknik manajemen pemeliharaan*. Erlangga, 1988.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [10] J. Moubray, *Reliability Centered Maintenance II*, 2nd ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.
- [11] R. Anderson, *Reliability Centered Maintenance: Management And Engineering Method*. Elsevier Science Publishing Co., Inc: New York, 1990.
- [12] I. Kurniawan dan I. Vanany, “Analisis Risiko Kerusakan Peralatan Dengan Metode Probabilistik FMEA Pada Industri Minyak dan Gas,” *Surabaya. Tugas Akhir Jur. Tek. Ind. ITS*, hal. 32176, 2013.
- [13] P. Hotman, “Schedule Preventive maintenance Untuk Mesin Coating Toyo Di Pt. Xyz,” Politeknik Negeri Jakarta, 2022.
- [14] Elisa Nadia Arinta, “Usulan Perencanaan Perawatan Mesin dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dan Age Replacement pada Mesin Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)(Studi Kasus: PT. Tanjung Jati B Unit 1 PLTU Jepara),” 2020.
- [15] G. R. Hinchcliffe dan A. M. Smith, “RCM–Gateway to world class maintenance.[Electronic] Elsevier Inc,” 2004.
- [16] C. E. Ebeling, *An introduction to reliability and maintainability engineering*. Waveland Press, 1997.
- [17] V. Gaspersz, *Analisis sistem terapan berdasarkan pendekatan teknik industri*. Tarsito, 1992.
- [18] H. Ren, X. Chen, dan Y. Chen, “Aircraft reliability and maintainability analysis and design,” *Reliab. Based Aircr. Maint. Optim. Appl.*, hal. 39–41, 2017.
- [19] Suprayogi, “Distribusi Probabilitas Kontinyu Teoretis,” *Bandung ITB*, 2006.
- [20] M. Walpole, R.E, Myers., R.H., *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuan*. Bandung.: ITB, 1997.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [21] R. E. Walpole, R. H. Myers, dan S. L. Myers, “Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuan, ITB, Bandung,” *Sumber: Dokumentasi Pribadi*, 1995.
- [22] S. Sukmawati, A. S. Rini, dan P. C. A. Saputra, “ANALISIS PERAWATAN SISTEM COAL PULVERIZER MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) DI PLTU BANTEN 1 SURALAYA 8,” *J. Ilm. Tek. dan Manaj. Ind.*, vol. 4, no. 2, hal. 415–428, 2024.
- [23] N. N. Hidayanti dan S. S. Dahda, “Perencanaan Perawatan Mesin Pulverizer Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM),” *J. Teknovasi*, vol. 8, no. 03, hal. 38–50, 2021.
- [24] H. H. Azwir, A. I. Wicaksono, dan H. Oemar, “Manajemen Perawatan Menggunakan Metode RCM Pada Mesin Produksi Kertas,” *J. Optimasi Sist. Ind.*, vol. 19, no. 1, hal. 12–21, 2020.
- [25] Z. I. Haryanto, “Analisis perencanaan perawatan mesin boiler feed pump turbine (BFP-T) dengan menggunakan metode reliability centered maintenance (RCM) dan age replacement (studi kasus: di PT PJB UBJOM PLTU Pacitan),” 2018.
- [26] E. D. Suminta, “IMPLEMENTASI METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) II PADA CLOSE COOLING WATER SYSTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP.” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2020.
- [27] F. M. FIRMAN, “Usulan Perencanaan Perawatan Mesin Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Pada Sistem Mesin Boiler (Studi Kasus: PT San Dumai).” UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU, 2022.
- [28] R. Antema, S. Samsuddin, dan I. Zein, “Analisa Perawatan Mesin Genset



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pada Perusahaan Penyedia Layanan Telekomunikasi dengan Menggunakan Metode RCM,” *Karya Ilm. Fak. Tek.*, vol. 2, no. 2, hal. 1–7, 2022.

- [29] E. A. Agustiawan, M. Z. FATHONI, dan D. WIDYANINGRUM, “Usulan Preventive Maintenance Pada Mesin Hanger Shot Blast Kazo Dengan Menggunakan Metode Age Replacement Di Pt Barata Indonesia,” *Matrik J. Manaj. dan Tek. Ind. Produksi*, vol. 22, no. 1, hal. 73–84, 2021.
- [30] N. H. D. Saputri, R. Malik, dan T. Alisyahbana, “Usulan Penjadwalan Maintenance Pada Mesin Turbin Menggunakan Metode Age Replacement DI PLTA Balambano PT. Vale Indonesia Tbk.,” *J. Rekayasa Sist. Ind. Manaj.*, vol. 2, no. 2, hal. 78–87, 2024.
- [31] D. P. Asyari dan S. KM, “JENIS-JENIS DESAIN PENELITIAN MIX METHOD,” *Metod. Penelit. Komb. (Mixed Method)*, hal. 24, 2024, [Daring]. Tersedia pada: https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=rFErEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA24&dq=mix+methods+adalah&ots=IdC62ySaac&sig=3impCzJenlFP0j452vZALp7a9io&redir_esc=y#v=onepage&q=mix+methods+adalah&f=false
- [32] P. D. Sugiyono, “Metode penelitian bisnis: pendekatan kuantitatif, kualitatif, kombinasi, dan R&D,” *Penerbit CV. Alf. Bandung*, vol. 225, no. 87, hal. 48–61, 2017.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1. Daftar Riwayat Hidup

- | | | |
|---|-----------------------|--|
| 1 | Nama | : Oswin Tolovan Hutabarat |
| 2 | NIM | : 2102421026 |
| 3 | Tempat, Tanggal Lahir | : Jakarta, 9 Juni 2003 |
| 4 | Jenis Kelamin | : Laki-Laki |
| 5 | Alamat | : Jl. Putra 1 Pondok Duta 1, Kec. Cimanggis,
Kota Depok, Jawa Barat. |
| 6 | Email | : oswintolovan4812@gmail.com |
| 7 | Pendidikan | : |
| | a. SD (2009-2015) | : SDN Tugu 10 |
| | b. SMP (2015-2018) | : SMPN 8 Depok |
| | c. SMA (2018-2021) | : SMAN 13 Depok |
| 8 | Program Studi | : D4 – Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi |
| 9 | Bidang Peminatan | : Pemeliharaan |



