



TUGAS AKHIR – TI 184833

**ANALISA RELIABILITY SISTEM DENGAN PENDEKATAN
DISTRIBUSI PHASE-TYPE PADA UNIT UTILITAS BATU
BARA (UBB) PABRIK III PT PETROKIMIA GRESIK**

PINKY TAMARA SABRINA

NRP 02411640000182

DOSEN PEMBIMBING:

Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

NIP. 197103171998021001

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN SISTEM REKAYASA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2020



TUGAS AKHIR – TI 184833

**ANALISA RELIABILITY SISTEM DENGAN PENDEKATAN
DISTRIBUSI PHASE-TYPE PADA UNIT UTILITAS BATU
BARA (UBB) PABRIK III PT PETROKIMIA GRESIK**

PINKY TAMARA SABRINA

NRP 02411640000182

DOSEN PEMBIMBING:

Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

NIP. 197103171998021001

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2020



FINAL PROJECT – TI 184833

**SYSTEM RELIABILITY ANALYSIS USING PHASE-TYPE
DISTRIBUTION APPROACH ON UNIT UTILITAS BATU
BARA (UBB) OF FACTORY III PT PETROKIMIA GRESIK**

PINKY TAMARA SABRINA

NRP 02411640000182

SUPERVISOR:

Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

NIP. 197103171998021001

INDUSTRIAL AND SYSTEM ENGINEERING DEPARTEMEN

Faculty of Industrial Technology and System Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2020

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA RELIABILITY SISTEM DENGAN PENDEKATAN DISTRIBUSI PHASE-TYPE PADA UNIT UTILITAS BATU BARA (UBB) PABRIK III PT PETROKIMIA GRESIK

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, Indonesia

Penulis:

PINKY TAMARA SABRINA

NRP 02411640000182

Disetujui oleh
Dosen Pembimbing Tugas Akhir


Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

NIP. 1971 0317 1998 02 1001

SURABAYA AGUSTUS 2020



ANALISA RELIABILITY SISTEM DENGAN PENDEKATAN DISTRIBUSI PHASE-TYPE PADA UNIT UTILITAS BATU BARA (UBB) PABRIK III PT PETROKIMIA GRESIK

Nama Mahasiswa : Pinky Tamara Sabrina
NRP : 02411640000182
Pembimbing : Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang analisis *reliability* sistem dalam bentuk fungsi *reliability* pada Unit Utilitas Batu Bara (UBB) PT Petrokimia Gresik yang memproduksi tenaga listrik dan uap. Sistem UBB yang dianalisis terdiri atas lima subsistem seri dan masing-masing subsistem terdiri dari beberapa mesin dengan struktur yang berbeda-beda, yaitu seri, paralel, dan *k-out-of-N*. Setiap struktur pada masing-masing hierarki dimodelkan menggunakan *reliability block diagram*. Perhitungan fungsi *reliability* dilakukan dengan menggunakan pendekatan *phase-type distribution*. *Trace based fitting* dilakukan untuk mendapatkan parameter distribusi *phase-type* yang sesuai dengan distribusi aslinya. *Closure properties* dari *phase-type distribution* digunakan untuk mendapatkan fungsi *reliability* sistem dari fungsi *reliability* subsistem dan mesin. Hasil dari penelitian berupa fungsi *reliability* sistem yang berdistribusi *phase-type* dengan $R(8760) = 0.02702$, $MTTF = 1219.6$ jam, dan $hazard\ rate = 4.56 \times 10^{-4}$. Analisis sensitivitas dilakukan pada mesin yang kritis dalam subsistem yang kritis yang telah ditentukan menggunakan perhitungan *Birnbaum's Importance Index*. Hasil analisis dan perancangan skenario perbaikan menunjukkan bahwa melakukan perubahan struktur menjadi *cold standby redundancy* pada mesin 20E-02.02 (*water pump*) adalah hal yang paling *feasible* untuk dilakukan sebagai upaya peningkatan *reliability* sistem.

Kata kunci: *Reliability Function, Phase-Type Distribution, Reliability Block Diagram*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

SYSTEM RELIABILITY ANALYSIS USING PHASE-TYPE DISTRIBUTION APPROACH ON UNIT UTILITAS BATU BARA (UBB) OF FACTORY III PT PETROKIMIA GRESIK

Name : Pinky Tamara Sabrina
NRP : 02411640000182
Supervisor : Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

ABSTRACT

This research discusses system reliability analysis in the form of reliability function at Unit Utilitas Batu Bara (UBB) PT Petrokimia Gresik, which produces electricity and steam. The UBB system analyzed comprises five serial subsystems, and each subsystem comprises several machines with unique structures, namely series, parallel, and k -out-of- N . It models each structure in each hierarchy using the reliability block diagram. The phase-type distribution approach was used to calculate the reliability function. The trace-based-fitting then was used to get the phase-type distribution parameters that match the original distribution. The closure properties of the phase-type distribution were used to get the system reliability function from the subsystem and machine reliability function. From this research, the function of the system reliability with a phase-type distribution with $R(8760) = 0.02702$, $MTTF = 1219.6$ hours, and *hazard rate* $= 4.56 \times 10^{-4}$ was obtained. Sensitivity analysis is applied to critical machines in a critical subsystem determined using Birnbaum's Importance Index calculation. The results of the analysis and design of improvement scenarios show that changing the structure to cold standby redundancy on a 20E-02.02 (water pump) machine is the most feasible way to increase system reliability.

Keywords: Reliability Function, Phase-Type Distribution, Reliability Block Diagram

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang memiliki judul “Analisa Reliability Sistem dengan Pendekatan Distribusi Phase-type pada Unit Batu Bara (UBB) Pabrik III PT. Petrokimia Gresik” dengan baik. Tugas akhir dengan topik tersebut disusun berdasarkan hasil observasi dan penerapan keilmuan Teknik Industri yang dipelajari oleh penulis selama menjalankan masa studi.

Dalam pengerjaan tugas akhir, telah terlibat berbagai pihak yang turut membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang besar kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Pinto dan Ibu Nurul Yaqin, atas segala dukungan, kasih sayang, ilmu, serta doa tulus yang selalu beliau panjatkan. Serta kedua kakak penulis Pinky Angga Mahardika dan Pinky Rexa Buana yang selalu memberikan semangat selama proses pengerjaan tugas akhir.
2. Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang senantiasa membimbing dan memberikan arahan yang membangun serta responsif selama penulis menjalankan pengerjaan tugas akhir.
3. Pak Iwan Febrianto selaku Kepala Bagian Perencanaan dan Pengendalian dan jajarannya di Departemen Pemeliharaan III A yang telah membina dan mengajarkan banyak hal terkait seluruh proses yang terjadi di dalam Pabrik III dan perusahaan di bawahnya.
4. Pak Emil Martin Tambunan dan jajarannya di Departemen Reliability Pabrik III yang telah membantu penulis dalam memberikan pengetahuan dan berbagai macam keilmuan mengenai *reliability* dan *maintenance* yang dilakukan di dalam Pabrik III dan perusahaan di bawahnya.
5. Tim dosen penguji seminar proposal dan sidang akhir yaitu Putu Dana Karningsih, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D., Yudha Andrian S., S.T., M.B.A., Yudha Prasetyawan, S.T., M.Eng, dan Dewanti Anggrahini S.T., M.T.
6. Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D. sebagai Kepala Departemen Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.

7. Anny Maryani, S.T., M.T. selaku dosen wali yang sudah membina mahasiswa selama menjalani masa studi.
8. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Industri ITS yang telah mendidik dan mengajarkan banyak ilmu dan pelajaran berharga kepada penulis selama masa perkuliahan.
9. Teman-teman Teknik Industri angkatan 2016 yang selalu memberi motivasi dan semangat dalam pengerjaan Tugas Akhir.
10. Serta semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Sekian kata pengantar yang dituliskan, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Surabaya, 30 Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Permasalahan	5
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Manfaat.....	5
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	5
1.5.1 Batasan Penelitian	6
1.5.2 Asumsi Penelitian	6
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 <i>Dependability</i>	9
2.2 <i>Reliability</i>	10
2.2.1 Konsep Reliability	11
2.2.2 Bathup Hazard Rate Concept.....	11
2.2.3 General Reliability Formulas.....	12
2.2.4 Reliability Block Diagram	14
2.3 <i>Pemodelan Sistem</i>	15
2.3.1 Sistem.....	15
2.3.2 Pemodelan Sistem.....	15

2.4	<i>Phase-Type Distribution</i>	17
2.4.1	Konsep Phase-Type Distribution.....	17
2.4.2	Phase-type Distribution pada Reliability	18
2.4.3	Model Reliability pada Phase-type Distribution	22
2.5	Operasi <i>Kronecker</i>	24
2.6	<i>Birnbaum's Importance Index</i>	25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1	Studi Sistem Proses pada UBB PT Petrokimia Gresik	28
3.1.1	Elemen Permasalahan.....	28
3.2	Perancangan Model Konseptual	29
3.3	Perhitungan <i>Reliability</i>	29
3.4	Validasi Perhitungan <i>Reliability</i>	30
3.5	Usulan Perbaikan Sistem	30
3.6	Kesimpulan dan Saran	31
BAB 4 PENGOLAHAN DATA		33
4.1	Deskripsi Sistem	33
4.2	Deskripsi Sistem <i>Reliability</i>	34
4.3	<i>Fitting Data Time to Failure</i>	39
4.4	Perhitungan <i>Reliability</i> Sistem dengan <i>Phase-type Distribution</i>	40
4.4.1	Fitting Phase-type Distribution.....	40
4.4.2	Perhitungan Reliability Mesin	42
4.4.3	Perhitungan Reliability Subsystem.....	43
4.4.4	Perhitungan Reliability Sistem	44
4.4.5	Rekapitulasi Perhitungan Reliability serta Hierarki Breakdown Sistem	45
BAB 5 ANALISIS RELIABILITY SISTEM		47

5.1	Analisis <i>Phase-type Distribution</i>	47
5.2	Analisis <i>Reliability</i> pada Kondisi Eksisting	48
5.3	Penentuan Mesin Kritis	50
5.4	Analisis Sensitivitas	52
5.4.1	Pengaruh Penggantian Mesin terhadap Reliability Sistem	53
5.4.2	Pengaruh Parallel Redudancy terhadap Reliability Sistem.....	53
5.4.3	Pengaruh k-out-of-N Redudancy terhadap Reliability Sistem.....	53
5.4.4	Pengaruh Cold Standby Redudancy terhadap Reliability Sistem	54
5.5	Rancangan dan Analisis Skenario Perbaikan	54
5.6	Analisis <i>Reliability</i> pada Kondisi Perbaikan	61
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN		63
6.1	Kesimpulan.....	63
6.2	Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA		65
DAFTAR LAMPIRAN		67

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kapasitas unit pembangkit pada PT Petrokimia Gresik	1
Tabel 1.2 Buku dan Jurnal Terkait Formulasi <i>Reliability Function</i>	3
Tabel 4.1 Contoh Rekap Data <i>Time to Failure</i> Mesin di UBB PT Petrokimia Gresik.....	39
Tabel 4.2 <i>Fitting Data</i> pada Subsistem <i>Turbine</i>	39
Tabel 4.3 Contoh Hasil <i>Fitting Phase-type Distribution</i> pada Subsistem <i>Turbine</i>	40
Tabel 4.4 Contoh Perhitungan <i>Reliability</i> pada Subsistem <i>Turbine</i>	43
Tabel 4.5 Perhitungan <i>Reliability</i> pada Subsistem.....	44
Tabel 4.6 <i>Reliability</i> Sistem dan <i>Hazard</i> Sistem pada $t = 0$ hingga $t = 8760$	44
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan <i>Reliability</i> Sistem pada UBB PT Petrokimia Gresik	45
Tabel 5.1 Fungsi <i>Reliability</i> pada Mesin <i>Water Pump</i> , Subsistem <i>Boiler</i> , dan Sistem UBB.....	52
Tabel 5.2 Hasil Analisis Sensitivitas Pengaruh Penggantian Mesin.....	53
Tabel 5.3 Hasil Analisis Sensitivitas Pengaruh <i>Parallel Redudancy</i>	53
Tabel 5.4 Hasil Analisis Sensitivitas Pengaruh <i>k-out-of-N Redudancy</i>	54
Tabel 5.5 Hasil Analisis Sensitivitas Pengaruh <i>Cold Standby Redudancy</i>	54
Tabel 5.6 <i>Reliability</i> Mesin pada Subsistem <i>Boiler</i>	55
Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Skenario 1.....	55
Tabel 5.8 Hasil Perhitungan Skenario 2.....	56
Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Skenario 3.....	57
Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Skenario 4.....	58
Tabel 5.11 Hasil Perhitungan Skenario 5.....	59
Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Skenario 6.....	60
Tabel 5.13 Rekap Nilai <i>Reliability</i> Sistem untuk masing-masing Skenario	60
Tabel 5.14 Perbandingan Antara Kondisi Eksisting dengan Skenario 3	61
Tabel 5.15 Perbandingan Antara Kondisi Eksisting dengan Skenario 6	62

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Data <i>output rate</i> Unit Utilitas Batubara tahun 2015 – 2019	2
Gambar 2.1 <i>Dependability Tree</i>	9
Gambar 2.2 <i>Bathup Hazard Rate Curve</i>	11
Gambar 2.3 Rangkaian RBD serial.....	14
Gambar 2.4 Rangkaian RBD parallel	14
Gambar 2.5 Cara Mempelajari Sebuah Sistem (Harrel, Ghosh, & Bowden, 2000)	16
Gambar 2.6 Diagram Distribusi Eksponensial (Buchholz, et al., 2014).....	19
Gambar 2.7 Distribusi <i>Hyper-Exponential</i> (Buchholz, et al., 2014)	20
Gambar 2.8 Diagram Distribusi <i>Hypo-Exponential</i> (Buchholz, et al., 2014).....	21
Gambar 4.1 Alur Proses Produksi Listrik UBB PT Petrokimia Gresik.....	33
Gambar 4.2 <i>Reliability Block Diagram</i> Level 0 (Sistem).....	34
Gambar 4.3 <i>Reliability Block Diagram</i> Level 1 (Subsistem)	34
Gambar 4.4 <i>Reliability Block Diagram</i> Level 2 (<i>Coal Mill</i>)	35
Gambar 4.5 <i>Reliability Block Diagram</i> Level 2 (<i>Deaerator</i>)	35
Gambar 4.6 <i>Reliability Block Diagram</i> Level 2 (<i>Boiler</i>).....	36
Gambar 4.7 <i>Reliability Block Diagram</i> Level 2 (DHDP).....	36
Gambar 4.8 <i>Reliability Block Diagram</i> Level 2 (<i>Turbine</i>)	36
Gambar 4.9 <i>Reliability Block Diagram</i> Unit Utilitas Batu Bara	38
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Hasil Skalar dengan <i>Fitting Phase-type Distribution</i> pada Mesin 20E-01.10.....	42
Gambar 4.11 Rekapitulasi <i>Fungsi Reliability</i> serta Hierarki <i>Breakdown</i> Level Sistem.....	46
Gambar 5.1 Grafik Perbandingan Hasil Skalar dengan <i>Fitting Phase-type Distribution</i> pada Mesin 20TG-01.02.....	47
Gambar 5.2 Grafik <i>Reliability Function</i> pada Sistem Eksisting.....	48
Gambar 5.3 Grafik <i>Hazard Function</i> pada Sistem Eksisting	49
Gambar 5.4 <i>Reliability Block Diagram</i> untuk Skenario 2 dan 3	56
Gambar 5.5 <i>Reliability Block Diagram</i> untuk Skenario 4	57
Gambar 5.6 <i>Reliability Block Diagram</i> untuk Skenario 4	58

Gambar 5.7 <i>Reliability Block Diagram</i> untuk Skenario 5.....	59
Gambar 5.8 <i>Reliability Block Diagram</i> untuk Skenario 6.....	60

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan ini akan dijelaskan mengenai hal-hal yang mendasari dilakukannya penelitian seperti latar belakang permasalahan, rumusan permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, serta sistematika penulisan penelitian.