**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 2. Data Kerusakan PLTGU PT XYZ

Data Kerusakan Unit PLTGU PT XYZ		
Sistem	Jenis Kerusakan	Jumlah
Gas Turbine (GT)	Kerusakan Bushing Dumper Exhaust Ventilation Turbine Compartement Gt 2	22
	Kebocoran Ring Piston Starting Sytem Gas Turbine Gt 2	
	Kerusakan Spark Ignition #2 Gt 1	
	Passing Valve Gas Supply	
	Kebocoran Gravity Tank Cooling System Gas Turbine Gt 1	
	Kerusakan Bearing Circulation Pump Heater Lube Oil Gt 1	
	Kerusakan Gasket Hydraulic System Gas Turbine Gt 1	
	Kebocoran Tube Cooling System Gt 1	
	Kerusakan Gasket Oil Manhole Generator Gt 2	
	Kerusakan Safety Valve Air Processing Unit (Apu) Gt 2	
	Blade Fan Cooling System Bengkok #2 Gt 1	
	Kebocoran Oil Tank Hpu Gt 1	
	Kerusakan Spark Ignition #7 Gt 2	
	Kerusakan Gasket Lube Oil System Gt 1	
	Kebocoran Pipa Outlet Cooling System Gt 1	
	Kerusakan Fuel Pump Diesel Starting Gt 1	
	Oiler Tank Lube Oil Hydraulic Pump Gt 2 Pecah	
	Kebocoran Tube Cooling System Gt 2	
	Kerusakan Spark Ignition # 5 Gt 1	
	Kebocoran Tube Cooling System Gt 2	
Heat Recovery Steam Generator (HRSG)	Kebocoran Oil Tank Hpu Gt 2	12
	Kerusakan Gasket Oil Manhole Generator Gt 2	
	Kerusakan Bushing Scanner Air Fan Hrsg 2	
	Kebocoran Pipa Final Steam Hrsg 1	
	Kebocoran Seal Hydraulic Inverter Dumper Hrsg 2	
	Kebocoran Tube Primary Super Heater Hrsg 1	
	Valve Condensate Pre Heater Macet Hrsg 1	
	Pressure Release Valve #Ek107 Tidak Berfungsi Hrsg 1	
	Kebocoran Pipa Blowdown Tank Hrsg 2	
	Oiler Tank Bfp Hrsg 1 Retak	
	Kerusakan Leak Test Valve Auxiliary Burner Hrsg 2	
	Kebocoran Valve Main Steam Line	
Steam Turbin Generator (STG)	Kebocoran Oiler Bfp Hrsg 1	8
	Pressure Release Valve Steam Drum Passing Hrsg 1	
	Kerusakan Bearing Lube Oil Pump Stg	
	Kebocoran Pipa Main Steam In Stg	
	Kerusakan Baut Heat Plate Exchanger Vacum Pump	
	Tube Surface Condensor Bengkok	
	Kebocoran Gasket Oil Lube Cooling System	
	Kerusakan Gasket Lube Oil Cooler Stg	
Cooling Tower (CT)	Heat Plate Exchanger Vacum Pump Bengkok	61
	Seal Heat Exhanger Vacum Pump Bocor	
	Kebocoran Tanki Kimia Cooling Tower	
	Kebocoran Pipa Outlet Cwp	
	Spray Nozzle Cooling Tower Pecah	
	Spray Nozzle Cooling Tower Pecah	
	Spray Nozzle Cooling Tower Pecah	
	Spray Nozzle Cooling Tower Pecah	
	Spray Nozzle Cooling Tower Pecah	
	Baut Drive Coupling Patah	
	Spray Nozzle Cooling Tower Pecah	
	Spray Nozzle Cooling Tower Pecah	
	Spray Nozzle Cooling Tower Pecah	



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Composite Shaft Patah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Baut Drive Coupling Patah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Kebocoran Valve Drain
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Baut Drive Coupling Patah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Shaft Composite Patah
Kebocoran Sight Glass
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Kebocoran Valve Drain
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Shaft Composite Patah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Kebocoran Pipa Outlet Cwp
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Baut Drive Coupling Patah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah
Spray Nozzle Cooling Tower Pecah



Lampiran 3. Data Wawancara Failure Mode Effect and Analysis

Pedoman Wawancara Failure Mode Effect and Analysis

Nama : Achmad Samsudin
Jabatan : Maintenance Manager
Masa Kerja : 13 Tahun

Sistem: Cooling Tower		
No	Komponen	Jawaban
1	Spray Nozzle	Peristwayan Apa fungsi komponen spray nozzle cooling tower? Mode kegagalan apa yang terjadi pada komponen spray nozzle cooling tower? Apa penyebab mode kegagalan yang terjadi pada komponen spray nozzle cooling tower? Apa efek yang ditimbulkan akibat mode kegagalan yang terjadi pada komponen spray nozzle cooling tower? Seberapa sering mode kegagalan pada komponen spray nozzle cooling tower terjadi? Bagaimana mode kegagalan pada komponen spray nozzle dapat diketahui?
		Jawaban Memecah air menjadi perkol yang lebih kecil agar dapat terdistribusi dengan merata di filler Spray nozzle pecah 1. Kualitas air kurang baik pada chlorine dan PH 2. Faktor cuaca yang menyebabkan temperatur lingkungan tidak stabil Air pendingin tidak terdistribusi secara merata ke filler, sehingga mempengaruhi efektivitas pendinginan panas 401 ~ 1000 jam operasi Alarm high temperature berada pada bearing steam turbine generator sehingga mendeteksi kerusakan

		Seberapa sering mode kegagalan pada komponen shaft composite terjadi? Bagaimana mode kegagalan pada komponen shaft composite dapat diketahui?	3001-6000 jam operasi Instrumenasi pengukur high vibrasi terdapat pada motor dan cooling tower fan memiliki kemungkinan yang rendah dalam mendeteksi mode kegagalan shaft composite patah
4	Pipe Outlet CWP	Apa fungsi komponen pipe outlet CWP? Mode kegagalan apa yang terjadi pada pipe outlet CWP? Apa penyebab kegagalan yang terjadi pada pipe outlet CWP? Apa efek yang ditimbulkan akibat mode kegagalan yang terjadi pada pipe outlet CWP? Seberapa sering mode kegagalan pada komponen pipe outlet CWP? Bagaimana mode kegagalan pada komponen pipe outlet CWP dapat diketahui?	Mendistribusikan air pendingin yang sudah melewati pelepasan panas di cooling tower menuju alat penukar panas Kebocoran pipa outlet CWP Kualitas air yang kurang baik menyebabkan korosi sehingga terjadi kebocoran pada pipa Air pendingin terbuang moderat ke lingkungan sehingga mengurangi level air pendingin cooling tower Lebih dari 10000 jam operasi Instrumenasi level memiliki kemungkinan yang sangat jarang dalam mendeteksi mode kegagalan kebocoran pipa outlet CWP
5	Valve Drain	Apa fungsi komponen valve drain? Mode kegagalan apa yang terjadi pada valve drain?	Mengatur pembuangan air pendingin agar sesuai dengan kebutuhan kualitas air yang dibutuhkan Valve drain pasang

2	Baut Drive Coupling	Apa fungsi komponen baut drive coupling? Mode kegagalan apa yang terjadi pada komponen baut drive coupling cooling tower? Apa penyebab mode kegagalan yang terjadi pada baut drive coupling cooling tower? Apa efek yang ditimbulkan akibat mode kegagalan yang terjadi pada komponen baut drive coupling cooling tower? Seberapa sering mode kegagalan pada komponen baut drive coupling terjadi? Bagaimana mode kegagalan pada komponen baut drive coupling dapat diketahui?	spray nozzle berdasarkan instrumentasi rendah Menyatakan shaft motor listrik dengan shaft composite Baut drive coupling patah Air hujan yang mengendap akan menyebabkan reaksi kimia yang menimbulkan korosi pada baut drive coupling Ikutan pada shaft motor listrik dan shaft composite terjadi tidak seimbang, sehingga putaran tidak tersalurkan dengan baik Lebih dari 10000 jam operasi Instrumenasi pengukur high vibrasi terdapat pada motor dan cooling tower fan memiliki kemungkinan yang sangat jarang dalam mendeteksi mode kegagalan baut drive coupling patah
3	Shaft Composite	Apa fungsi komponen shaft composite? Mode kegagalan apa yang terjadi pada komponen shaft composite? Apa penyebab kegagalan yang terjadi pada shaft composite? Apa efek yang ditimbulkan akibat mode kegagalan yang terjadi pada shaft composite?	Menyalurkan putaran motor listrik menuju fan cooling tower Shaft composite patah Menting base motor listrik mengalami pecah sehingga menyebabkan terjadinya misalignment yang mengakibatkan kelelahan material composite Putaran motor listrik tidak dapat ditalurkan menuju fan, sehingga fan tidak dapat beroperasi