1.1 Latar Belakang Masalah

PT Petrokimia Gresik merupakan salah satu produsen pupuk terbesar di Indonesia yang kini berada di bawah naungan PT Pupuk Indonesia (Pupuk Indonesia *Holding Company*). *Holding company* ini dibentuk agar dapat memenuhi pasokan pupuk untuk tiap-tiap regional yang telah ditentukan. Setiap tahunnya, pemerintah akan memberikan target produksi pupuk ataupun non pupuk yang harus dipenuhi oleh seluruh perusahaan di bawah *holding company*. Untuk memenuhi target tersebut, PT Petrokimia Gresik memerlukan sistem proses produksi yang memadai. Dalam beberapa tahun terakhir, PT Petrokimia Gresik terus menerus mengembangkan usahanya dengan cara memperluas pabrik dan meningkatkan kapasitas produksinya. Hal tersebut membuat kebutuhan energi listrik dari PT Petrokimia Gresik menjadi semakin meningkat.

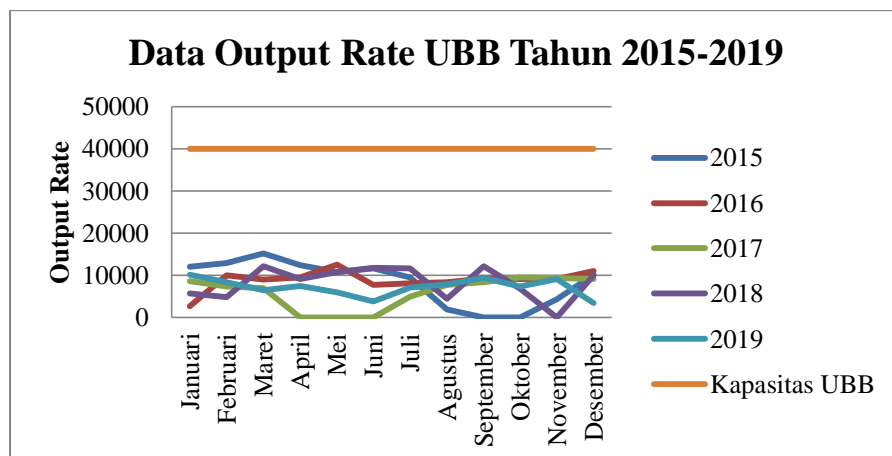
Kebutuhan listrik tersebut dipenuhi oleh PT Petrokimia dengan cara mendirikan beberapa pembangkit listrik. Satu pembangkit untuk Pabrik I, dua pembangkit untuk Pabrik II, dan tiga pembangkit untuk Pabrik III. Tabel 1.1 menunjukkan kapasitas unit pembangkit yang ada pada PT Petrokimia Gresik.

Tabel 1.1 Kapasitas unit pembangkit pada PT Petrokimia Gresik

Pabrik	Jenis Pembangkit	Kapasitas	
Pabrik I	GTG	44930	KVA
Pabrik II	STG 66	14375	
	STG 65	10625	
	UBB	40000	
Pabrik III	STG 6101	20588	
	STG 6103	14800	

Unit Utilitas Batubara (UBB) merupakan salah satu pembangkit dari PT Petrokimia Gresik. UBB berdiri pada tahun 2010 dan diresmikan pada tahun yang sama. Berdasarkan Tabel 1.1 UBB merupakan satu-satunya pembangkit PT Petrokimia Gresik yang memiliki tugas untuk memberikan aliran listrik untuk dua pabrik, yaitu Pabrik II dan III. Selain memberikan aliran listrik, UBB juga bertugas untuk memberikan *steam* yang menjadi salah satu bahan utama dalam proses pembuatan produk pada Pabrik II dan III (PT Petrokimia Gresik, 2018). Proses pada PT Petrokimia Gresik yang *continue* juga menjadi alasan mengapa peranan UBB sangat penting untuk kegiatan operasional pabrik PT Petrokimia Gresik, sehingga keandalan dari sistem UBB (*reliability* sistem) perlu untuk diperhatikan dengan baik.

Selama ini Pabrik III yang membawahi UBB belum melakukan perhitungan *reliability* sistem. Perhitungan tidak dilakukan karena Departemen *Reliability* baru saja berpisah dari Departemen *Turn Around*. Sebelumnya, kedua departemen tersebut tergabung menjadi satu dan dinamakan departemen TAREL (*turn around* dan *reliability*) namun pekerjaan mereka lebih banyak berfokus pada penjadwalan *turn around* sehingga perhitungan *reliability* sistem belum berjalan dengan baik. *User* pada Pabrik III beranggapan bahwa selama UBB tidak mengalami *breakdown* maka *reliability* sistem akan dianggap bernilai 1, walaupun *rate* kapasitas yang dihasilkan tidak maksimal karena adanya beberapa *equipment* yang mengalami kerusakan atau penurunan keandalan (*reliability*).



Gambar 1.1 Data *output rate* Unit Utilitas Batubara tahun 2015 – 2019

Pada Gambar 1.1 dapat dilihat bahwa data menunjukkan selama 5 tahun terakhir *output rate* dari UBB PT Petrokimia Gresik selalu berada di bawah kapasitas yang seharusnya dapat dicapai. *Reliability* sistem yang telah ada tidak mampu merepresentasikan keadaan yang sesungguhnya dikarenakan *reliability* selalu dianggap memiliki nilai 1 jikalau UBB masih mampu berjalan. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan *reliability* dari masing-masing mesin agar dapat mendapatkan nilai *reliability* sistem yang sesuai.

Reliability merupakan probabilitas suatu *item*, peralatan, atau sistem akan beroperasi tanpa kegagalan (*failure*) untuk suatu periode waktu tertentu di bawah kondisi tertentu (Ushakov, 1994). Sebuah studi terkini mengatakan betapa pentingnya menggunakan *reliability function* daripada *reliability value* ketika melakukan *reliability analysis*. Karena sebuah mesin memiliki kurva *reliability* yang berbeda selama masa pakai sistem, sehingga perlu untuk mempertimbangkan *reliability* sebagai fungsi waktu (Ardakan, Mirzaei, Hamadani, & Elsayed, 2017). Terdapat banyak formula yang sudah mampu mengekspresikan fungsi *reliability* sistem ketika semua mesinnya adalah independen maupun dependen. Beberapa contoh buku dan jurnal mengenai hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.2 berikut ini.

Tabel 1.2 Buku dan Jurnal Terkait Formulasi *Reliability Function*

Penulis	Tahun Terbit	Media	Karakteristik
Dhillon	2006	Buku	Independen
Navarro dan Spizzichino	2010	Jurnal	Dependen
Kolowrocki	2014	Buku	Independen
Trivedi dan Bobbio	2017	Buku	Independen
Navarro dan Cali	2019	Jurnal	Dependen

Meskipun sudah terdapat banyak formula yang mampu mengekspresikan *reliability function*, menurut Alkaff & Qomarudin (2020) mencari ekspresi matematika dari fungsi *reliability* sistem tidaklah mudah. Terlebih ketika *reliability function* dari mesinnya merupakan *mixture* dan *convolution* dari beberapa *reliability function*. Oleh karena itu dalam penelitian ini, pendekatan *phase-type distribution* akan digunakan dalam menghitung *reliability* sistem. Analisa *reliability* sistem dilakukan dengan tujuan untuk membantu perusahaan

agar dapat mengestimasi pengaruh dari sebuah kondisi permesinan terhadap sistem perusahaan sehingga perusahaan dapat melakukan antisipasi diberbagai kondisi maupun keadaan yang mungkin akan terjadi dikemudian hari (Zaitseva, 2012).

Perhitungan *reliability* sistem akan dilakukan dengan cara membagi sistem menjadi beberapa level hierarki. Terdapat 3 level yang akan digunakan diantaranya adalah level 0 yaitu sistem, level 1 yaitu subsistem, dan level 2 yaitu mesin. Level-level ini nantinya akan dimodelkan menggunakan *reliability block diagram* dan akan dilanjutkan dengan mengaplikasikan pendekatan *phase-type distribution* untuk dilakukan perhitungan *reliability* sistem. Pada penelitian ini, *reliability* sistem yang akan diamati ialah pada *rotating equipment*, karena peralatan *non-rotating* memiliki umur yang panjang sehingga *reliability* dari peralatan tersebut dapat diabaikan pada penelitian ini.

Phase-type distribution adalah distribusi dari suatu *lifetime T* atau waktu tertentu untuk masuk ke dalam *absorbing state* dari *set state* transisi yang merupakan bagian dari proses *absorbing continuous time* Markov (Buchholz, Kriege, & Felko, 2014). *Phase-type distribution* digunakan pada penelitian kali ini karena *phase-type distribution* mampu mendekati fungsi apapun, kecuali fungsi dengan nilai negatif. Seluruh mesin di dalam sistem baik yang beroperasi secara seri, paralel, ataupun *k-out-of-N* dapat diselesaikan dengan *phase-type distribution* menggunakan *closure properties*nya sehingga nanti akan dihasilkan *phase-type distribution* sesuai dengan kriteria masing-masing mesin sehingga mampu menangkap keadaan atau kondisi eksisting dengan lebih baik. *Phase-type distribution* juga dapat diaplikasikan sistem *multistate* karena *phase-type distribution* mampu merepresentasikan berapapun *level good condition* sebelum akhirnya benar-benar mengalami kegagalan (*failure*) (Alkaff & Qomarudin, 2020). Permasalahan yang telah dijabarkan di atas mampu diselesaikan dengan cara melakukan perhitungan *reliability* sistem menggunakan *reliability function* dari masing-masing mesin. Sistem dan masing-masing mesin tersebut nantinya akan dimodelkan menggunakan *reliability block diagram* dan dilanjutkan dengan pendekatan *phase-type distribution*. Hasil pendekatan akan dilanjutkan dengan analisis sensitivitas untuk mencari skenario yang paling sesuai sebagai dasar

pertimbangan dalam melakukan perbaikan pada proses UBB untuk meningkatkan *reliability* sistem.

1.2 Perumusan Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana menghitung *reliability* sistem dalam bentuk *reliability function* dengan melakukan pendekatan *phase-type distribution*. Hasil *reliability* sistem nantinya akan dilakukan analisis sensitivitas sehingga dapat memberikan saran sebagai dasar pertimbangan dalam melakukan perbaikan pada proses UBB untuk meningkatkan *reliability* sistem.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini antara lain:

1. Mengidentifikasi performansi kondisi eksisting *reliability* sistem pada UBB PT Petrokimia Gresik pada interval waktu selama 1 tahun atau 8760 jam menggunakan *phase-type distribution* dan RBD.
2. Mengidentifikasi sub-sistem dan mesin yang kritis pada sistem.
3. Melakukan analisis sensitivitas terhadap mesin yang kritis.
4. Memberikan rekomendasi perbaikan untuk peningkatan performansi *reliability* sistem pada UBB PT Petrokimia Gresik.

1.4 Manfaat

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini antara lain:

1. Perusahaan mendapatkan informasi mengenai performansi kondisi eksisting *reliability* sistem dari UBB PT Petrokimia Gresik berupa *reliability function*, *mean time to failure*, dan *hazard function*.
2. Perusahaan mendapatkan rekomendasi perbaikan struktur *reliability* pada subsistem yang kritis.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian berisi tentang batasan dan asumsi penelitian yang dilakukan.

1.5.1 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada *rotating equipment* saja.
2. Penelitian tidak mempertimbangkan faktor biaya investasi untuk solusi usulan perbaikan sistem.
3. Penelitian ini hanya memperhitungkan performansi *reliability* dilakukan pada level 0 yaitu sistem produksi pabrik, level 1 yaitu sub-sistem produksi dan level 2 yaitu komponen (mesin) UBB PT Petrokimia Gresik.

1.5.2 Asumsi Penelitian

Asumsi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peralatan yang ditambahkan atau diganti pada usulan perbaikan sistem akan memiliki kondisi kembali seperti baru (*as good as new*).
2. Kerusakan mesin akibat terjadinya *human error* diabaikan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa bab sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang, perumusan permasalahan yang didasari oleh latar belakang, tujuan penelitian yang ingin dicapai, manfaat dari penelitian yang diharapkan, serta sistematika penulisan laporan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan mengenai tinjauan pustaka yang digunakan sebagai studi literatur. Tinjauan pustaka didapat dari buku, jurnal, atau seluruh sumber lain yang relevan dan dapat dipercaya sebagai referensi dalam pengerjaan penelitian. Dalam bab ini berisi tentang *dependability*, *reliability*, pemodelan sistem, *phase-type distribution*, serta operasi *kroncker*.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang penjelasan mengenai tahapan atau metodologi yang digunakan atau dilakukan di dalam penelitian, yang mana dibagi menjadi

beberapa tahap yaitu: tahap studi sistem yang ada di dalam UBB PT Petrokimia Gresik, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data (*fitting distribution* dan perhitungan *reliability*), tahap usulan perbaikan sistem, dan yang terakhir tahap kesimpulan dan saran.

BAB 4 PENGOLAHAN DATA

Bab ini berisi tentang pengolahan data, dimulai dengan memodelkan *reliability block diagram* untuk sistem level 1 dan subsistem level 1, kemudian melakukan *fitting* data eksisting. Selanjutnya dilakukan perhitungan *reliability* baik menggunakan metode skalar ataupun *phase-type distribution*. Pada proses *phase-type distribution* nantinya *reliability block diagram* yang telah *fitting* akan diubah menjadi bentuk *state-state* dan akan diubah menjadi matriks dan akan dihitung nilai *reliability*-nya. Selain itu akan dilakukan tahapan validasi terkait hasil perhitungan *reliability*.

BAB 5 ANALISA HASIL PENGOLAHAN DATA

Bab ini menjelaskan mengenai analisis hasil pengolahan data yang telah dilakukan. Analisis hasil pengolahan data nantinya akan dibagi menjadi tiga bagian diantaranya ialah analisis *reliability* kondisi eksisting, analisis sensitivitas, dan analisis *reliability* kondisi perbaikan. Ketiganya dilakukan dengan tujuan untuk menemukan skenario yang sesuai untuk memenuhi tujuan dari penelitian, yaitu meningkatkan nilai *reliability* sistem.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai kesimpulan dari hasil penelitian yang didapat dari tujuan yang telah ditentukan. Bab ini juga akan menjelaskan mengenai saran yang diberikan sebagai rekomendasi untuk penelitian yang akan datang.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

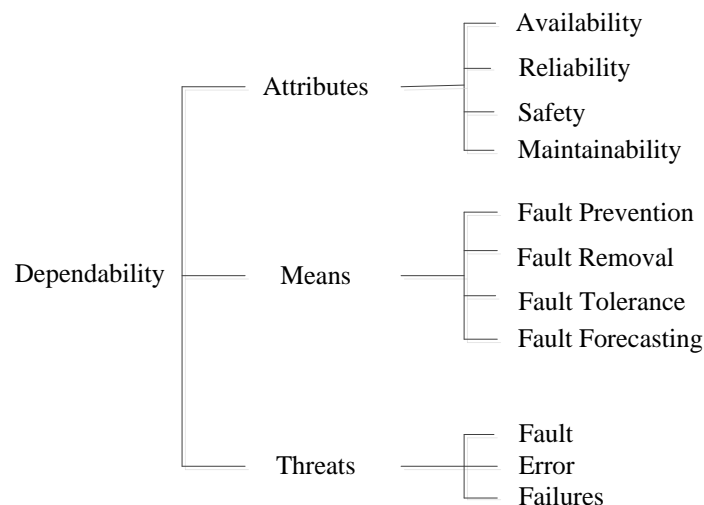
TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tinjauan pustaka sebagai dasar teori peneliti dalam melakukan penelitian. Dasar teori yang digunakan pada penelitian ini yaitu mengenai *dependability*, *reliability*, *reliability block diagram*, pemodelan sistem, *phase-type distribution*, serta operasi *kroncker*.