		Apa penyebab kegagalan yang terjadi pada valve drain? Apa efek yang ditimbulkan akibat mode kegagalan yang terjadi pada valve drain? Seberapa sering mode kegagalan pada komponen valve drain? Bagaimana mode kegagalan pada komponen valve drain dapat diketahui?	Kualitas air kurang baik sehingga masih mengandung partikel abrasive sehingga mengikis disk valve drain Air pendingin terbuang moderat ke lingkungan sehingga mengurangi level air pendingin cooling tower Lebih dari 10000 jam operasi Instrumenasi dan indikator level air cooling tower memiliki kemampuan yang jarang untuk mendeteksi karena kebocoran masih moderat
6	Sight Glass	Apa fungsi komponen sight glass? Mode kegagalan apa yang terjadi pada sight glass? Apa penyebab kegagalan yang terjadi pada sight glass? Apa efek yang ditimbulkan akibat mode kegagalan yang terjadi pada sight glass? Seberapa sering mode kegagalan pada komponen sight glass? Bagaimana mode kegagalan pada komponen sight glass dapat diketahui?	Melihat level oli gear box fan cooling tower Kebocoran sight glass Sedikit oli terbuang dan tidak dapat melihat level oli gearbox Lebih dari 10000 jam operasi Tidak ada instrumentasi atau alat pengukur dalam mendeteksi mode kegagalan kebocoran sight glass sehingga perlu dilakukan inspeksi visual
7	Tanki Kimia	Apa fungsi komponen tanki kimia?	Menyimpan bahan kimia yang akan digunakan untuk menjaga kualitas air cooling tower

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Mode kegagalan apa yang terjadi pada tanki kimia?	Kebocoran tanki kimia
Apa penyebab kegagalan yang terjadi pada tanki kimia?	Materi tanki PVC tidak sesuai dengan bahan kimia berkonsentrasi tinggi
Apa efek yang ditimbulkan akibat mode kegagalan yang terjadi pada tanki kimia?	Bahan kimia terbuang ke lingkungan sehingga volume bahan kimia berkurang dalam kapasitas yang moderat
Seberapa sering mode kegagalan pada komponen tanki kimia?	Lebih dari 10000 jam operasi
Bagaimana mode kegagalan pada komponen tanki kimia dapat diketahui?	Instrumenasi level memiliki kemungkinan yang sangat rendah dalam mendeteksi mode kegagalan kebocoran tanki kimia

Maintenance Manager


Achmad Samsudin

Lampiran 4. Data Wawancara Logic Tree Analysis

Pedoman Wawancara Logic Tree Analysis

Nama : Achmad Samsudin
Jabatan : Maintenance Manager
Masa Kerja : 13 Tahun

Sistem: Cooling Tower				
No	Komponen	Mode Kegagalan	Pertanyaan	Jawaban
1	Spray Nozzle	Spray Nozzle Patah	Apakah operator dalam kondisi normal dapat mengetahui bahwa telah terjadi adanya kerusakan?	Ya, karena pecahnya spray nozzle dideteksi dengan alarm high temperature pada bearing steam turbine generator
			Apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan masalah keselamatan?	Tidak, kegagalan berupa pecahnya spray nozzle hanya mengurangi efektivitas perpendahan panas pada air pendingin
			Apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan seluruh atau sebagian sistem terhenti?	Ya, kegagalan berupa pecahnya spray nozzle dapat berakibat trip dikarenakan efektivitas perpendahan panas menurun dan menyebabkan

2	Bust Drive Coupling	Bust Drive Coupling Patah	Apakah operator dalam kondisi normal dapat mengetahui bahwa telah terjadi adanya kerusakan?	Kerusakan temperature bearing steam turbine generator Tidak, karena patahnya bust drive coupling hanya memberikan vibrasi moderat sehingga sulit untuk diam atau instrumenasi dapat mendeteksi
			Apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan masalah keselamatan?	Tidak, patahnya bust coupling shaft hanya menyebabkan vibrasi moderat
			Apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan seluruh atau sebagian sistem terhenti?	Tidak, karena patahnya bust coupling hanya memicu vibrasi yang moderat sehingga tidak menyebabkan kontrol trip
3	Shaft Composite	Shaft Composite Patah	Apakah operator dalam kondisi normal dapat mengetahui bahwa telah terjadi adanya kerusakan?	Ya, shaft composite patah dapat dideteksi dengan alarm high temperature pada bearing steam turbine generator
			Apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan masalah keselamatan?	Ya, shaft composite yang patah dapat menyebabkan masalah keselamatan dikarenakan shaft yang patah

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

			pada sisi motor tetap berputar sehingga berputar melokasi operator	
		Apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan seluruh atau sebagian sistem terhenti?	Ya, shaft composite pada mengakibatkan putaran motor listrik tidak tersalurkan ke fan	
4	Pipa Outlet CWP	Kebocoran Pipa Outlet CWP	Apakah operator dalam kondisi normal dapat mengetahui bahwa telah terjadi adanya kerusakan?	Tidak, karena ukuran kebocoran pada pipa outlet CWP masih moderat sehingga tidak dapat dideteksi oleh instrumentasi atau pengukuran level
		Apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan masalah keselamatan?	Tidak, karena hanya menyebabkan terbuangnya air ke lingkungan dalam skala moderat	
		Apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan seluruh atau sebagian sistem terhenti?	Tidak, karena hanya menyebabkan terbuangnya air ke lingkungan dalam skala moderat	
5	Huba Drain	Huba Drain Pasang	Apakah operator dalam kondisi normal dapat mengetahui bahwa telah terjadi adanya kerusakan?	Tidak, karena kebocoran yang disebabkan oleh valve drain pasang termasuk moderat
		Apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan masalah keselamatan?	Tidak, karena hanya menyebabkan terbuangnya air ke lingkungan dalam skala moderat	
		Apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan seluruh atau sebagian sistem terhenti?	Tidak, karena hanya menyebabkan terbuangnya air ke lingkungan dalam skala moderat	
6	Sight Glass	Kebocoran Sight Glass	Apakah operator dalam kondisi normal dapat mengetahui bahwa telah terjadi adanya kerusakan?	Tidak, karena tidak ada instrumentasi atau alat ukur yang dapat mendeteksi kebocoran sight glass
		Apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan masalah keselamatan?	Tidak, karena hanya menyebabkan terbuangnya oli dalam skala kecil	
		Apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan seluruh atau sebagian sistem terhenti?	Tidak, karena hanya menyebabkan terbuangnya oli dalam skala kecil	

7	Tanki Kimia	Tanki Kimia Bocor	Apakah operator dalam kondisi normal dapat mengetahui bahwa telah terjadi adanya kerusakan?	Tidak, instrumentasi dan alat ukur pengukuran sangat rendah untuk mendeteksi kebocoran karena dalam skala kecil
		Apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan masalah keselamatan?	Tidak, karena hanya menyebabkan kebocoran dengan skala kecil	
		Apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan seluruh atau sebagian sistem terhenti?	Tidak, karena kebocoran hanya skala kecil sehingga tidak terlalu berpengaruh pada kualitas air	