2.1 *Dependability*

Dependability merupakan sebuah konsep yang mencakup atau membawahi atribut-atribut lain seperti *reliability*, *availability*, *safety*, *integrity*, dan *maintainability*. *Dependability* sendiri adalah hasil dari beberapa karakteristik seperti *physical*, *technological*, dan *structural* dari sebuah sistem. Selain itu *dependability* juga dipengaruhi oleh dampak dari kondisi lingkungan, baik ketika sedang digunakan, bahan-bahan yang diolah, teknik pengolahan bahannya, serta bagaimana kondisi pengoperasian (beban kerja yang sedang diproses), dan kondisi dari mesin itu sendiri. Interaksi dengan operator juga dapat mempengaruhi *dependability* suatu alat.

Dependability dapat dipengaruhi oleh tiga aspek yaitu *attributes*, *means*, dan *threats* (Avizienis, Laprie, Randell, & Landwehr, 2004). Hubungan ketiga aspek terhadap *dependability* dapat dilihat pada *dependability tree* di Gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Dependability Tree*

Threats merupakan salah satu hal yang mempengaruhi *dependability*. *Fault* atau kesalahan dapat menyebabkan munculnya *error* bahkan dapat menyebabkan *failure*. *Error* juga mampu mempengaruhi *dependability*, salah satu bagian saja *error* maka dapat menyebabkan *failure*. *Failure* yang terjadi pada mesin nantinya dapat mempengaruhi subsistem, dan *failure* pada subsistem nantinya akan mempengaruhi sistem dan menyebabkan *failure* pada sistem (IEC 60050, 2001).

Means juga menjadi salah satu hal yang mempengaruhi *dependability*. *Fault prevention* dan juga *fault removal* merupakan hal yang dilakukan untuk mencegah adanya *threats*. Hal ini disebabkan karena adanya pencegahan terhadap kesalahan yang akan terjadi, seperti contoh melakukan perancangan sistem dengan jumlah kesalahan minimal atau menemukan dan memperbaiki *bug* selama pengujian atau selama operasi sehingga *threats* dapat dihindari. *Fault tolerance* merupakan rangkaian yang mampu memungkinkan sebuah sistem untuk terus berfungsi terlepas dari adanya *failure* mesin atau subsistem. Penggunaan redundansi merupakan salah satu contoh *fault tolerance*. Metode terakhir yaitu *fault forecasting* merupakan metode yang digunakan untuk memprediksi terjadinya *fault*, *error*, *failures* atau atribut *dependability* yang lain (IEC 60050, 2001).

Attributes dependability terdiri atas 4 bagian, *reliability*, *availability*, *safety*, dan *maintainability*. *Availability* adalah kemampuan sebuah mesin dalam bekerja sesuai dengan fungsi yang telah ditentukan, dalam kondisi dan waktu tertentu, dan dengan asumsi bahwa sumber daya eksternal yang diperlukan disediakan. *Maintainability* adalah kemampuan sebuah mesin untuk dapat diperbaiki atau dikembalikan ke keadaan di mana ia dapat melakukan fungsi sesuai dengan yang telah ditentukan. Pembahasan mengenai *reliability* akan dijelaskan di subbab setelah ini (IEC 60050, 2001).

2.2 Reliability

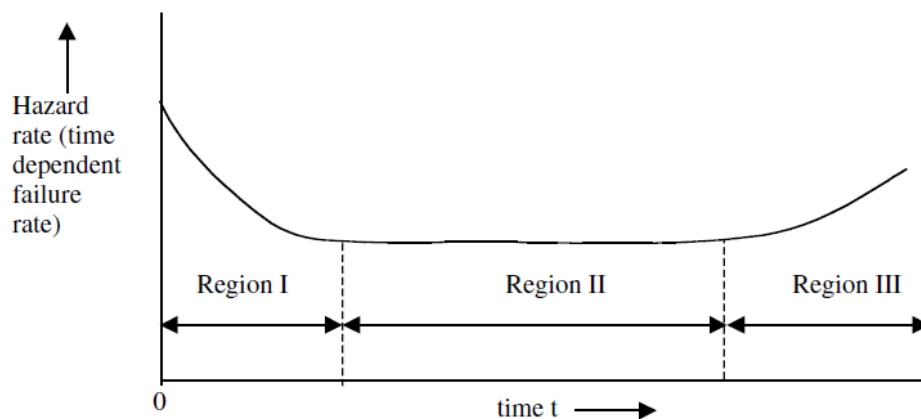
Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai konsep *reliability*, *bathup hazard rate concept*, *general reliability formulas*, dan *reliability block diagram*.

2.2.1 Konsep Reliability

Reliability merupakan probabilitas suatu *item*, peralatan, atau sistem akan beroperasi tanpa kegagalan (*failure*) untuk suatu periode waktu tertentu di bawah kondisi tertentu (Ushakov, 1994). Perhitungan *reliability* dilakukan untuk mengetahui bagaimana kondisi dari sebuah mesin, sehingga *user* dapat melakukan sesuatu kepada sistem sebelum sistem benar-benar mengalami *failure*.

2.2.2 Bathup Hazard Rate Concept

Konsep *bathup* merupakan konsep yang diketahui mampu merepresentasikan *behaviour failure* dari berbagai komponen teknik (Dhillon, 2006). *Failure* yang terjadi akibat fungsi waktu dapat digambarkan menjadi tiga bagian dalam konsep *bathup* seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Bathup Hazard Rate Curve

Region I dikenal sebagai *burn-in region* atau *debugging region*. Selama periode atau *region* ini, *hazard rate* berkurang karena *failure* yang terjadi diakibatkan adanya jeleknya proses, *human error*, dan jeleknya *quality control*. Pada *region II* disebut sebagai periode "*useful life period*" di mana *hazard rate* tetap bernilai konstan, hal ini disebabkan oleh beberapa alasan seperti rendahnya *safety factor*, adanya *defect* yang tidak terbaca, dan adanya *human error*. *Region III* dikenal sebagai "periode keausan", di mana *hazard rate* meningkat dikarenakan jeleknya *maintenance* yang dilakukan, adanya korosi pada mesin, dan adanya keausan akibat umur penggunaan yang sudah lama (Dhillon, 2006).

2.2.3 General Reliability Formulas

Terdapat empat formula yang sering digunakan untuk melakukan berbagai jenis analisis *reliability* (Dhillon, 2006).

- *Failure Density Function*

Didefinisikan sebagai persamaan berikut

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.1)$$

di mana t adalah waktu dan $f(t)$ merupakan *failure* (probabilitas) *density function*, dan $R(t)$ merupakan *reliability* mesin pada waktu t .

Ketika *reliability* sebuah mesin didefinisikan sebagai berikut

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

di mana λ merupakan nilai *failure rate constant*. Didapatkan persamaan *failure density function* dengan mensubstitusikan persamaan 2.1 dan 2.2 sebagai berikut.

$$f(t) = -\frac{de^{-\lambda t}}{dt} \quad (2.3)$$

$$= \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

- *Hazard Rate Function*

Didefinisikan sebagai persamaan berikut

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.5)$$

di mana nilai $\lambda(t)$ merupakan nilai *hazard rate* dari sebuah mesin atau *time dependent failure rate*. Masukkan persamaan 2.1 dan 2.5 maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (2.6)$$

- *General Reliability Function*

Fungsi *reliability* bisa didapatkannya dari persamaan 2.6 dengan cara sebagai berikut

$$-\lambda(t)dt = \frac{1}{R(t)} \cdot dR(t) \quad (2.7)$$

tambahkan *time interval* $[0, t]$ maka akan didapatkan persamaan fungsi sebagai berikut.

$$-\int_0^t \lambda(t)dt = \int_1^{R(t)} \frac{1}{R(t)} \cdot dR(t) \quad (2.8)$$

Karena ketika $t = 0$, maka $R(t) = 1$, maka didapatkan persamaan seperti berikut.

$$\ln R(t) = -\int_0^t \lambda(t)dt \quad (2.9)$$

General expression untuk *reliability function* didapatkan sebagai berikut.

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad (2.10)$$

- *Mean Time to Failure*

Mean time to failure merupakan perhitungan rata-rata waktu antar kerusakan yang terjadi pada sebuah mesin atau sistem. Perhitungan MTTF dapat dilakukan dengan berbagai persamaan seperti berikut.

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (2.11)$$

atau

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t)dt \quad (2.12)$$

atau

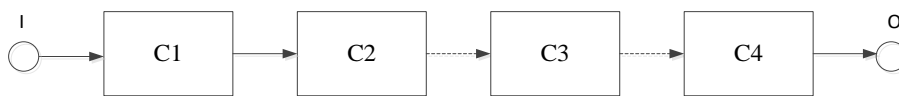
$$MTTF = \lim_{s \rightarrow 0} R(s) \quad (2.13)$$

atau

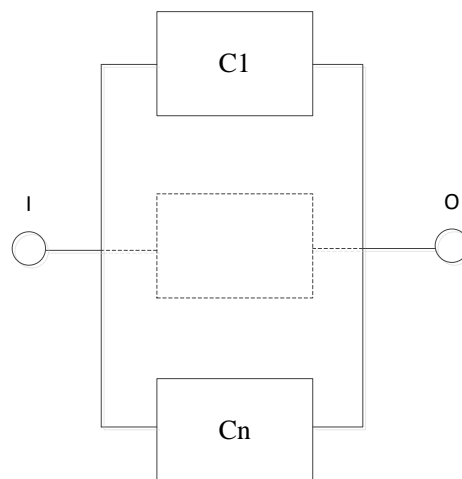
$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.14)$$

2.2.4 Reliability Block Diagram

Reliability Block Diagram (RBD) merupakan salah satu teknik analisa grafis yang menunjukkan bagaimana *reliability* dari sebuah mesin mampu memberikan pengaruh terhadap keberhasilan atau *failure* dari suatu sistem (Rosihan & Yuniarto, 2019). *Reliability block diagram* menggambarkan sebuah rangkaian *block* yang dihubungkan secara seri atau paralel seperti ditampilkan pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4.



Gambar 2.3 Rangkaian RBD serial



Gambar 2.4 Rangkaian RBD paralel

Tiap-tiap *block* mewakili mesin atau sistem dengan tingkat *failure*nya masing-masing, rangkaian seri seperti pada Gambar 2.3 menginterpretasikan logika “and” sehingga ketika satu mesin dalam sistem mengalami *failure* maka seluruh sistem akan gagal. Sebaliknya pada rangkaian paralel seperti pada Gambar 2.4 suatu sistem akan mengalami *failure* ketika seluruh sistem atau mesinnya gagal.

RBD memberikan gambaran terkait hubungan antara sistem, subsistem, dan mesin. RBD memberikan kemudahan dalam menunjukkan bagian atau mesin yang memiliki pengaruh terbesar terhadap nilai *reliability* sistem. RBD dapat

digunakan untuk melakukan perhitungan *availability*, *reliability*, *failure frequency*, sekaligus menghitung MTTF dan MTBF dari suatu sistem. Pada RBD, seluruh mesin baik subsistem ataupun sistem memiliki nilai *failure* yang independen, sehingga masing-masing mesin memiliki tingkat kerusakan yang berbeda untuk mencapai *reliability* sistem (Ludean, et al., 2018).

Terdapat beberapa kelebihan dari RBD dalam memodelkan sistem yaitu:

1. RBD mampu menggambarkan hubungan antar mesin dalam sistem sehingga mampu melihat sistem, subsistem, mesin yang memiliki nilai *reliability* terendah.
2. RBD memodelkan mesin dalam sistem secara independen sehingga perhitungan *reliability* pada sistem berdasar pada tingkat kerusakan dan nilai *reliability* dari masing-masing mesin.
3. RBD mudah digunakan, mudah diadaptasi, dan mudah untuk dilakukan perhitungan.

2.3 Pemodelan Sistem

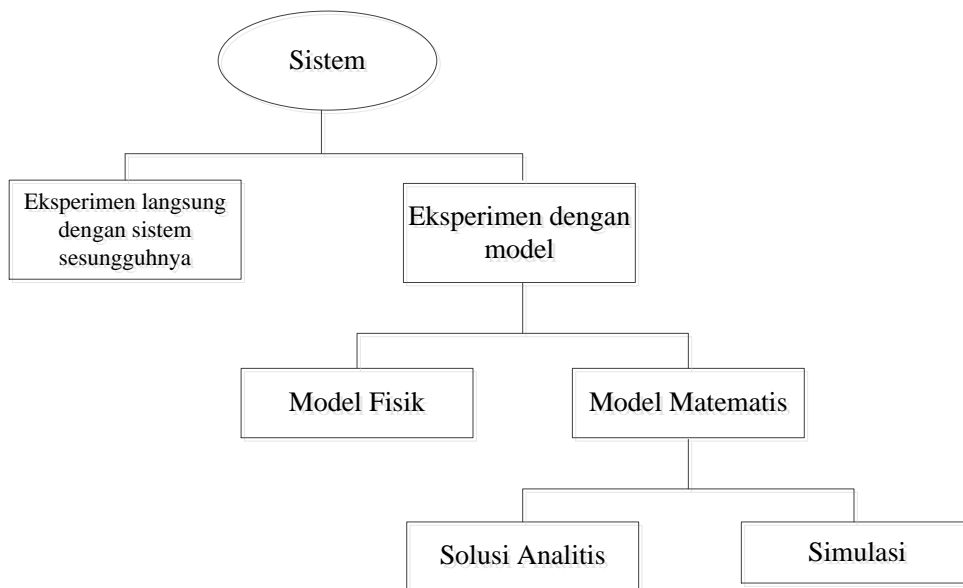
Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai sistem serta pemodelan dari sistem.

2.3.1 Sistem

Sistem merupakan serangkaian komponen yang saling berinteraksi antara satu dengan yang lain untuk mencapai suatu tujuan tertentu (Daellenbach, McNickle, & Dye, 2012). Model merupakan gambaran secara sederhana dari suatu sistem secara kualitatif atau kuantitatif yang mewakili suatu kejadian, di mana model mampu menggambarkan hubungan interaksi dari berbagai faktor yang akan diamati (Kelton, Sadowski, & Sadowski, 2000).

2.3.2 Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem merupakan suatu cara untuk menyederhanakan sebuah elemen yang sangat kompleks untuk dapat memudahkan proses pemahaman dari informasi yang dibutuhkan dari elemen tersebut.