Maintenance Manager



Achmad Samsudin



Lampiran 5. Data Wawancara Task Selection

Profil Wawancara Task Selection Nama : / Auliani Bernadita Jabatan : / Maintenance Manager Masa Kerja : / 13 Tahun																				
Sistem Cooling Tower <table border="1"> <thead> <tr> <th>No</th><th>Komponen</th><th>Mode Kegiatan</th><th>Pertanyaan</th><th>Jawaban</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">1</td><td rowspan="4">Spray Nozzle</td><td rowspan="4">Spray Nozzle Patah</td><td>Apakah unsur keamanan untuk kerusakan ini diketahui?</td><td>Tidak</td></tr> <tr> <td>Apakah tindakan TD dapat dilakukan?</td><td>Tidak</td></tr> <tr> <td>Apakah tindakan CD dapat dilakukan?</td><td>Ya, melakukan inspeksi visual spray nozzle dan monitoring temperature alat penukar panas pada sistem steam turbine generator sehingga dapat mengetahui spray nozzle yang patah dan melakukan pengantian</td></tr> <tr> <td>Apakah mode kegagalan termasuk kategori hidden failure?</td><td>Ya, karena dapat memicu kontrol trip</td></tr> </tbody> </table>					No	Komponen	Mode Kegiatan	Pertanyaan	Jawaban	1	Spray Nozzle	Spray Nozzle Patah	Apakah unsur keamanan untuk kerusakan ini diketahui?	Tidak	Apakah tindakan TD dapat dilakukan?	Tidak	Apakah tindakan CD dapat dilakukan?	Ya, melakukan inspeksi visual spray nozzle dan monitoring temperature alat penukar panas pada sistem steam turbine generator sehingga dapat mengetahui spray nozzle yang patah dan melakukan pengantian	Apakah mode kegagalan termasuk kategori hidden failure?	Ya, karena dapat memicu kontrol trip
No	Komponen	Mode Kegiatan	Pertanyaan	Jawaban																
1	Spray Nozzle	Spray Nozzle Patah	Apakah unsur keamanan untuk kerusakan ini diketahui?	Tidak																
			Apakah tindakan TD dapat dilakukan?	Tidak																
			Apakah tindakan CD dapat dilakukan?	Ya, melakukan inspeksi visual spray nozzle dan monitoring temperature alat penukar panas pada sistem steam turbine generator sehingga dapat mengetahui spray nozzle yang patah dan melakukan pengantian																
			Apakah mode kegagalan termasuk kategori hidden failure?	Ya, karena dapat memicu kontrol trip																
2	Bust Drive Coupling	Bust Drive Coupling Patah	Apakah unsur keamanan untuk kerusakan ini diketahui?	Tidak																
			Apakah tindakan TD dapat dilakukan?	Tidak																
			Apakah tindakan CD dapat dilakukan?	Ya, melakukan inspeksi bust drive coupling sehingga dapat mengetahui bust coupling shaft yang patah dan melakukan pengantian																
			Apakah mode kegagalan termasuk kategori hidden failure?	Ya, karena dapat memicu vibrasi yang tinggi yang dapat menyebabkan trip jika terus dibiarkan																

			Apakah tindakan inspeksi busting failure dapat dilakukan?	Ya, melakukan inspeksi visual dan test bust drive coupling untuk mengetahui bust coupling shaft yang patah sehingga dapat melakukan pengantian
			Apakah tindakan yang dipilih efektif?	Ya, melakukan inspeksi visual dan test bust drive coupling untuk mengetahui bust coupling shaft yang patah sehingga dapat melakukan pengantian
			Apakah sebuah desain modifikasi dapat menghilangkan mode kegagalan dan efeknya?	-
			Apakah unsur keamanan untuk kerusakan ini diketahui?	Tidak
3	Shaft Composite	Shaft Composite Patah	Apakah tindakan inspeksi busting failure dapat dilakukan?	Ya, melakukan inspeksi visual dan test bust drive coupling untuk mengetahui bust coupling shaft yang patah sehingga dapat melakukan pengantian
			Apakah tindakan TD dapat dilakukan?	Tidak
			Apakah tindakan CD dapat dilakukan?	Ya, melakukan inspeksi visual dan monitoring vibrasi atau mengetahui shaft composite yang patah sehingga dapat melakukan pengantian
			Apakah mode kegagalan termasuk kategori hidden failure?	Ya, karena dapat memicu vibrasi yang tinggi yang dapat menyebabkan trip jika terus dibiarkan

4	Pipe Outlet CWP	Pipe Outlet CWP Bocor	Apakah unsur keamanan untuk kerusakan ini diketahui?	Tidak
			Apakah tindakan TD dapat dilakukan?	Tidak
			Apakah tindakan CD dapat dilakukan?	Tidak
			Apakah mode kegagalan termasuk kategori hidden failure?	Ya, karena valve drain piping dapat berakibat kebocoran sehingga pemantauan level air pendingin di cooling tower

Hak Cipta :

- Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
- Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

			Apakah tindakan finding failure dapat digunakan?	Ya, dapat dilakukan inspeksi dan function test pada valve drain
			Apakah tindakan tindakan yang dipilih efektif?	Ya, dapat dilakukan inspeksi dan monitoring vibrasi sehingga dapat melakukan perbaikan saat terjadi kerusakan
			Apakah sebuah desain modifikasi dapat menghilangkan mode kegagalan dan efeknya?	-
5.	Valve Drain	Valve Drain Posing	Apakah umur keandalan untuk kerusakan ini diketahui?	Tidak
			Apakah tindakan TD dapat dilakukan?	Tidak
			Apakah tindakan CD dapat digunakan?	Tidak
			Apakah mode kegagalan termasuk kategori hidden failure?	Ya
			Apakah tindakan finding failure dapat digunakan?	Ya

			Apakah tindakan yang dipilih efektif?	Ya
			Apakah sebuah desain modifikasi dapat menghilangkan mode kegagalan dan efeknya?	-
6.	Sight Glass	Kebocoran Sight Glass	Apakah umur keandalan untuk kerusakan ini diketahui?	Tidak
			Apakah tindakan TD dapat dilakukan?	Tidak
			Apakah tindakan CD dapat digunakan?	Tidak
			Apakah mode kegagalan termasuk kategori hidden failure?	Ya
			Apakah tindakan finding failure dapat digunakan?	Ya, melakukan inspeksi gas mendeteksi kerusakan
			Apakah tindakan yang dipilih efektif?	Ya, karena dengan menerapkan inspeksi untuk mengetahui kebocoran sight glass karena tidak ada indikator yang dapat mendeteksi

			Apakah sebuah desain modifikasi dapat menghilangkan mode kegagalan dan efeknya?	-
7.	Tanki Kimia	Tanki Kimia Bocor	Apakah umur keandalan untuk kerusakan ini diketahui?	Tidak
			Apakah tindakan TD dapat dilakukan?	Tidak
			Apakah tindakan CD dapat digunakan?	Tidak
			Apakah mode kegagalan termasuk kategori hidden failure?	Ya, karena ketika bahan kimia tertuang dan komposisi tidak sempurna dapat berpotensi menyebabkan kerusakan pada alat pemroses panas hingga korosi
			Apakah tindakan finding failure dapat digunakan?	Ya, melakukan inspeksi visual guna mendeteksi kerusakan
			Apakah tindakan tindakan yang dipilih efektif?	Ya, karena dengan menerapkan inspeksi untuk mengetahui kebocoran tanki kimia karena tidak ada indikator yang dapat mendeteksi

		Apakah sebuah desain modifikasi dapat menghilangkan mode kegagalan dan efeknya?	Ya, dengan mengganti bahan tanki kimia menggunakan bahan Polytetrafluoroethylene (PTFE) atau polyvinylidene fluoride (PVDF) yang lebih tahan terhadap zat kimia dengan konsentrasi tinggi
--	--	---	---

Manajemen Manager

Achmad Saifullo

ART



Lampiran 6. Data Historis Kerusakan Spray Nozzle

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

PT XYZ	Maintenance Record		System	Cooling Tower
			Equipment	Spray Nozzle
Date	Maintenance Type	Work Order	Actual Start	Actual Finish
02/04/2020	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	9:25	10:43
13/3/2020	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	13:17	14:20
30/3/2020	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	10:15	11:13
04/02/2020	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	14:32	15:28
19/5/2020	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	8:00	9:12
25/5/2020	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	10:36	11:39
07/01/2020	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	15:38	16:52
14/7/2020	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	9:12	10:12
26/11/2020	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	8:35	9:44
12/11/2020	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	13:45	14:52
28/12/2020	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	10:20	11:13
03/01/2021	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	15:30	16:45
19/4/2021	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	9:15	10:11
23/4/2021	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	14:10	15:00
30/4/2021	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	10:15	11:07
17/5/2021	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	9:00	10:00
06/03/2021	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	10:32	11:29
08/11/2021	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	15:30	16:24
23/8/2021	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	14:20	15:37
09/07/2021	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	8:10	9:43
16/9/2021	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	10:10	11:32
29/9/2021	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	8:30	9:39
14/10/2021	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	9:20	10:18
29/10/2021	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	13:18	14:20
01/11/2022	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	16:00	17:00
20/1/2022	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	8:50	10:04
26/1/2022	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	8:00	9:03
15/2/2022	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	14:10	15:30

PT XYZ	Maintenance Record		System	Cooling Tower
			Equipment	Spray Nozzle
Date	Maintenance Type	Work Order	Actual Start	Actual Finish
18/5/2022	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	9:35	10:33
31/5/2022	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	10:12	11:15
06/08/2022	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	13:30	14:30
27/6/2022	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	15:45	16:39
08/10/2022	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	8:20	9:15
24/10/2022	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	16:00	17:04
14/3/2023	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	14:13	15:20
23/5/2023	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	9:30	10:29
08/03/2023	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	10:35	11:38
22/8/2023	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	15:00	16:00
28/11/2023	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	10:20	11:20
15/1/2024	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	13:50	14:46
22/1/2024	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	15:00	16:05
19/3/2024	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	8:25	9:34
15/5/2024	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	8:05	9:06
06/10/2024	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	14:00	15:23
09/05/2024	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	13:48	14:42
31/10/2024	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	15:15	16:11
11/08/2024	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	8:45	9:43
27/12/2024	REPLACEMENT	REPLACEMENT SPRAY NOZZLE COOLING TOWER	9:30	10:30



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 7. Tabel Perhitungan Ti dan Dti Kerusakan Spray Nozzle

No	Tanggal Kerusakan	Waktu Perbaikan		Ti	Dti
		aktual start	aktual finish		
1	4/2/2020	9:25	10:43	0	78
2	13/3/2020	13:17	14:20	54847	63
3	30/3/2020	10:15	11:13	24235	58
4	2/4/2020	14:32	15:28	4519	56
5	19/5/2020	8:00	9:12	67232	72
6	25/5/2020	10:36	11:39	8724	63
7	1/7/2020	15:38	16:52	53519	74
8	14/7/2020	9:12	10:12	18260	60
9	26/11/2020	8:35	9:44	2E+05	69
10	11/12/2020	13:45	14:52	21841	67
11	28/12/2020	10:20	11:13	24208	53
12	1/3/2021	15:30	16:45	90977	75
13	19/4/2021	9:15	10:11	70110	56
14	23/4/2021	14:10	15:00	5999	50
15	30/4/2021	10:15	11:07	9795	52
16	17/5/2021	9:00	10:00	24353	60
17	3/6/2021	10:32	11:29	24512	57
18	11/8/2021	15:30	16:24	99601	54
19	23/8/2021	14:20	15:37	17156	77
20	7/9/2021	8:10	9:43	21153	93
21	16/9/2021	10:10	11:32	13587	82
22	29/9/2021	8:30	9:39	18538	69
23	14/10/2021	9:20	10:18	21581	58
24	29/10/2021	13:18	14:20	22500	62
25	11/1/2022	16:00	17:00	1E+05	60
26	20/1/2022	8:50	10:04	12470	74
27	26/1/2022	8:00	9:03	8516	63
28	15/2/2022	14:10	15:30	29107	80
29	18/5/2022	9:35	10:33	1E+05	58
30	31/5/2022	10:12	11:15	18699	63
31	8/6/2022	13:30	14:30	11655	60
32	27/6/2022	15:45	16:39	27435	54
33	10/8/2022	8:20	9:15	62861	55
34	24/10/2022	16:00	17:04	1E+05	64
35	14/3/2023	14:13	15:20	2E+05	67
36	23/5/2023	9:30	10:29	1E+05	59
37	3/8/2023	10:35	11:38	1E+05	63
38	22/8/2023	15:00	16:00	27562	60
39	28/11/2023	10:20	11:20	1E+05	60
40	15/1/2024	13:50	14:46	69270	56
41	22/1/2024	15:00	16:05	10094	65
42	19/3/2024	8:25	9:34	81620	69
43	15/5/2024	8:05	9:06	81981	61
44	10/6/2024	14:00	15:23	37734	83
45	5/9/2024	13:48	14:42	1E+05	54
46	31/10/2024	15:15	16:11	80673	56
47	8/11/2024	8:45	9:43	11074	58
48	27/12/2024	9:30	10:30	70547	60



Lampiran 8. Tabel Uji Distribusi Least Square Curve Fitting Time To Failure

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pengujian Distribusi Normal TTF									
No	Ti	Xi	Xi2	F _{ti}	Yi	Yi2	XiYi		
1	4519	4519	20421361	0.0148	-2.176259	4.7361	-3834.5		
2	5399	5399	29155201	0.0359	-1.800828	3.243	-10803		
3	8516	8516	72522256	0.057	-1.580739	2.4969	-13462		
4	8724	8724	76081776	0.0781	-1.418249	2.0114	-12373		
5	9795	9795	95942025	0.0992	-1.286375	1.6548	-12600		
6	10094	10094	10188836	0.1203	-1.173722	1.3776	-11848		
7	10174	10174	10350876	0.1414	-1.074273	1.1541	-11836		
8	11655	11655	135833025	0.1624	-0.98445	0.9691	-11474		
9	12470	12470	155500900	0.1835	-0.90194	0.8135	-11247		
10	13587	13587	184606569	0.2046	-0.825157	0.6809	-11211		
11	17156	17156	294328336	0.2257	-0.752955	0.5669	-12918		
12	18260	18260	333427600	0.2468	-0.684482	0.4685	-12439		
13	18538	18538	343657444	0.2679	-0.619078	0.3833	-11476		
14	18639	18639	34652601	0.289	-0.556222	0.3094	-10401		
15	21153	21153	447443409	0.3101	-0.495432	0.2455	-10481		
16	21581	21581	465739561	0.3312	-0.436537	0.1906	-3420.3		
17	21841	21841	477029281	0.3523	-0.379063	0.1437	-8273.1		
18	22500	22500	506250000	0.3734	-0.322815	0.1042	-7263.3		
19	24208	24208	586027264	0.3945	-0.267157	0.0716	-6477.4		
20	24235	24235	587335225	0.4156	-0.213132	0.0454	-5165.3		
21	24512	24512	600891844	0.4367	-0.153219	0.0234	-3819.3		
22	24512	24512	600891844	0.4578	-0.103663	0.0112	-2521.4		
23	27435	27435	752673225	0.4789	-0.052907	0.0028	-1451.5		
24	27562	27562	759663844	0.5	0	0	0		
25	29107	29107	847217449	0.5211	0.052907	0.0028	1540		
26	37734	37734	14242409	0.5422	0.1053629	0.0112	3998.4		
27	53519	53519	2864409	0.5633	0.1593188	0.0254	8526.6		
28	54847	54847	3008809	0.5844	0.2131325	0.0454	11630		
29	62861	62861	3952809	0.6055	0.267157	0.0716	16620		
30	67232	67232	4520809	0.6266	0.3228133	0.1042	21703		
31	69270	69270	4797909	0.6477	0.3790626	0.1437	26258		
32	70110	70110	4915409	0.6688	0.4365369	0.1906	30606		
33	70547	70547	49767449	0.6899	0.4954316	0.2455	34355		
34	80673	80673	6508809	0.711	0.556222	0.3094	44872		
35	81620	81620	6662809	0.7321	0.619078	0.3833	50529		
36	81981	81981	6720809	0.7532	0.6844819	0.4685	56115		
37	90377	90377	8168709	0.7743	0.7529553	0.5669	65502		
38	93601	93601	8760109	0.7954	0.8251566	0.6809	82186		
39	100450	100450	1008909	0.8165	0.9019403	0.8135	10600		
40	103686	103686	1075809	0.8376	0.9844436	0.9691	102074		
41	106660	106660	1138809	0.8586	1.0742728	1.1541	114582		
42	108405	108405	1171809	0.8797	1.1737222	1.3776	127237		
43	125185	125185	1567809	0.9008	1.286375	1.6548	161035		
44	132125	132125	1746809	0.9219	1.4182488	2.0114	187386		
45	140780	140780	1982809	0.943	1.5807388	2.4969	222545		
46	154303	154303	2380809	0.9641	1.8008282	3.243	274906		
47	202869	202869	4116809	0.9852	2.1762535	4.7361	441436		
Total	3E+06	3E+06	2.539E+11	23.5	1.11E-14	43.416	2E+06		
R Indeks				0.922163428					