Gambar 2.5 Cara Mempelajari Sebuah Sistem (Harrel, Ghosh, & Bowden, 2000)

Gambar 2.5 menunjukkan bahwa sebuah sistem dapat dipelajari dengan dua cara, melakukan eksperimen secara langsung atau menggunakan model. Melakukan eksperimen secara langsung dapat dilakukan jika konsekuensi perubahan sistem yang akan terjadi tidak terlalu signifikan, sedangkan untuk sistem yang memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi perlu sekali dilakukan eksperimen menggunakan model. Terdapat dua jenis model yang dapat diaplikasikan, model fisik seperti *process flow diagram* dan juga model matematika. Model matematika sendiri dapat digunakan untuk mengetahui hubungan antara komponen yang telah didefinisikan oleh sistem. Model matematika terdiri dari *decision variable*, *objective function*, *uncontrollable input*, dan konstrain atau batasan (Daellenbach, McNickle, & Dye, 2012).

Untuk memahami situasi permasalahan dalam sistem dapat dilakukan pemahaman terkait enam elemen permasalahan (Daellenbach, McNickle, & Dye, 2012). Enam elemen permasalahan tersebut yaitu: *decision maker*, *objectives*, *decision criterion*, *performance measure*, *control input* atau *alternative*, dan *context* permasalahan terjadi.

2.4 Phase-Type Distribution

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai *phase-type distribution* serta *phase-type distribution* pada *reliability*.

2.4.1 Konsep Phase-Type Distribution

Phase-type distribution merupakan distribusi dari *lifetime T* (waktu yang dibutuhkan untuk masuk ke dalam *absorbing state* dari *set state* transisi) yang merupakan bagian dari proses *absorbing continuous time* Markov (Buchholz, Kriege, & Felko, 2014). Penjelasan selanjutnya akan dijelaskan *phase-type distribution* menurut Neuts (1994). *Phase-type distribution* sejumlah *transient states* $(1, 2, 3, \dots, n)$ dan *absorbing state* $(n + 1)$, yang dapat dinotasikan sebagai *rate transition matrix*, \mathbf{Q} sebagai berikut :

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{b} \\ \mathbf{0} & 0 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

\mathbf{A} merupakan matriks yang berukuran $n \times n$ yang didefinisikan sebagai *state-transition matrix*. \mathbf{Q} merupakan matriks yang jumlah setiap barisnya sama dengan nol. \mathbf{A}_{ij} merupakan nilai diagonal \mathbf{Q} harus negatif dan setiap elemen sama dengan jumlah seluruh elemen yang lain dalam satu baris, ketika \mathbf{A}_{ij} merupakan *non-negative transition rate* dari *transient state i* ke *transient state j*, sehingga $\mathbf{b} = -\mathbf{A}\mathbf{u}_n$ di mana \mathbf{u}_n merupakan vektor berelemen satu berukuran $n \times 1$. \mathbf{b} merupakan *transition rates* dari *transient state* ke *absorbing state*.

Proses dimulai pada *state i* dengan probabilitas $\mathbf{a}(i)$ untuk $i = 1, 2, \dots, n + 1$ dan $\mathbf{a} = (\mathbf{a}(1), \mathbf{a}(2), \dots, \mathbf{a}(n))$ yang menjadi inisial *state probability* vektor yang berukuran $1 \times n$. Fungsi ini memiliki *discontinuity* pada $t = 0$ dengan besaran $\mathbf{a}(n + 1) = 1 - \mathbf{a}\mathbf{u}_n$, yang merepresentasikan peluang bahwa proses dimulai pada *absorbing state* yang menyebabkan waktu untuk *absorption* sama dengan 0, sehingga $\mathbf{a}(n + 1) = 0$ yang merepresentasikan *continuous random variable discontinuity* pada $t = 0$.

$F_X(\cdot)$ dinotasikan sebagai distribusi X yang merepresentasikan waktu menuju *absorbing state* $(n + 1)$. Neuts (1994) memperlihatkan bahwa:

$$F_X(x) = 1 - \mathbf{a}e^{\mathbf{A}x}\mathbf{u}_n \quad \text{untuk } x \geq 0 \quad (2.16)$$

Di mana \mathbf{a} merupakan *initial state probability vector* yang merepresentasikan probabilitas sebuah proses dimulai pada saat *transient states*. Oleh karena itu, $\mathbf{a}\mathbf{u} = \mathbf{1}$, di mana \mathbf{u} merupakan vektor dengan kesemua elemennya bernilai 1. Distribusi $F_X(x)$ dinyatakan memiliki *phase-type distribution* dengan representasi $(n, \mathbf{a}, \mathbf{A})$ sebagai parameternya, dan $(n, \mathbf{a}, \mathbf{A})$ disebut sebagai representasi *phase-type distribution* dari $F_X(x)$. Momen ke i dari X dapat didapatkan dari persamaan 16 sebagai berikut

$$E[X^i] = (-1)^i i! (\mathbf{a}\mathbf{A}^{-i}\mathbf{u}) \quad i = 1, 2, \dots \quad (2.17)$$

2.4.2 Phase-type Distribution pada Reliability

Fungsi *reliability* pada sebuah mesin dalam metode *phase-type distribution* ialah sebagai berikut.

$$R(t) = P(T > t) = 1 - F_T(t) = \mathbf{a}e^{At}\mathbf{u}, \quad t \geq 0 \quad (2.18)$$

dengan keadaan T merupakan *lifetime* mesin. *Hazard function* dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$h(t) = -\frac{R'(t)}{R(t)} = -\mathbf{a}e^{At}\mathbf{u}(\mathbf{a}e^{At}\mathbf{u})^{-1} \quad (2.19)$$

Nilai MTTF pada *phase-type distribution* pada *reliability* dapat didapatkan dari persamaan 2.19 sebagai berikut.

$$MTTF = E[T] = -\mathbf{a}\mathbf{A}^{-1}\mathbf{u} \quad (2.20)$$

Untuk menghilangkan matriks invers maka akan diberikan variabel *auxiliary* β dan didapatkan persamaan berikut.

$$MTTF = -\beta\mathbf{u} \quad (2.21)$$

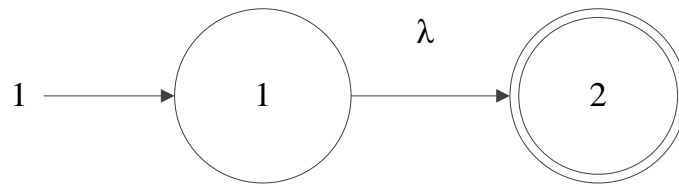
Phase-type distribution dapat diinterpretasikan ke dalam *reliability*. Di mana *transient states* dapat direpresentasikan sebagai beberapa tingkatan “*good conditions*” atau “*good states*”, sedangkan *absorbing state* direpresentasikan sebagai “*failed condition*” atau “*failed state*”. Transisi dari satu *good condition* ke *good condition* yang lain dapat disebabkan oleh berubahnya keadaan atau kondisi mesin. Hal itu bisa saja disebabkan oleh adanya penuaan dari mesin. Transisi dari *good condition* ke *failed condition* merepresentasikan adanya *failure*

pada sistem. Pada saat itulah nilai *absorption* sama dengan *time to failure* atau *lifetime* dari mesin tersebut. Dari interpretasi itulah *phase-type distribution* dapat digunakan dalam *reliability analysis* (Alkaff & Qomarudin, 2020).

Phase-type distribution mampu mengcover banyak distribusi. Distribusi CFR, DFR, IFR, dan BFR pada *reliability analysis* juga dapat diselesaikan menggunakan *phase-type distribution* dengan penjelasan sebagai berikut.

1. *Exponential Distribution* (CFR)

Distribusi eksponensial merupakan bentuk dari *phase-type distribution* yang memiliki satu *transient state* dengan parameter λ .



Gambar 2.6 Diagram Distribusi Eksponensial (Buchholz, et al., 2014)

Distribusi eksponensial memiliki *density function* yaitu sebagai berikut:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad \text{untuk } x \geq 0 \quad (2.22)$$

dan memiliki fungsi distribusi sebagai berikut:

$$F(x) = 1 - \lambda e^{-x} \quad \text{untuk } x \geq 0 \quad (2.23)$$

Rata-rata distribusi *hyper-exponential* dan variasi yaitu:

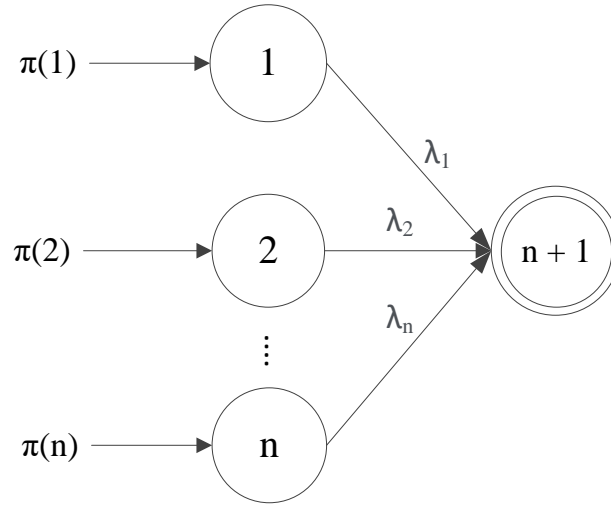
$$E[X] = \frac{1}{\lambda} \quad \text{dan} \quad \text{VAR}[X] = \frac{1}{\lambda^2}, \quad \text{dan skalar} \quad e^{-\lambda t}.$$

Matriks *phase-type distribution* dari distribusi *exponential* ialah sebagai berikut

$$n = 1; \quad \mathbf{a} = \mathbf{1}; \quad \mathbf{A} = [-\lambda]$$

2. *N-stage-Hyper-Exponential Distribution* (DFR)

Hyper-exponential merupakan distribusi yang terdiri dari dua atau lebih *state* yang terjadi secara saling lepas atau bentuk paralel.



Gambar 2.7 Distribusi *Hyper-Exponential* (Buchholz, et al., 2014)

Memiliki *density function* yaitu sebagai berikut:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n p(i)\lambda(i)e^{-\lambda(i)x} \quad \text{untuk } x \geq 0 \quad (2.24)$$

$p(i)$ harus lebih dari 0 untuk semua *state* i dan $\sum_{i=1}^n p(i) = 1$

Fungsi distribusi dari *hyper-exponential* yaitu sebagai berikut:

$$F(x) = \sum_{i=0}^{n-1} p(i) (1 - e^{-\lambda x}) \quad \text{untuk } x \geq 0 \quad (2.25)$$

Rata-rata distribusi *hyper-exponential* dan variasi yaitu:

$$[X] = \sum_{i=1}^n \frac{p(i)}{\lambda(i)} \quad \text{dan} \quad VAR[X] = 2 \sum_{i=1}^n \frac{p(i)}{\lambda(i)^2} - \left(\sum_{i=1}^n \frac{p(i)}{\lambda(i)} \right)^2$$

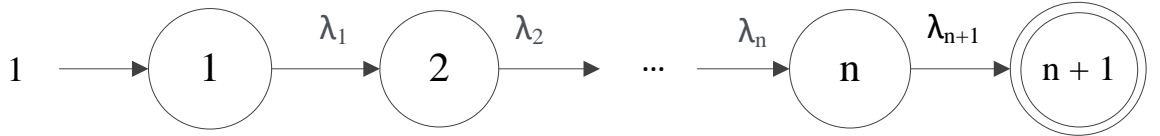
dan skalar $\sum_{i=1}^n p_i e^{-\lambda_i t}$

Matriks *phase-type distribution* dari distribusi *n-stage-hyper-exponential distribution* ialah sebagai berikut

$$n = n; \quad \mathbf{a} = [p_1 \quad p_2 \quad \dots \quad p_n]; \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} -\lambda_1 & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & -\lambda_2 & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & -\lambda_n \end{bmatrix}$$

3. *N-Stage-Hypo-Exponential Distribution (IFR)*

Hypo-exponential merupakan distribusi yang bentuknya menyerupai distribusi hanya saja perpindahan antara *state i* ke *state j* berbeda antara setiap *state*.



Gambar 2.8 Diagram Distribusi *Hypo-Exponential* (Buchholz, et al., 2014)

Memiliki *density function* yaitu sebagai berikut:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1, j \neq i}^n \frac{\lambda(j)}{\lambda(j) - \lambda(i)} \right) f_i(x) \quad (2.26)$$

untuk $x \geq 0, \lambda(i) \neq \lambda(j)$ untuk $i \neq j$

Rata-rata distribusi *hyper-exponential* dan variasi yaitu:

$$E[X] = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda(i)} \quad \text{dan} \quad \text{VAR}[X] = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda(i)^2} \quad \text{dan skalar}$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{e^{-\lambda_i x}}{P_i} \quad \text{dengan} \quad P_i = \prod_{j=1, j \neq i}^n \left(1 - \frac{\lambda_i}{\lambda_j} \right)$$

Matriks *phase-type distribution* dari distribusi *n-stage-hyper-exponential distribution* ialah sebagai berikut

$$n = n; \quad \mathbf{a} = [\mathbf{1} \quad \mathbf{0} \quad \dots \quad \mathbf{0}]; \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} -\lambda_1 & \lambda_1 & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & -\lambda_2 & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & -\lambda_{n-1} & \lambda_{n-1} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & -\lambda_n \end{bmatrix}$$

2.4.3 Model Reliability pada Phase-type Distribution

Pendekatan *phase-type distribution* dinyatakan dalam *random variables* yang merepresentasikan *lifetime*. T_1 dan T_2 merepresentasikan *lifetime* dari mesin. Oleh sebab itu, *system reliability modelling* berbasis pada hubungan antara *system lifetime* dan *components lifetime*. *System lifetime* disebut T_s dan *lifetime* untuk i mesin akan disebut T_i untuk $i = 1, 2, 3, \dots, N$ di mana N merupakan jumlah dari mesin yang diamati.

$$T_s = \varphi(T_1, T_2, \dots, T_N) \quad (2.27)$$

di mana φ merupakan *system structure function*, yang mana bergantung pada struktur dari fungsi. Masing-masing *lifetime* dari mesin bersifat independen *non identical random variables*, dengan representasi dalam *phase-type distribution* sebagai $(n_i, \mathbf{a}_i, \mathbf{A}_i)$.

Beberapa *basic system structure* yang mengikuti standar *reliability* ialah sebagai berikut.

1. Series System

Sistem seri adalah sistem di mana jika salah satu mesin mati, maka seluruh sistem akan mati. Oleh sebab itu, *lifetime* dari sistem seri dimodelkan semimumum mungkin dari *lifetime* mesinnya:

$$T_s = \min(T_1, T_2, \dots, T_N) \quad (2.28)$$

dengan menggunakan model tersebut, nilai distribusi T_s dapat ditemukan dengan persamaan berikut.

T_s dari sistem seri memiliki *phase-type representation* $(n_s, \mathbf{a}_s, \mathbf{A}_s)$.

$$n_s^{(i)} = n_s^{(i-1)} n_i \quad (2.29)$$

$$\mathbf{a}_s^{(i)} = \mathbf{a}_s^{(i-1)} \otimes \mathbf{a}_i \quad (2.30)$$

$$\mathbf{A}_s^{(i)} = \mathbf{A}_s^{(i-1)} \oplus \mathbf{A}_i \quad (2.31)$$

di mana $i = 1, 2, 3, \dots, N$ dengan kondisi awal

$$n_s^{(1)} = n_1; \quad \mathbf{a}_s^{(1)} = \mathbf{a}_1; \quad \mathbf{A}_s^{(1)} = \mathbf{A}_1 \quad (2.32)$$

2. Parallel System

Sistem paralel merupakan sebuah sistem yang akan gagal jikalau semua mesin di dalamnya mengalami *failure* atau kegagalan. Umur dari

sistem paralel dapat dimodelkan sebagai nilai maksimum dari umur hidup mesinnya,

$$T_s = \max(T_1, T_2, \dots, T_N) \quad (2.33)$$

dengan menggunakan model tersebut, nilai distribusi T_s dapat ditemukan dengan persamaan berikut.