Pengujian Distribusi Weibull TTF									
No	Ti	Xi	Xi2	F _{ti}	Yi	Yi2	XiYi		
1	4519	8.416	70.83	0.0148	-4.208	17.7064775	-35.41		
2	5399	8.6393	75.679	0.0359	-3.31	10.95463392	-28.79		
3	8516	9.0497	81.897	0.057	-2.836	8.043970357	-25.67		
4	8724	9.2738	82.334	0.0781	-2.51	6.299736352	-22.77		
5	9795	9.1896	84.449	0.0992	-2.253	5.104447167	-20.76		
6	10094	9.2197	85.003	0.1203	-2.055	4.222182557	-18.94		
7	10174	9.3124	86.72	0.1414	-1.881	3.539233675	-17.52		
8	11655	9.3635	87.675	0.1624	-1.73	2.993160933	-16.2		
9	12470	9.4311	88.945	0.1835	-1.596	2.546005317	-15.05		
10	13587	9.5169	90.571	0.2046	-1.474	2.173261361	-14.03		
11	17156	9.7501	95.065	0.2257	-1.363	1.858264711	-13.29		
12	18260	9.8125	96.285	0.2468	-1.261	1.589222158	-12.37		
13	18538	9.8276	96.581	0.2679	-1.165	1.357524726	-11.45		
14	18639	9.8362	96.751	0.289	-1.076	1.156717639	-10.58		
15	21153	9.9595	99.192	0.3101	-0.991	0.981857569	-9.869		
16	21581	9.9796	99.592	0.3312	-0.911	0.829089301	-9.087		
17	21841	9.9915	99.831	0.3523	-0.834	0.695360151	-8.332		
18	22500	10.021	100.43	0.3734	-0.76	0.578221872	-7.62		
19	24208	10.094	101.9	0.3945	-0.69	0.4756901	-6.962		
20	24235	10.096	101.92	0.4156	-0.621	0.386142649	-6.273		
21	24353	10.1	102.02	0.4367	-0.555	0.308244709	-5.608		
22	24512	10.17	102.15	0.4578	-0.491	0.240693062	-4.961		
23	27435	10.22	104.44	0.4789	-0.428	0.183174058	-4.374		
24	27562	10.274	105.53	0.5	-0.367	0.134331721	-3.747		
25	29107	10.279	105.65	0.5211	-0.306	0.093743512	-3.147		
26	37734	10.538	111.06	0.5422	-0.247	0.060930208	-2.601		
27	53519	10.888	118.54	0.5633	-0.188	0.035401284	-2.049		
28	54847	10.912	119.08	0.5844	-0.13	0.016327205	-1.42		
29	62861	11.049	123.65	0.6055	-0.072	0.005251113	-0.801		
30	67232	11.116	124.5	0.6266	-0.015	0.000226658	-0.167		
31	69270	11.146	124.23	0.6477	0.0423	0.001789786	0.4715		
32	70110	11.158	124.5	0.6688	0.0938	0.009962137	1.1137		
33	70547	11.168	124.64	0.6899	0.1577	0.024858472	1.7602		
34	80673	11.298	127.65	0.711	0.2161	0.046699175	2.4415		
35	81620	11.31	127.91	0.7321	0.2754	0.075829621	3.1144		
36	81981	11.314	128.01	0.7532	0.3358	0.112743256	3.7931		
37	90377	11.418	130.38	0.7743	0.3977	0.15815516	4.5409		
38	93601	11.509	132.46	0.7954	0.4615	0.21300812	5.3117		
39	100450	11.517	132.65	0.8165	0.5279	0.278635384	6.0796		
40	103686	11.549	133.38	0.8376	0.5974	0.356886263	6.8995		
41	106660	11.577	134.04	0.8586	0.6712	0.450462024	7.7703		
42	108405	11.594	134.41	0.8797	0.7505	0.563319164	8.7016		
43	125185	11.738	137.77	0.9008	0.8377	0.701751632	9.8326		
44	132125	11.732	133.04	0.9219	0.9362	0.876483259	11.039		
45	140780	11.855	140.54	0.943	1.0527	1.10817233	12.48		
46	154303	12.177	148.28	0.9641	1.2024	1.445952328	14.641		
47	202869	12.22	149.34	0.9852	1.3687	2.069915505	17.582		
Total	3E+06	492.41	5204	23.5	-26.33	83.06434129	-222.3		
R Indeks				0.96492695					

Pengujian Distribusi Lognormal TTF									
No	Ti	Xi	Xi2	F _{ti}	Yi	Yi2	XiYi		
1	4519	8.416	70.83	0.0148	-2.176259	4.7361	-18.32		
2	5399	8.6393	75.679	0.0359	-1.800828	3.243	-15.67		
3	8516	9.0497	81.897	0.057	-1.580739	2.4969	-14.31		
4	8724	9.0738	82.334	0.0781	-1.418249	2.0114	-12.87		
5	9795	9.1896	84.449	0.0992	-1.286375	1.6548	-11.82		
6	10094	9.2197	85.003	0.1203	-1.173722	1.3776	-10.82		
7	10174	9.3124	86.72	0.1414	-1.074273	1.1541	-10		
8	11655	9.3635	87.675	0.1624	-0.98445	0.9691	-9.218		
9	12470	9.4311	88.945	0.1835	-0.90194	0.8135	-8.508		
10	13587	9.5169	90.571	0.2046	-0.825157	0.6809	-7.853		
11	17156	9.7501	95.065	0.2257	-0.752955	0.5669	-7.341		
12	18260	9.8125	96.285	0.2468	-0.684482	0.4685	-6.716		
13	18538	9.8276	96.581	0.2679	-0.619078	0.3833	-6.084		
14	18639	9.8362	96.751	0.289	-0.556222	0.3094	-5.471		
15	21153	9.9595	99.192	0.3101	-0.495432	0.2455	-4.935		
16	21581	9.9796	99.592	0.3312	-0.436537	0.1906	-4.356		
17	21841	9.9915	99.831	0.3523	-0.379063	0.1437	-3.787		
18	22500	10.021	100.43	0.3734	-0.322815	0.1042	-3.238		
19	24208	10.094	101.9	0.3945	-0.267157	0.0716	-2.701		
20	24235	10.096	101.92	0.4156	-0.213132	0.0454	-2.152		
21	24353	10.1	102.02	0.4367	-0.159319	0.0254	-1.609		
22	24512	10.107	102.15	0.4578	-0.105363	0.0112	-1.071		
23	27435	10.22	104.44	0.4789	-0.052309	0.0028	-0.541		
24	27562	10.224	104.53	0.5					
25	29127	10.238	105.65	0.522	0.0523071	0.0028	0.5438		
26	37736	10.666	113.78	0.5439	0.095629	0.012	1.1346		
27	53519	10.888	118.54	0.5633	0.153136	0.0254	1.7346		
28	54047	10.912	119.08	0.5844	0.213125	0.0454	2.3258		
29	62861	11.049	122.07	0.6055	0.287571	0.0716	2.9563		
30	67232	11.116	123.56	0.6266	0.3228149	0.1042	3.5884		
31	69270	11.146	124.23	0.6477	0.3730626	0.1437	4.2249		
32	71010	11.158	124.5	0.6688	0.4365369	0.1906	4.8708		
33	70547	11.164	124.64	0.6899	0.4954196	0.2455	5.5311		
34	80673	11.296	127.65	0.711	0.556222	0.3094	6.2843		
35	81620	11.31	127.91	0.7321	0.619078	0.3833	7.0017		
36	81981	11.314	128.01	0.7532	0.6844819	0.4685	7.7444		
37	90377	11.416	130.36	0.7743	0.7523955	0.5669	8.5375		
38	99601	11.509	132.46	0.7954	0.8251566	0.6809	9.4367		
39	100450	11.517	132.65	0.8165	0.9019493	0.8135	10.388		
40	103666	11.549	133.38	0.8376	0.9844496	0.9691	11.37		
41	106666	11.577	134.04	0.8587	1.0742722	1.1541	12.406		
42	108405	11.594	134.41	0.8797	1.1737222	1.3776	13.608		
43	126185	11.738	137.77	0.9008	1.286375	1.6548	15.039		
44	132125	11.752	139.04	0.9219	1.4182488	2.0114	16.723		
45	140760	11.855	140.54	0.943	1.5807368	2.4969	18.74		
46	194303	12.277	148.28	0.9641	1.8008282	3.243	21.929		
47	202869	12.22	149.34	0.9852	2.1762595	4.7361	26.959		
Total	3E+06	492.41	5204	23.5	1.1E-14	43.416	43.526		
R Index	0.983645225								



Lampiran 9. Tabel Uji Distribusi Least Square Curve Fitting Time To Repair

Pengujian Distribusi Normal TTR									
No	Dti	Xi	Xi2	Fti	Yi	Yi2	XiYi		
1	50	50	2500	0.0145	-2.1844987	4.772	-109.22		
2	52	52	2704	0.0351	-1.8103087	3.2772	-94.136		
3	53	53	2809	0.0558	-1.5911748	2.5318	-84.332		
4	54	54	2916	0.0764	-1.4293886	2.0432	-77.187		
5	54	54	2916	0.0971	-1.2982109	1.6854	-70.103		
6	54	54	2916	0.1178	-1.1862155	1.4071	-64.056		
7	55	55	3025	0.1384	-1.0874013	1.1824	-59.807		
8	56	56	3136	0.1591	-0.9962012	0.9964	-55.839		
9	56	56	3136	0.1798	-0.9163104	0.8396	-51.313		
10	56	56	3136	0.2004	-0.8401462	0.7058	-47.048		
11	56	56	3136	0.2211	-0.7685698	0.5907	-43.04		
12	57	57	3249	0.2417	-0.7007307	0.491	-39.942		
13	58	58	3364	0.2624	-0.635974	0.4045	-36.886		
14	58	58	3364	0.2831	-0.5737815	0.3292	-33.279		
15	58	58	3364	0.3037	-0.5137339	0.2639	-29.797		
16	58	58	3364	0.3244	-0.455485	0.2075	-26.418		
17	59	59	3481	0.345	-0.3987429	0.159	-23.526		
18	60	60	3600	0.3657	-0.3432572	0.1178	-20.595		
19	60	60	3600	0.3864	-0.2888094	0.0834	-17.323		
20	60	60	3600	0.407	-0.235205	0.0553	-14.12		
21	60	60	3600	0.4277	-0.1822686	0.0332	-10.336		
22	60	60	3600	0.4483	-0.1298395	0.0169	-7.2603		
23	60	60	3600	0.469	-0.0777631	0.006	-4.6658		
24	60	60	3600	0.4897	-0.0258978	0.0007	-1.5533		
25	61	61	3721	0.5103	0.0258978	0.0007	1.5798		
26	62	62	3844	0.531	0.0777631	0.006	4.8213		
27	63	63	3969	0.5517	0.1298395	0.0169	8.1798		
28	63	63	3969	0.5723	0.1822686	0.0332	11.483		
29	63	63	3969	0.593	0.235205	0.0553	14.818		
30	63	63	3969	0.6136	0.2888094	0.0834	18.195		
31	63	63	3969	0.6343	0.3432572	0.1178	21.625		
32	64	64	4096	0.655	0.3987429	0.159	25.52		
33	65	65	4225	0.6756	0.455485	0.2075	29.607		
34	67	67	4489	0.6963	0.5137339	0.2639	34.42		
35	67	67	4489	0.7169	0.5737815	0.3292	38.443		
36	69	69	4761	0.7376	0.635974	0.4045	43.892		
37	69	69	4761	0.7583	0.7007307	0.491	48.35		
38	69	69	4761	0.7789	0.7685698	0.5907	53.031		
39	72	72	5184	0.7996	0.8401462	0.7058	60.491		
40	74	74	5476	0.8202	0.9163104	0.8396	67.807		
41	74	74	5476	0.8409	0.9962012	0.9964	73.867		
42	75	75	5625	0.8616	1.0874013	1.1824	81.555		
43	77	77	5929	0.8822	1.1862155	1.4071	91.339		
44	78	78	6084	0.9029	1.2982109	1.6854	101.26		
45	80	80	6400	0.9236	1.4293886	2.0432	114.35		
46	82	82	6724	0.9442	1.5911748	2.5318	130.48		
47	83	83	6889	0.9649	1.8103087	3.2772	150.26		
48	93	93	8649	0.9855	2.1844987	4.772	203.16		
Total	3060	3060	199144	24	159976.14	44.4	405.54		
R Indeks					0.95410464				