T_s dari sistem paralel memiliki *phase-type representation* $(n_s, \mathbf{a}_s, \mathbf{A}_s)$.

$$n_s^{(i)} = n_s^{(i-1)} n_i + n_s^{(i-1)} + n_i \quad (2.34)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_s^{(i)} &= [\mathbf{a}_s^{(i-1)} \otimes \mathbf{a}_i, \mathbf{a}_i(n_i + \mathbf{1})\mathbf{a}_s^{(i-1)}, \mathbf{a}_s^{(i-1)}(n_s^{(i-1)} + \mathbf{1})\mathbf{a}_i] \\ &= [\mathbf{a}_s^{(i-1)} \otimes \mathbf{a}_i, \mathbf{0}, \mathbf{0}] \end{aligned} \quad (2.35)$$

$$\mathbf{A}_s^{(i)} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_s^{(i-1)} \oplus \mathbf{A}_i & \mathbf{I}_{n_s^{(i-1)}} \otimes \mathbf{b}_i & \mathbf{b}_s^{(i-1)} \otimes \mathbf{I}_{n_i} \\ \mathbf{0} & \mathbf{A}_s^{(i-1)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{A}_i \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

Di mana $i = 2, 3, \dots, N$, dengan kondisi awal seperti pada persamaan 2.34, dan $\mathbf{b}_i = -\mathbf{A}_i \mathbf{u}$ dan $\mathbf{b}_s^{(i-1)} = \mathbf{A}_s^{(i-1)} \mathbf{u}$

3. *K-out-of-N System*

Dalam struktur *K-out-of-N*, sistem beroperasi jika dan hanya jika setidaknya mesin *K-out-of-N* berada dalam kondisi baik. Ini dapat dianggap sebagai generalisasi dari sistem paralel, yang merupakan sistem satu-dari-N. Fungsi struktur dari sistem ini dapat dimodelkan sebagai berikut.

$$T_s = \text{kofn}(T_1, T_2, \dots, T_N; K) \quad (2.37)$$

4. *Standby System*

Sistem *standby* atau *cold standby* adalah struktur redundansi, di mana komponen *standby* akan bekerja ketika komponen redundansinya mengalami *failure* atau kegagalan. Komponen *standby* tidak mengalami *failure* saat berada pada posisi *standby*. Jika perubahannya sempurna

(*switch perfect*) atau tidak pernah gagal, maka sistem akan gagal jika dan hanya jika semua komponennya gagal satu demi satu. Oleh karena itu, *lifetime* sistem dapat dimodelkan sebagai *lifetime* dari komponennya,

$$T_s = T_1 + T_2 + \dots + T_N = \text{add}(T_1, T_2, \dots, T_N) \quad (2.38)$$

dengan menggunakan model tersebut, nilai distribusi T_s dapat ditemukan dengan persamaan berikut.

T_s dari sistem *standby* memiliki *phase-type representation* $(n_s, \mathbf{a}_s, \mathbf{A}_s)$.

$$n_s^{(i)} = n_s^{(i-1)} + n_i \quad (2.39)$$

$$\mathbf{a}_s^{(i)} = [\mathbf{a}_s^{(i-1)}, \mathbf{a}_s^{(i-1)}(n_s^{(i-1)} + \mathbf{1})\mathbf{a}_i] = [\mathbf{a}_s^{(i-1)}, \mathbf{0}] \quad (2.40)$$

$$\mathbf{A}_s^{(i)} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_s^{(i-1)} & \mathbf{b}_s^{(i-1)}\mathbf{a}_i \\ \mathbf{0} & \mathbf{A}_i \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

2.5 Operasi Kronecker

Phase-type distribution memiliki banyak sekali pendekatan. Salah satunya adalah operasi matrix aljabar *kroncker*. *Kronecker* merupakan operasi perkalian matriks yang biasa digunakan dalam metode *Markov Chains*. *Kronecker* memiliki dua operasi yang biasa disebut dengan *kroncker sum* dan *kroncker product*. *Kronecker product* digunakan ketika *matrix* memiliki bentuk persegi panjang dengan kondisi $\mathbf{A} = [\mathbf{A}_{ij}]$ dan $\mathbf{B} = [\mathbf{B}_{ij}]$ memiliki dimensi masing-masing yaitu $n_1 \times n_2$ dan $m_1 \times m_2$, sehingga *kroncker product* $\mathbf{A} \otimes \mathbf{B}$ menghasilkan matriks dengan dimensi $n_1 m_1 \times n_2 m_2$ dengan bentuk matriks sebagai berikut:

$$\mathbf{A} \otimes \mathbf{B} = \begin{bmatrix} A_{11}\mathbf{B} & \dots & A_{1n_2}\mathbf{B} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n_1 1}\mathbf{B} & \dots & A_{n_1 n_2}\mathbf{B} \end{bmatrix} \quad (2.42)$$

Kronecker sum digunakan ketika *matrix* berbentuk persegi dengan kondisi $\mathbf{A} = [\mathbf{A}_{ij}]$ dan $\mathbf{B} = [\mathbf{B}_{ij}]$ memiliki dimensi masing-masing yaitu $n \times n$ dan $m \times m$, sehingga *kroncker product* $\mathbf{A} \oplus \mathbf{B}$ menghasilkan matriks dengan dimensi $nm \times nm$, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\mathbf{A} \oplus \mathbf{B} = \mathbf{A} \otimes \mathbf{I}_m + \mathbf{I}_n \otimes \mathbf{B} \quad (2.43)$$

Kronecker product dan *kronecker sum* bukan merupakan sifat komutatif.

Persamaan yang akan sering digunakan pada penelitian ini yaitu:

$$e^{\mathbf{A}_1 t} \otimes e^{\mathbf{A}_2 t} = e^{(\mathbf{A}_1 \oplus \mathbf{A}_2) t} \quad (2.44)$$

Persamaan yang digunakan dalam operasi *phase-type distribution* dalam Neuts (1994) yang kemudian dikembangkan oleh Alkaff & Qomarudin (2020) yaitu sebagai berikut:

- a. $Min(T_1, T_2)$ memiliki *phase-type distribution* dengan representasi $(n_s, \mathbf{a}_s, \mathbf{A}_s)$.

$$n_s = n_1 n_2 \quad (2.45)$$

$$\mathbf{a}_s = \mathbf{a}_1 \otimes \mathbf{a}_2 \quad (2.46)$$

$$\mathbf{A}_s = \mathbf{A}_1 \oplus \mathbf{A}_2 \quad (2.47)$$

- b. $Max(T_1, T_2)$ memiliki *phase-type distribution* dengan representasi $(n_s, \mathbf{a}_s, \mathbf{A}_s)$.

$$n_s = n_1 + n_2 + n_1 n_2 \quad (2.48)$$

$$\mathbf{a}_s = [\mathbf{a}_1 \otimes \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_2(n_2 + 1)\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_1(n_1 + 1)\mathbf{a}_2] \quad (2.49)$$

$$\mathbf{A}_s = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1 \oplus \mathbf{A}_2 & \mathbf{I}_{n_1} \otimes \mathbf{b}_2 & \mathbf{b}_1 \otimes \mathbf{I}_{n_2} \\ 0 & \mathbf{A}_1 & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{A}_2 \end{bmatrix} \quad (2.50)$$

- c. $Add(T_1, T_2) = T_1 + T_2$ memiliki *phase-type distribution* dengan representasi $(n_s, \mathbf{a}_s, \mathbf{A}_s)$.

$$n_s = n_1 + n_2 \quad (2.51)$$

$$\mathbf{a}_z = [\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_1(n_1 + 1)\mathbf{a}_2] = [\mathbf{a}_1, 0] \quad (2.52)$$

$$\mathbf{A}_z = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1 & \mathbf{b}_1 \mathbf{a}_2 \\ 0 & \mathbf{A}_2 \end{bmatrix} \quad (2.53)$$

2.6 Birnbaum's Importance Index

Birnbaum's importance index merupakan *important index* yang paling relevan dengan *reliability* sistem (Hwang, 2001). Hal ini disebabkan karena *birnbaum's importance index* mengukur tingkat perubahan *reliability* sistem

sebagai akibat dari perubahan *reliability* dari mesin tunggal, sehingga apapun perubahan yang terjadi pada satu mesin yang kritis akan memberikan dampak kepada keseluruhan *reliability* sistem (Rausand & Hoylan, 2004). Persamaan yang digunakan dalam menjalankan metode *birnbaum's importance index* yaitu sebagai berikut:

$$I_B^i(t) = \frac{\partial G(q(t))}{\partial q_i(t)} = G(1_i, q(t)) - G(0_i, q(t)) \quad (2.54)$$

Fungsi *birnbaum's importance index* untuk masing-masing struktur ialah sebagai berikut:

1. Serial

Untuk mesin yang memiliki struktur serial dapat menggunakan fungsi 2.52 dan 2.53 di bawah ini.

$$\emptyset(X) = X_1 X_2 X_3 X_4 \quad (2.55)$$

dan

$$G(q) = 1 - (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4) \quad (2.56)$$

2. Paralel

Untuk mesin yang memiliki struktur paralel maka dapat menggunakan fungsi 2.54 dan 2.55 di bawah ini.

$$\emptyset(X) = X_1 \vee X_2 \vee X_3 \vee X_4 \quad (2.57)$$

dan

$$G(q) = q_1 q_2 q_3 q_4 \quad (2.58)$$

3. *k out of N*

Untuk mesin yang memiliki struktur *k out of N* maka dapat menggunakan fungsi 2.56 dan 2.57 di bawah ini.

$$\begin{aligned} \emptyset(X) &= (X_1 X_2 X_3) \vee (X_1 X_2 X_4) \vee (X_1 X_3 X_4) \vee (X_2 X_3 X_4) \quad (2.59) \\ &= 1 - [1 - X_1 X_2 X_3][1 - X_1 X_2 X_4][1 - X_1 X_3 X_4][1 - X_2 X_3 X_4] \end{aligned}$$

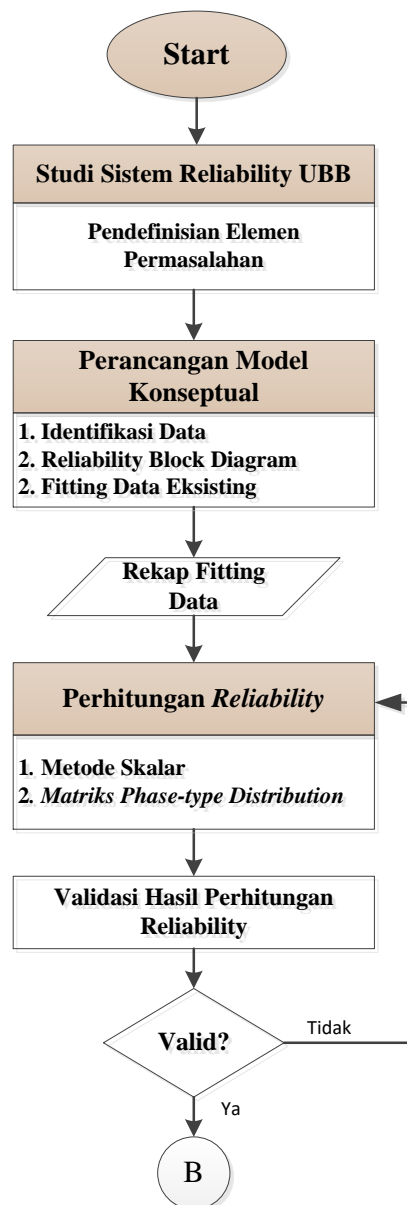
dan

$$\begin{aligned} G(q) &= q_1 q_2 + q_1 q_3 + q_2 q_3 + q_2 q_4 + q_3 q_4 - 2q_1 q_2 q_3 - \quad (2.60) \\ &2q_1 q_2 q_4 - 2q_1 q_2 q_3 - 2q_1 q_3 q_4 - 2q_2 q_3 q_4 + 32q_1 q_2 q_3 q_4 \end{aligned}$$

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metodologi untuk melakukan penelitian ini. Metodologi terbagi menjadi beberapa tahap yaitu studi sistem *reliability*, tahap pengumpulan dan pengolahan data, tahap pemodelan sistem, tahap analisis dan perbaikan serta tahap kesimpulan dan saran. Gambar 3.1 di bawah ini merupakan diagram alir (*flowchart*) dalam pelaksanaan penelitian ini.



Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian



Gambar 3.2 *Flowchart* Metodologi Penelitian (Lanjutan)

Penjelasan *flowchart* di atas akan dibahas secara mendetil di subbab-subbab berikut.

3.1 Studi Sistem Proses pada UBB PT Petrokimia Gresik

Pada tahap ini akan dilakukan studi sistem proses yang menjelaskan elemen dari permasalahan pada UBB PT Petrokimia Gresik.

3.1.1 Elemen Permasalahan

Elemen permasalahan dalam sistem proses pada UBB PT Petrokimia Gresik yaitu:

1. *Decision maker* pada permasalahan ini yaitu Kepala Bagian Departemen *Reliability* PT Petrokimia Gresik.
2. *Decision maker's objective* ini yaitu meningkatkan *reliability* sistem UBB PT Petrokimia Gresik.
3. *Decision criterion* yaitu peningkatan *reliability* sistem UBB PT Petrokimia Gresik.
4. *Performance* yaitu nilai *reliability* sistem UBB PT Petrokimia Gresik.
5. *Alternative courses of action* yaitu penambahan mesin *redundant* dan melakukan peningkatan nilai *reliability* mesin.

6. *Context* permasalahan terjadi yaitu pada UBB PT Petrokimia Gresik.

3.2 Perancangan Model Konseptual

Perancangan model konseptual diawali dengan melakukan identifikasi data. Data yang diidentifikasi merupakan data struktural, data operasional, dan data numerik. Data struktural menampilkan struktur dari sistem produksi seperti letak-letak setiap mesin (*turbin, boiler, depressure*). Data operasional menunjukkan tahapan sistem bekerja seperti bagaimana urutan proses produksi (*process flow diagram*). Data numerik merupakan data kuantitatif yang terdapat di dalam sistem, contohnya data kerusakan untuk setiap mesin dalam sistem, data rata-rata waktu perbaikan mesin dalam sistem, serta *output rate* dari sistem. Data-data tersebut didapatkan dengan cara melakukan wawancara langsung pada *engineer* dan kepala bagian dari Departemen *Reliability* UBB PT Petrokimia Gresik.

Setelah melakukan identifikasi data, akan dilanjutkan dengan melakukan pemodelan *reliability block diagram* sesuai dengan data *process flow diagram* yang telah diidentifikasi. Setelah selesai melakukan pemodelan, akan dilakukan pengelompokan data kerusakan sesuai dengan masing-masing mesin yang telah dimodelkan. Data yang digunakan merupakan data historis kerusakan yang nantinya akan di *fitting* distribusinya untuk dapat mengetahui jenis distribusi kerusakan yang dimiliki oleh mesin tersebut. *Fitting* data dilakukan menggunakan bantuan *software* Weibull++ 6. Jika terdapat mesin yang tidak memiliki catatan historis maka akan menggunakan sumber lain yang sesuai untuk mendapatkan datanya. Hasil pengolahan data tersebut nantinya akan menjadi *input* pada pengolahan *phase-type distribution*. Parameter-parameter yang didapatkan seperti nilai *failure rate, alpha, beta, dan gamma* akan digunakan untuk proses *fitting* selanjutnya, yaitu pada *fitting phase-type distribution*.