Pengujian Distribusi Lognormal TTR									
No	Dti	Xi	Xi2	Fti	Yi	Yi2	XiYi		
1	50	3.91202	15.3039	0.0146	-2.1844987	4.77203	-8.5458		
2	52	3.95124	15.6123	0.0351	-1.8103087	3.27722	-7.163		
3	53	3.97029	15.7632	0.05579	-1.5911748	2.53184	-6.3174		
4	54	3.98898	15.912	0.07645	-1.4293886	2.04315	-6.7018		
5	54	3.98898	15.912	0.09711	-1.2982109	1.68535	-6.1785		
6	54	3.98898	15.912	0.11777	-1.1862155	1.40711	-4.7318		
7	55	4.00733	16.0587	0.13843	-1.0874013	1.18244	-4.3678		
8	56	4.02535	16.2035	0.15909	-0.9962012	0.99641	-4.0181		
9	56	4.02535	16.2035	0.17975	-0.9163104	0.83962	-3.6885		
10	56	4.02535	16.2035	0.20041	-0.8401462	0.70585	-3.3819		
11	56	4.02535	16.2035	0.22107	-0.7685698	0.5907	-3.0938		
12	57	4.04305	16.3463	0.24174	-0.7007307	0.49102	-2.8331		
13	58	4.06044	16.4872	0.2624	-0.635974	0.40446	-2.5823		
14	58	4.06044	16.4872	0.28306	-0.5737815	0.32923	-2.3298		
15	58	4.06044	16.4872	0.30372	-0.5137339	0.26392	-2.086		
16	58	4.06044	16.4872	0.32438	-0.455485	0.20747	-1.8495		
17	59	4.07754	16.6263	0.34504	-0.3987429	0.159	-1.6259		
18	60	4.09434	16.7637	0.3657	-0.3432572	0.11783	-1.4054		
19	60	4.09434	16.7637	0.38636	-0.2888094	0.08341	-1.1825		
20	60	4.09434	16.7637	0.40702	-0.235205	0.05532	-0.963		
21	60	4.09434	16.7637	0.42769	-0.1822686	0.03322	-0.7463		
22	60	4.09434	16.7637	0.44835	-0.1298395	0.01686	-0.5316		
23	60	4.09434	16.7637	0.46901	-0.0777631	0.00605	-0.3184		
24	60	4.09434	16.7637	0.48967	-0.0258978	0.00067	-0.106		
25	61	4.11087	16.8993	0.51033	0.0258978	0.00067	0.10646		
26	62	4.12713	17.0332	0.53099	0.0777631	0.00605	0.32094		
27	63	4.14313	17.1656	0.55165	0.1298395	0.01686	0.53794		
28	63	4.14313	17.1656	0.57231	0.1822686	0.03322	0.75516		
29	63	4.14313	17.1656	0.59298	0.235205	0.05532	0.97449		
30	63	4.14313	17.1656	0.61364	0.2888094	0.08341	1.19658		
31	63	4.14313	17.1656	0.6343	0.3432572	0.11783	1.42216		
32	64	4.15888	17.2963	0.65496	0.3987429	0.159	1.65033		
33	65	4.17439	17.4255	0.67562	0.455485	0.20747	1.9017		
34	67	4.20469	17.6794	0.69628	0.5137339	0.26392	2.18009		
35	67	4.20469	17.6794	0.71694	0.5737815	0.32923	2.41827		
36	69	4.23411	17.9277	0.7376	0.635974	0.40446	2.69278		
37	69	4.23411	17.9277	0.75826	0.7007307	0.49102	2.96697		
38	69	4.23411	17.9277	0.77893	0.7685698	0.5907	3.25421		
39	72	4.27667	18.2899	0.79959	0.8401462	0.70585	3.59302		
40	74	4.30407	18.525	0.82025	0.9163104	0.83962	3.94386		
41	74	4.30407	18.525	0.84091	0.9962012	0.99641	4.29632		
42	75	4.31749	18.6407	0.86157	1.0874013	1.18244	4.69484		
43	77	4.34381	18.8686	0.88223	1.1862155	1.40711	5.15269		
44	78	4.35671	18.9809	0.90289	1.2982109	1.68535	5.65593		
45	80	4.38203	19.2022	0.92355	1.4293886	2.04315	6.26362		
46	82	4.40672	19.4192	0.94421	1.5911748	2.53184	7.0186		
47	83	4.41884	19.5262	0.96488	1.8103087	3.27722	7.99447		
48	93	4.5326	20.5445	0.98554	2.1844987	4.77203	9.90416		
Total	3060	198.974	825.701	24	159976.14	44.4003	6.14516		
R Indeks					0.972944738				

Pengujian Distribusi Weibull TTR									
No	Dti	Xi	Xi2	Fti	Yi	Yi2	XiYi		
1	50	3.91202	15.3039	0.0146	-4.2289	17.88359008	-16.544		
2	52	3.95124	15.6123	0.03512	-3.331	11.09587416	-13.162		
3	53	3.97029	15.7632	0.05579	-2.8577	8.16636109	-11.346		
4	54	3.98898	15.912	0.07645	-2.5317	6.409339532	-10.099		
5	54	3.98898	15.912	0.09711	-2.2813	5.204312361	-9.1001		
6	54	3.98898	15.912	0.11777	-2.0777	4.314083889	-8.2853		
7	55	4.00733	16.0587	0.13843	-1.9038	3.624522212	-7.6292		
8	56	4.02535	16.2035	0.15909	-1.7529	3.072638334	-7.056		
9	56	4.02535	16.2035	0.17975	-1.6187	2.620312367	-6.516		
10	56	4.02535	16.2035	0.20041	-1.4976	2.242887476	-6.0285		
11	56	4.02535	16.2035	0.22107	-1.3869	1.923590601	-5.5829		
12	57	4.04305	16.3463	0.24174	-1.2847	1.650551886	-5.1943		
13	58	4.06044	16.4872	0.2624	-1.1896	1.415100099	-4.8302		
14	58	4.06044	16.4872	0.28306	-1.1003	1.210733566	-4.4678		
15	58	4.06044	16.4872	0.30372	-1.0161	1.032470606	-4.1258		
16	58	4.06044	16.4872	0.32438	-0.9362	0.876424166	-3.8013		
17	59	4.07754	16.6263	0.34504	-0.86	0.739514442	-3.5065		
18	60	4.09434	16.7637	0.3657	-0.7869	0.619269475	-3.222		
19	60	4.09434	16.7637	0.38636	-0.7167	0.513683615	-2.9345		
20	60	4.09434	16.7637	0.40702	-0.6489	0.42115047	-2.657		
21	60	4.09434	16.7637	0.42769	-0.5833	0.340210349	-2.3881		
22	60	4.09434	16.7637	0.44835	-0.5195	0.269848171	-2.1269		
23	60	4.09434	16.7637	0.46901	-0.4573	0.209096695	-1.8722		
24	60	4.09434	16.7637	0.48967	-0.3965	0.157181255	-1.6232		
25	61	4.11087	16.8993	0.51033	-0.3368	0.11345959	-1.384		
26	62	4.12713	17.0332	0.53099	-0.2782	0.077402348	-1.149		
27	63	4.14313	17.1656	0.55165	-0.2204	0.048581821	-0.913		
28	63	4.14313	17.1656	0.57231	-0.1633	0.026655446	-0.6767		
29	63	4.14313	17.1656	0.59298	-0.1066	0.011364503	-0.4401		
30	63	4.14313	17.1656	0.61364	-0.0503	0.002526686	-0.208		
31	63	4.14313	17.1656	0.6343	0.00592	3.5018E-35	0.02445		
32	64	4.15888	17.2963	0.65496	0.06212	0.039359019	0.2583		
33	65	4.17439	17.4255	0.67562	0.11853	0.014049035	0.4394		
34	67	4.20469	17.6794	0.69686	0.17634	0.030744413	0.7378		
35	67	4.20469	17.6794	0.71634	0.23278	0.0541866	0.9787		
36	69	4.23411	17.9277	0.7376	0.2911	0.084738972	1.2325		
37	69	4.23411	17.9277	0.75826	0.35059	0.122916275	1.4844		
38	69	4.23411	17.9277	0.77893	0.41162	0.169428441	1.7485		
39	72	4.27667	18.2899	0.79959	0.4746	0.225246818	2.029		
40	74	4.30407	18.525	0.82025	0.5401	0.29170695	2.3244		
41	74	4.30407	18.525	0.84091	0.60883	0.370674056	2.6203		
42	75	4.31749	18.6407	0.86157	0.68178	0.464822537	2.9424		
43	77	4.34381	18.8686	0.88223	0.76035	0.578138443	3.3028		
44	78	4.35671	18.9809	0.90289	0.8467	0.716839946	3.6883		
45	80	4.38203	19.2022	0.92355	0.94436	0.891815581	4.1382		
46	82	4.40672	19.4192	0.94421	1.05936	1.123506936	4.6709		
47	83	4.41884	19.5262	0.96488	1.20862	1.407170625	5.340		
48	93	5.5326	20.5446	0.98554	1.44366	2.084156165	6.5438		
Total	3060	198.974	825.701	24	-26.302	84.98040096	-104.4		
R-Index					0.909195421				