3.3 Perhitungan Reliability

Pada tahap ini dilakukan perhitungan *reliability*. Perhitungan *reliability* diawali dengan melakukan *fitting* data pada *phase-type distribution, input* untuk melakukan *fitting* ini adalah hasil dari *fitting* data *time to failure* yang telah

dilakukan. *Output* dari *fitting time to failure* nantinya akan dimasukkan ke dalam MATLAB untuk dicari parameter *phase-type distribution* atau parameter $(n, \mathbf{a}, \mathbf{A})$. Parameter ini nantinya akan digunakan untuk menghitung *reliability* secara skalar dan *phase-type*. Kedua perhitungan dilakukan di dalam *software* MATLAB. Perhitungan nantinya akan dimulai dari masing-masing mesin pada seluruh subsistem, kemudian dilanjutkan pada perhitungan untuk masing-masing subsistem, dan yang terakhir adalah perhitungan untuk sistem itu sendiri. Hasil ataupun *output* yang didapatkan dari perhitungan ini berupa *reliability function*, *hazard rate plot*, dan *mean time to failure* untuk masing-masing mesin, subsistem, dan sistem.

3.4 Validasi Perhitungan Reliability

Pada tahap ini dilakukan validasi terkait perhitungan *reliability*. Validasi diawali dengan melakukan pengecekan terkait kecocokan antara model *reliability block diagram* yang telah dibangun dengan kondisi atau struktur asli dari sistem yang diamati, pengecekan terkait kecocokan akan dilakukan dengan cara melakukan diskusi dengan *engineer* dan kepala bagian dari Departemen *Reliability* Pabrik III UBB, jika pihak UBB merasa model *reliability block diagram* yang dibangun telah sesuai maka model yang dibangun dianggap telah valid. Untuk validasi terkait hasil perhitungan, akan dilakukan perbandingan antara hasil perhitungan statistik antara nilai *reliability value* (skalar) dengan *reliability function* (bantuan *software* MATLAB), jika nilai yang dihasilkan sama maka hasil perhitungan *reliability* yang dilakukan juga valid.

3.5 Usulan Perbaikan Sistem

Dalam menentukan usulan perbaikan sistem akan dilakukan analisis *phase-type distribution* terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan dengan analisis *reliability* sistem pada kondisi eksisting, lalu penentuan mesin kritis, analisis sensitivitas, dan yang terakhir adalah analisis *reliability* sistem pada kondisi perbaikan.

Pada tahap yang pertama yaitu tahap analisis *phase-type distribution* akan dijelaskan keunggulan-keunggulan *phase-type distribution* serta hasil

pengaplikasian *phase-type distribution* pada UBB. Kemudian dilanjutkan dengan tahap analisis *reliability* sistem pada kondisi eksisting. Pada tahap ini nantinya akan dilihat bagaimana hasil pengolahan data dan akan diberikan penjelasan terkait *output* dari pengolahan data yang telah dilakukan.

Setelah mengetahui kondisi eksisting dari sistem, akan dilakukan penentuan mesin kritis yang akan digunakan untuk meningkatkan *reliability* sistem. Penentuan mesin kritis akan dilakukan menggunakan *birnbaum's importance index*. Setelah menemukan mesin kritis, akan dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu analisis sensitivitas. Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengubah variabel yang pada penelitian ini merupakan struktur dari subsistem agar dapat meningkatkan nilai *reliability* sistem. Beberapa skenario nantinya akan dibangun dan dilakukan perhitungan untuk menemukan skenario yang paling sesuai dengan kriteria dari UBB PT Petrokimia Gresik. Tahap terakhir atau tahap analisis *reliability* sistem pada kondisi perbaikan akan dilakukan analisis terkait hasil perhitungan dari skenario yang terpilih.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini akan dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan pengolahan data yang telah dilakukan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan di awal penelitian. Akan diberikan pula saran dan usulan terkait penelitian untuk penelitian selanjutnya.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

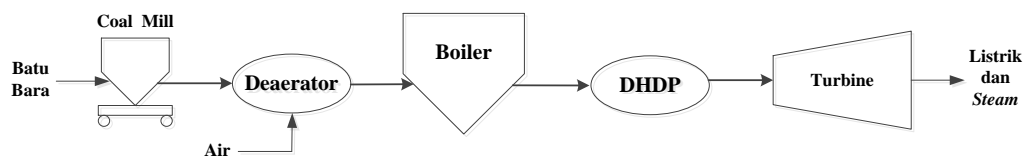
BAB 4

PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai deskripsi sistem, perancangan *reliability block diagram*, *fitting data time to failure*, pengolahan *phase-type distribution*, dan penentuan komponen kritis dalam sistem yang diteliti.

4.1 Deskripsi Sistem

Proses produksi listrik pada UBB PT Petrokimia Gresik terdiri atas 5 subsistem, yaitu subsistem *coal combustion*, *deaerator*, *boiler*, *turbine*, dan *depressure and desuperheater* (DHDP). Alur proses produksi listrik dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Alur Proses Produksi Listrik UBB PT Petrokimia Gresik
Sumber: PT Petrokimia Gresik (2020)

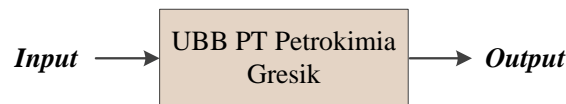
Alur produksi dimulai dari masuknya bahan baku. Batu bara yang merupakan bahan baku proses produksi akan dipindahkan menggunakan *conveyor* menuju *coal mill*. Di dalam *coal mill* akan dilakukan berbagai macam proses, salah satunya adalah *grind* atau menggiling batu bara agar memiliki bentuk yang lebih halus. Dilanjutkan dengan air, air akan dipanaskan di dalam *deaerator* dengan tujuan agar kandungan oksigen dan gas-gas lainnya dapat menghilang. Hal ini dilakukan karena air dengan kandungan oksigen dan gas lain dapat membuat *boiler* mengalami korosi.

Setelah air dan batu bara siap, keduanya akan dimasukkan ke dalam *boiler* untuk dilakukan proses pemanasan air menggunakan bahan bakar batu bara. Proses *boiler* nantinya akan menghasilkan *steam* atau uap. Uap yang dihasilkan akan disalurkan ke dalam proses DHDP (*depressure and*

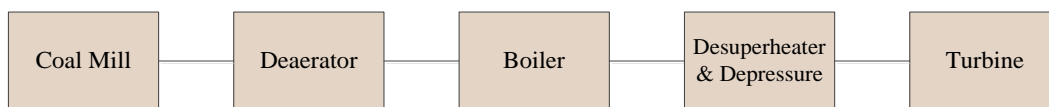
desuperheater). Proses DHDP dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan tekanan udara dan menurunkan temperatur pada uap. Uap yang telah siap selanjutnya akan disalurkan ke *turbine* untuk diproses dan diubah menjadi listrik yang akan disalurkan kepada Pabrik II dan Pabrik III.

4.2 Deskripsi Sistem *Reliability*

Pendeskripsian sistem *reliability* dari UBB PT Petrokimia Gresik dilakukan dengan menggunakan model *reliability block diagram*. Pemodelan dilakukan pada sistem produksi listrik UBB PT Petrokimia Gresik menjadi 3 level, level 0 yang merupakan sistem itu sendiri, level 1 yang merupakan level subsistem, dan level 2 yang merupakan level mesin. Model level 0 dapat dilihat pada Gambar 4.2 yang merupakan sistem dari UBB PT Petrokimia Gresik. Model level 1 subsistem dapat dilihat pada Gambar 4.3. Terlihat bahwa di dalam sistem terdapat 5 subsistem, yaitu *coal combustion*, *deaerator*, *boiler*, DHDP (*desuperheater and depressure*), serta *turbine* dengan struktur berbentuk serial.

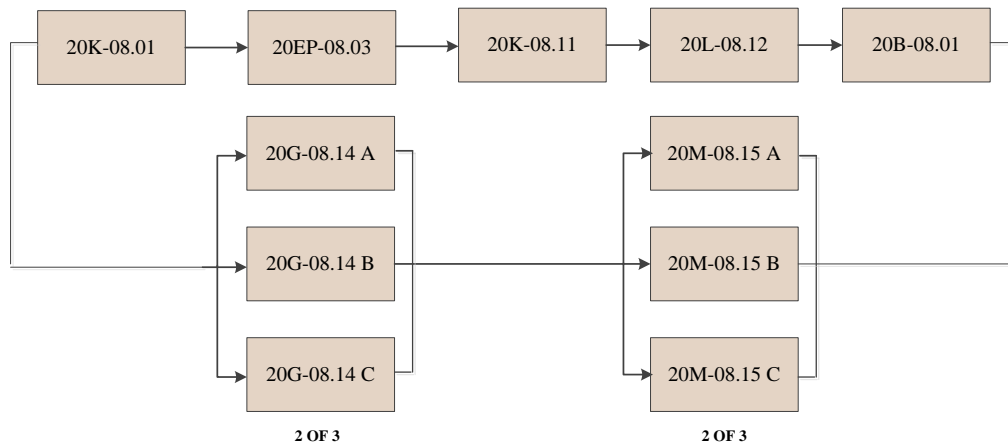


Gambar 4.2 *Reliability Block Diagram* Level 0 (Sistem)



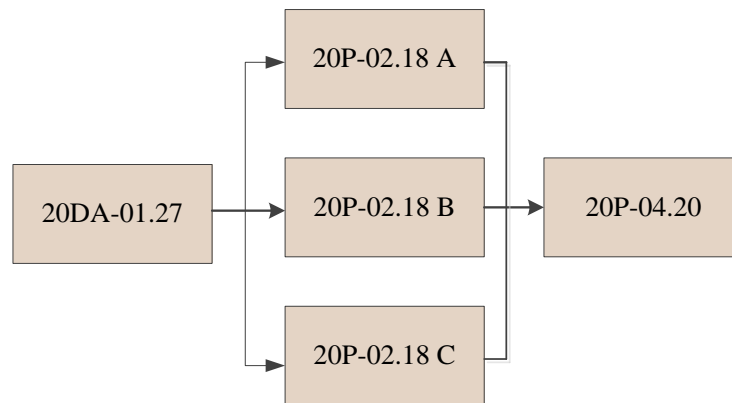
Gambar 4.3 *Reliability Block Diagram* Level 1 (Subsistem)

Model *reliability block diagram* level 2 yaitu mesin, merupakan *breakdown* dari masing-masing subsistem, sehingga akan terdapat 5 *reliability block diagram* yang akan merepresentasikan tiap-tiap subsistem.



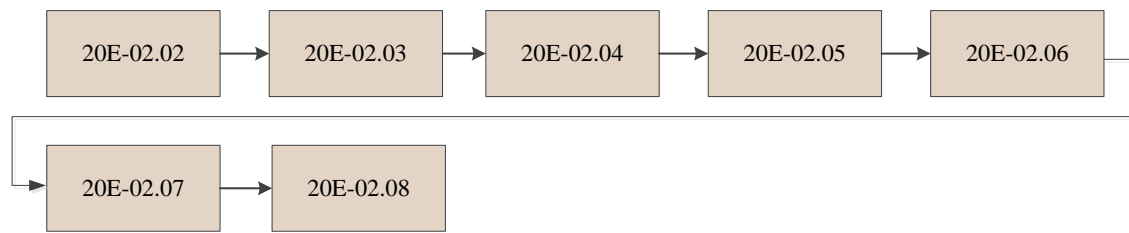
Gambar 4.4 *Reliability Block Diagram Level 2 (Coal Mill)*

Gambar 4.4 menunjukkan *reliability block diagram* dari subsistem *coal mill* yang terdiri atas 11 komponen. Komponen-komponen tersebut membentuk beberapa struktur *reliability block diagram* seperti serial, paralel, dan *k out of n*.



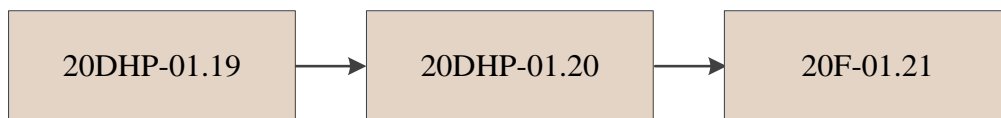
Gambar 4.5 *Reliability Block Diagram Level 2 (Deaerator)*

Gambar 4.5 menunjukkan *reliability block diagram* dari subsistem *deaerator* yang terdiri atas 5 komponen. Komponen-komponen tersebut membentuk struktur *reliability block diagram* serial dan paralel.



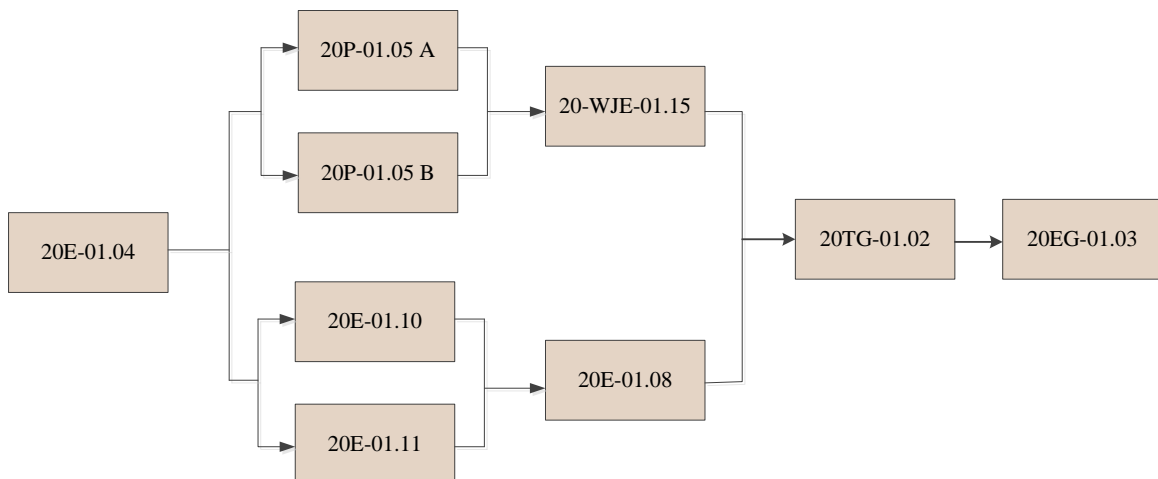
Gambar 4.6 *Reliability Block Diagram Level 2 (Boiler)*

Gambar 4.6 menunjukkan *reliability block diagram* dari subsistem boiler yang terdiri atas 7 komponen. Struktur pada *reliability block diagram* yang dibentuk oleh beberapa komponen tersebut merupakan struktur serial.



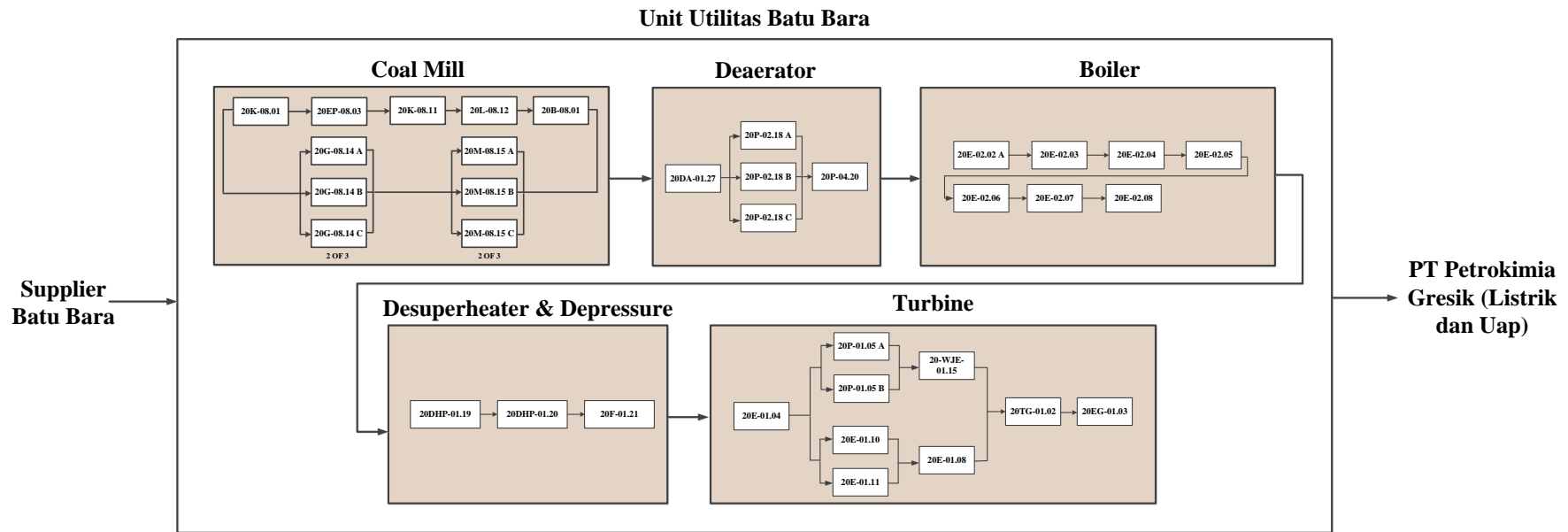
Gambar 4.7 *Reliability Block Diagram Level 2 (DHDP)*

Gambar 4.7 menunjukkan *reliability block diagram* dari subsistem DHDP (*desuperheater* dan *depressure*) yang terdiri atas 3 komponen. Komponen-komponen tersebut membentuk struktur *reliability block diagram* serial.



Gambar 4.8 *Reliability Block Diagram Level 2 (Turbine)*

Gambar 4.8 menunjukkan *reliability block diagram* dari subsistem *turbine* yang tersusun atas 9 komponen. Struktur yang dibentuk oleh beberapa komponen tersebut ialah struktur serial dan paralel.



Gambar 4.9 Reliability Block Diagram Unit Utilitas Batu Bara

Gambar 4.9 menunjukkan *reliability block diagram* dari sistem UBB secara keseluruhan. Struktur yang dibentuk oleh beberapa subsistem tersebut ialah struktur serial. Untuk rincian lebih jelas terkait penamaan untuk seluruh mesin yang ada pada masing-masing subsistem dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.3 Fitting Data Time to Failure

Fitting data time to failure diawali dengan melakukan rekap data kerusakan untuk masing-masing mesin yang ada di dalam subsistem. Data didapatkan dari data historis kerusakan yang didapatkan dari perusahaan. Jika suatu komponen diketahui tidak memiliki data historis kerusakan, maka data yang digunakan adalah data sekunder dari OREDA *handbook*. Hasil rekap nantinya akan menunjukkan *time to failure* dari masing-masing mesin dan akan digunakan sebagai *input data* untuk saat melakukan *fitting distribusi*. Tabel 4.1 menunjukkan contoh rekap *time to failure* dari UBB PT Petrokimia Gresik.

Tabel 4.1 Contoh Rekap Data *Time to Failure* Mesin di UBB PT Petrokimia Gresik

	20DA-01.27	20F-01.21	20E-02.02	20E-02.03	20E-01.08	20K-08.01	20EP-08.03
No	Deaerator	IDF	Water Pump	Economizer	GS Heat Exchanger	FD Fan	ESP
1	888	3336	2616	10248	3240	5040	6120
2	4728	1416	2736	2184	1440	768	1416
3	2496	3192	2568	5256	1728	264	2160
4	2448	3408		1222	4128	1800	1344
5	5616			4546		3001	4440
6	792					975	3504
7	333					494	
8						1222	

Setelah melakukan rekap data, akan dilanjutkan dengan melakukan *fitting distribution* untuk masing-masing mesin. *Fitting distribusi* digunakan untuk melakukan pengolahan data menggunakan *phase-type distribution* pada subbab selanjutnya. *Fitting distribution* dilakukan dengan menggunakan *software Weibull++6*, *fitting* dilakukan untuk menentukan distribusi yang dimiliki oleh data kerusakan suatu mesin serta digunakan untuk menentukan nilai CVTTF (*coefficient of variation of the time to failure*). Tabel 4.2 menunjukkan salah satu contoh *fitting data* yang dilakukan pada subsistem *turbine*.

Tabel 4.2 *Fitting Data* pada Subsistem *Turbine*

LEVEL 1 – TURBINE			Parameter		
Kode Mesin	Sumber Data	Distribusi	Eta	Beta	Failure Rate
20TG-01.02	Data Historis	Weibull 2	3709.41	1.1526	
20EG-01.03	Data Historis	Weibull 2	3003.64	1.0059	

LEVEL 1 – TURBINE			Parameter		
Kode Mesin	Sumber Data	Distribusi	Eta	Beta	Failure Rate
20E-01.04	OREDA <i>handbook</i>	Ekspensial			0.0000108
20P-01.05 A	Data Historis	Weibull 2	7084.22	1.2434	
20P-01.05 B	OREDA <i>handbook</i>	Ekspensial			0.000016
20E-01.08	OREDA <i>handbook</i>	Ekspensial			0.0000328
20E-01.10	Data Historis	Weibull 2	4855.88	1.1190	
20E-01.11	OREDA <i>handbook</i>	Ekspensial			0.000070
20-WJE-01.15	OREDA <i>handbook</i>	Ekspensial			0.00000219

Hasil *fitting data* untuk subsistem *coal mill*, *deaerator*, *boiler*, dan DHDP dapat dilihat pada Lampiran 2.

4.4 Perhitungan *Reliability* Sistem dengan *Phase-type Distribution*

Perhitungan *reliability* sistem dengan *phase-type distribution* terbagi atas 4 tahap yaitu melakukan *fitting phase-type distribution* untuk masing-masing mesin, lalu melakukan perhitungan *reliability* mesin, lalu melakukan perhitungan *reliability subsistem*, dan yang terakhir melakukan perhitungan *reliability* pada sistem. Di akhir subbab nantinya akan terdapat rekapitulasi nilai *reliability* yang sekaligus menunjukkan hierarki pada *breakdown* level sistem.

4.4.1 *Fitting Phase-type Distribution*

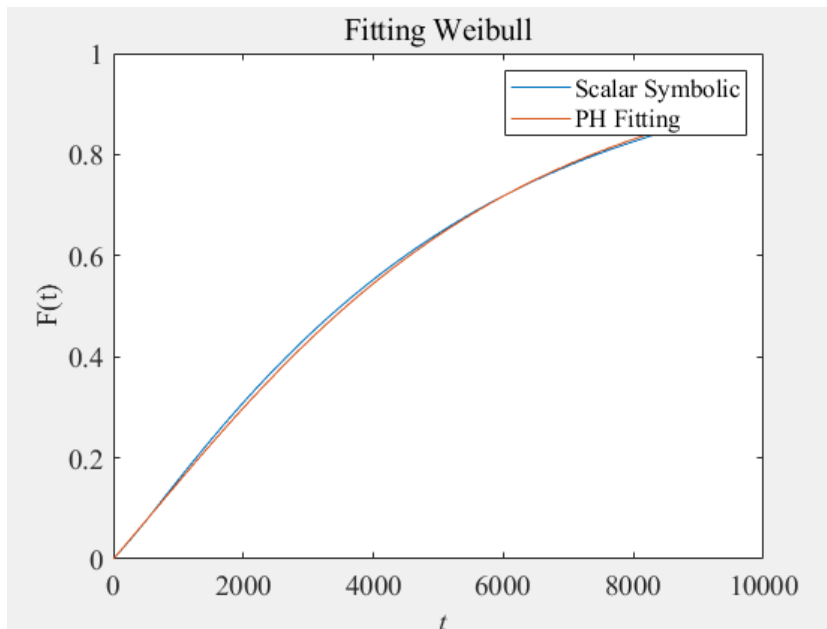
Fitting phase-type distribution dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* MATLAB. Data historis kerusakan yang sebelumnya sudah dikelompokkan dan *fitting* jenis distribusinya akan diubah menjadi *phase-type distribution*. Hasil *running* MATLAB nantinya akan memberikan nilai ($n, \mathbf{a}, \mathbf{A}$) serta CVTTF dari masing-masing mesin. Tabel 4.3 di bawah ini merupakan contoh hasil *fitting phase-type distribution* pada subsistem *turbine*.

Tabel 4.3 Contoh Hasil *Fitting Phase-type Distribution* pada Subsistem *Turbine*

Kode Mesin	Representasi PH			CVTTF	Kategori	
20TG-01.02	n	[3]			0.8838	IFR
	\mathbf{a}	[0.5738 0.4262 0]				
	\mathbf{A}	$\begin{bmatrix} -0.2844 & 0 & 0 \\ 0 & -0.5549 & -0.5549 \\ 0 & 0 & -0.5549 \end{bmatrix}$				

Kode Mesin	Representasi PH		CVTTF	Kategori
20EG-01.03	n	[3]	0.987	IFR
	a	[0.9044 0.0956 0]		
	A	$\begin{bmatrix} -0.3374 & 0 & 0 \\ 0 & -0.8347 & -0.8347 \\ 0 & 0 & -0.8347 \end{bmatrix}$		
20E-01.04	n	[1]	1	CFR
	a	[1]		
	A	[-0.0000108]		
20P-01.05 A	n	[4]	0.8119	IFR
	a	[0.1889 0.1891 0.622 0]		
	A	$\begin{bmatrix} -0.1716 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.1716 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.2804 & -0.2804 \\ 0 & 0 & 0 & -0.2804 \end{bmatrix}$		
20P-01.05 B	n	[1]	1	CFR
	a	[1]		
	A	[-0.000016]		
20E-01.08	n	[1]	1	CFR
	a	[1]		
	A	[-0.0000328]		
20E-01.10	n	[1]	0.8759	IFR
	a	[0.5918 0.4082 0]		
	A	$\begin{bmatrix} -0.2289 & 0 & 0 \\ 0 & -0.3887 & -0.3887 \\ 0 & 0 & -0.3887 \end{bmatrix}$		
20E-01.11	n	[1]	1	CFR
	a	[1]		
	A	[-0.00007]		
20-WJE-01.15	n	[1]	1	CFR
	a	[1]		
	A	[-0.00000219]		

Untuk memastikan bahwa fungsi *reliability* yang dihasilkan sudah mendekati distribusi aslinya, hal tersebut dibuktikan menggunakan grafik seperti pada Gambar 4.10. Gambar 4.10 menunjukkan perbandingan antara hasil skalar dengan *fitting phase-type*.



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Hasil Skalar dengan *Fitting Phase-type Distribution* pada Mesin 20E-01.10

Dapat dilihat bahwa pada Gambar 4.10, *fitting phase-type distribution* yang dilakukan sudah mendekati distribusi aslinya. Apabila hasil *fitting* tidak mendekati fungsi aslinya, orde n akan diubah sampai *fitting phase-type distribution* mampu mendekati distribusi aslinya. Hasil *fitting data* untuk subsistem *coal mill, deaerator, boiler*, dan DHDP dapat dilihat pada Lampiran 3.

4.4.2 Perhitungan Reliability Mesin

Perhitungan *reliability* dari masing-masing mesin dilakukan di dalam *software* MATLAB. Fungsi *reliability* yang telah didapatkan sebelumnya akan menjadi *input* dalam pengolahan data kali ini. Perhitungan *reliability* dilakukan dengan menggunakan dua cara, perhitungan menggunakan skalar dan juga perhitungan menggunakan matriks. Perhitungan dilakukan ketika $t = 8760$. Tabel 4.3 menunjukkan contoh hasil perhitungan pada subsistem *turbine* yang telah dilakukan di dalam *software* MATLAB.

Tabel 4.4 Contoh Perhitungan *Reliability* pada Subsistem *Turbine*

Kode Mesin	<i>Hazard Rate</i>		<i>Reliability</i>		MTTF	
	Skalar	Matriks	Skalar	Matriks	Skalar	Matriks
20TG-01.02	2.11×10^{-5}	2.11×10^{-5}	0.8312	0.8312	4739	4739
20EG-01.03	2.89×10^{-5}	2.89×10^{-5}	0.7763	0.7763	3460	3460
20E-01.04	1.08×10^{-5}	1.08×10^{-5}	0.9097	0.9097	9259	9259
20P-01.05 A	9.3×10^{-4}	9.3×10^{-4}	0.2719	0.2719	660	664
20P-01.05 B	1.6×10^{-5}	1.6×10^{-5}	0.8727	0.8727	6433	6433
20E-01.08	3.28×10^{-5}	3.28×10^{-5}	0.7503	0.7503	3048	3048
20E-01.10	8.9×10^{-4}	8.9×10^{-4}	0.1444	0.1444	466	468
20E-01.11	7×10^{-5}	7×10^{-5}	0.5396	0.5396	1420	1420
20-WJE-01.15	2.19×10^{-6}	2.19×10^{-6}	0.9810	0.9810	20662	20662

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan skalar dan matriks memiliki nilai yang sama, adapun sedikit perbedaan dikarenakan memang pada dasarnya dalam pengerjaan perhitungan ini, *fitting phase-type* hanya mendekati atau melakukan pendekatan kepada distribusi yang sesungguhnya. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh dari pengolahan data bisa saja tidak sepenuhnya sama, namun perbedaan yang ada tidak memiliki nilai yang signifikan (hanya 0.99% ~ 1%), bahkan nyaris hampir memiliki nilai yang sama dengan distribusi sesungguhnya, sehingga pendekatan yang telah dilakukan dinilai sudah sesuai dengan distribusi yang sesungguhnya. Untuk hasil perhitungan terkait *reliability* pada subsistem yang lain seperti *coal mill*, *deaerator*, *boiler*, dan DHDP dapat dilihat pada Lampiran 4.

4.4.3 Perhitungan *Reliability* Subsistem

Perhitungan nilai *reliability* pada subsistem juga dilakukan di dalam *software* MATLAB. Data yang diolah merupakan data *fitting phase-type distribution*. Nantinya semua fungsi *reliability* yang telah di dapatkan (n , \mathbf{a} , \mathbf{A}) dari masing-masing mesin akan disusun dan dijalankan di dalam *software* MATLAB. Tabel 4.5 di bawah ini merupakan hasil perhitungan yang telah dilakukan.

Tabel 4.5 Perhitungan *Reliability* pada Subsistem

Subsistem	<i>Hazard Rate</i>		<i>Reliability</i>		MTTF	
	Skalar	Matriks	Skalar	Matriks	Skalar	Matriks
Coal Mill	5.78×10^{-5}	5.78×10^{-5}	0.7935	0.7935	1730	1717
Deaerator	6.26×10^{-5}	6.26×10^{-5}	0.6123	0.6123	1596	1563
Boiler	1.96×10^{-4}	1.96×10^{-4}	0.1798	0.1798	510	510
DHDP	6.29×10^{-5}	6.29×10^{-5}	0.5764	0.5764	1294	3040
Turbine	7.73×10^{-5}	7.73×10^{-5}	0.5368	0.5368	1590	1332

4.4.4 Perhitungan *Reliability* Sistem

Perhitungan *reliability* pada sistem dilakukan dengan cara yang sama seperti perhitungan-perhitungan *reliability* pada subbab sebelumnya. Terdapat dua cara untuk mendapatkan nilai *reliability matrix*. User dapat memasukkan data fungsi *reliability* tiap komponen atau bisa juga memasukkan data fungsi *reliability* dari tiap-tiap subsistem. Tabel 4.6 menunjukkan hasil perhitungan *reliability* sistem dan *hazard rate* pada $t = 0$ sampai dengan $t = 8760$ yang dilakukan di dalam *software* MATLAB menggunakan *phase-type distribution*.

Tabel 4.6 *Reliability* Sistem dan *Hazard* Sistem pada $t = 0$ hingga $t = 8760$

t	<i>Reliability</i> Sistem	<i>Hazard Rate</i>
0	1	3.67×10^{-4}
438	0.8509743	3.70×10^{-4}
876	0.7230546	3.74×10^{-4}
1314	0.613275	3.78×10^{-4}
1752	0.5191512	3.83×10^{-4}
2190	0.4385472	3.88×10^{-4}
2628	0.3696609	3.93×10^{-4}
3066	0.3108997	3.98×10^{-4}
3504	0.2608784	4.03×10^{-4}
3942	0.2184245	4.08×10^{-4}
4380	0.1824719	4.13×10^{-4}
4818	0.1520918	4.18×10^{-4}
5256	0.126511	4.23×10^{-4}
5694	0.105006	4.28×10^{-4}
6132	0.0869786	4.32×10^{-4}
6570	0.071907	4.37×10^{-4}
7008	0.0593329	4.41×10^{-4}
7446	0.0488666	4.45×10^{-4}

<i>t</i>	<i>Reliability Sistem</i>	<i>Hazard Rate</i>
7884	0.0401763	4.49×10^{-4}
8322	0.0329749	4.53×10^{-4}
8760	0.0270212	4.56×10^{-4}

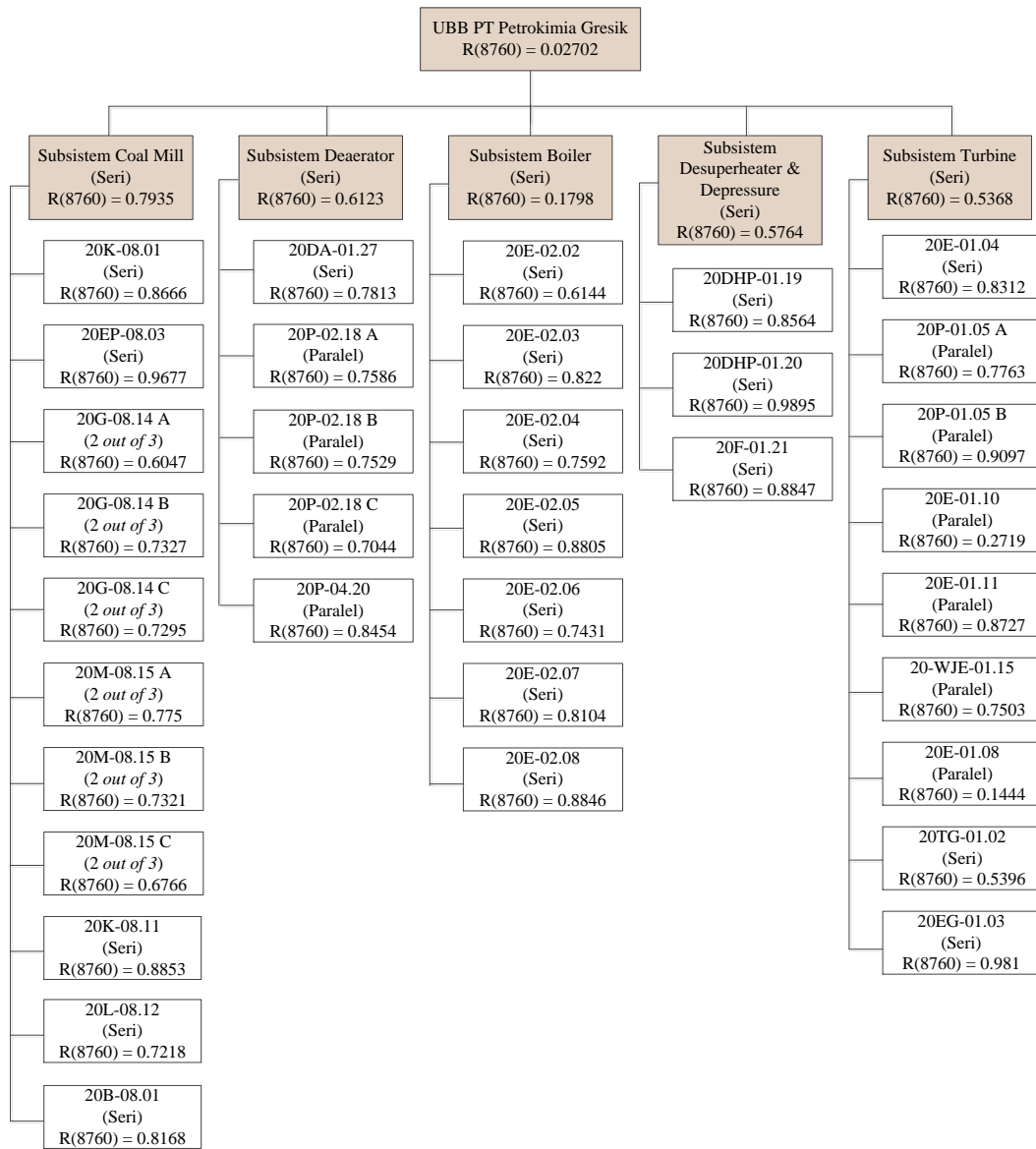
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan *Reliability* Sistem pada UBB PT Petrokimia Gresik

	<i>Hazard Rate</i>		<i>Reliability</i>		MTTF	
	Skalar	Matriks	Skalar	Matriks	Skalar	Matriks
Sistem	4.56×10^{-4}	4.56×10^{-4}	0.02702	0.02702	1219.6	1219.6

Dari Tabel 4.7 di atas dapat disimpulkan bahwa *reliability* fungsi dari sistem pada UBB PT Petrokimia Gresik adalah $R(8760) = 0.02702$ dengan *mean time to failure* sebesar 1219.6 jam dan *hazard rate* sebesar 4.56×10^{-4} .

4.4.5 Rekapitulasi Perhitungan *Reliability* serta Hierarki *Breakdown* Sistem

Pada bab sebelumnya telah dijelaskan bahwa sistem UBB PT Petrokimia Gresik terbagi atas 3 level, level 0 merupakan level sistem, level 1 merupakan level subsistem, dan level 2 merupakan level mesin. Setelah dilakukan perhitungan *reliability* pada keseluruhan level pada $t = 8760$, didapatkan fungsi *reliability* untuk masing-masing mesin, subsistem, dan level seperti pada Gambar 4.11 di bawah ini.



Gambar 4.11 Rekapitulasi *Fungsi Reliability* serta Hierarki *Breakdown Level* Sistem

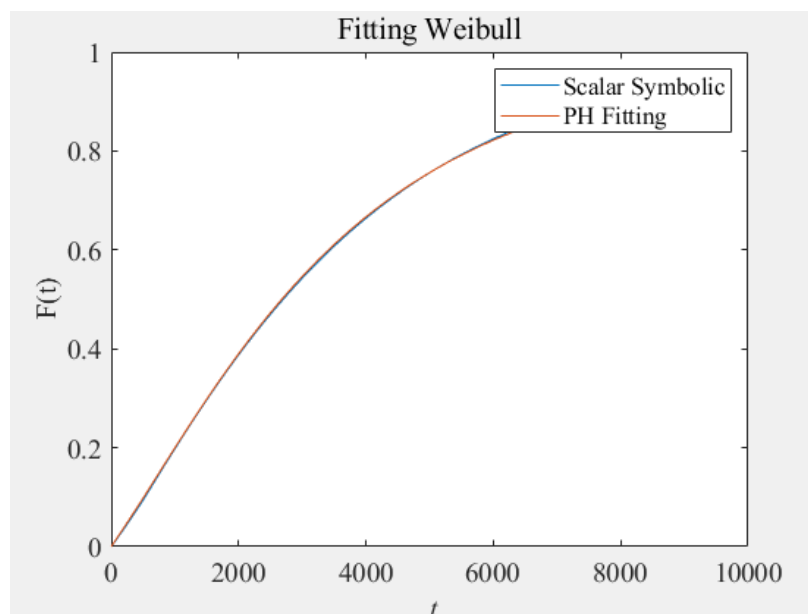
BAB 5

ANALISIS RELIABILITY SISTEM

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dari pengolahan data yang terdiri atas tiga tahap, diantaranya adalah analisis *reliability* pada kondisi eksisting, analisis sensitivitas, dan analisis *reliability* pada kondisi perbaikan.

5.1 Analisis *Phase-type Distribution*

Phase-type distribution merupakan salah satu metode yang memiliki keunggulan mampu mendekati fungsi apapun kecuali fungsi dengan nilai negatif (fleksibel saat digunakan). Contoh hasil pendekatan dapat dilihat pada Gambar 5.1, dapat dilihat bahwa *phase-type distribution* dapat mendekati distribusi apapun dengan baik (distribusi dalam gambar merupakan distribusi Weibull 2).



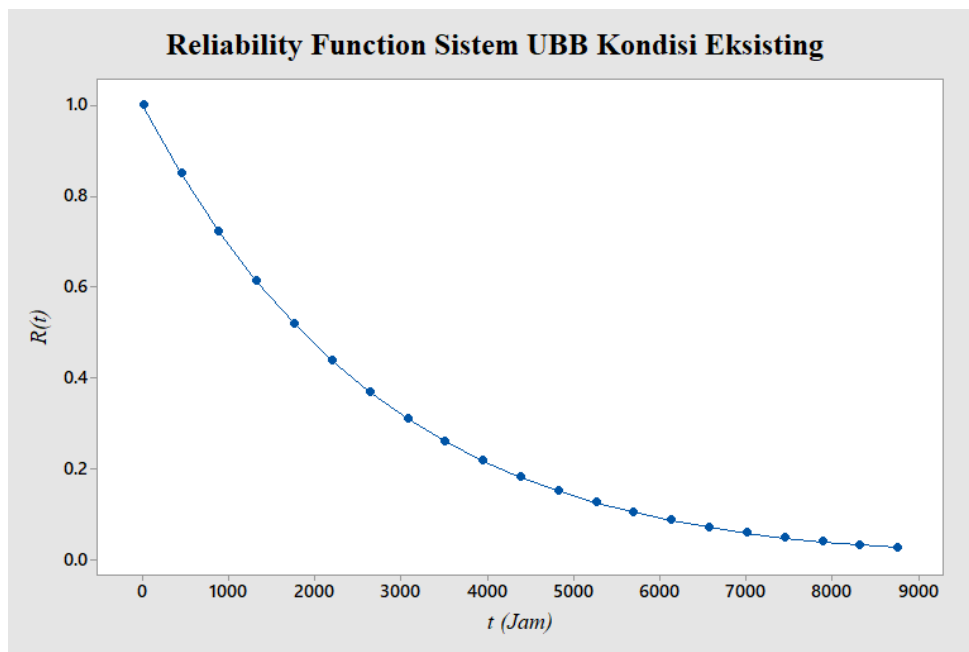
Gambar 5.1 Grafik Perbandingan Hasil Skalar dengan *Fitting Phase-type Distribution* pada Mesin 20TG-01.02

Distribusi yang telah didekati oleh pendekatan *phase-type distribution* akan menghasilkan parameter baru yaitu n , \mathbf{a} , dan \mathbf{A} . Parameter tersebut akan digunakan untuk melakukan perhitungan *reliability* menggunakan bantuan *software* MATLAB dan nantinya akan menghasilkan *reliability plot*, *hazard rate plot*, nilai MTTF dan CVTTF. Parameter-parameter yang dihasilkan dari

perhitungan *phase-type distribution* dapat digunakan untuk memudahkan proses perhitungan lain yang membutuhkan parameter-parameter tersebut.

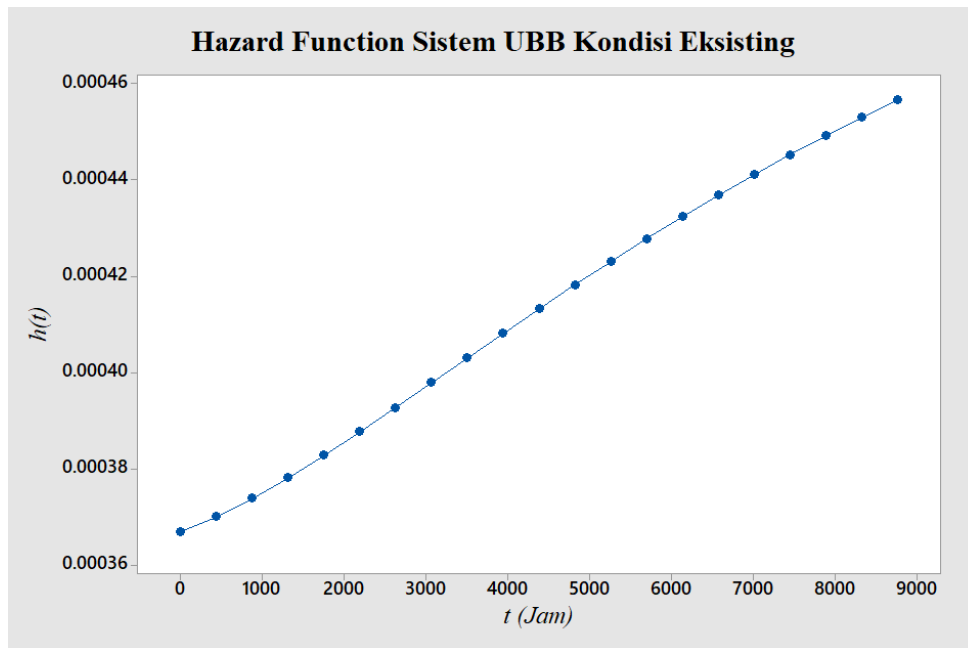
5.2 Analisis *Reliability* pada Kondisi Eksisting

Analisis *reliability* pada kondisi eksisting dilakukan untuk melihat performansi dari sistem UBB PT Petrokimia Gresik. Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa fungsi *reliability* dari sistem eksisting adalah $R(8760) = 0.02702$. Hal ini menunjukkan probabilitas sistem beroperasi sesuai dengan fungsinya ialah sebesar 3%, dan selebihnya sistem akan berada pada kondisi *failure* atau mengalami kegagalan saat beroperasi. Gambaran terkait *reliability function* dari sistem UBB dapat dilihat pada Gambar 5.2 di bawah ini.



Gambar 5.2 Grafik *Reliability Function* pada Sistem Eksisting

Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan juga nilai MTTF (*mean time to failure*) atau rata-rata waktu antar kerusakan dari sistem kondisi eksisting. Dari hasil perhitungan, nilai MTTF dari kondisi eksisting ialah sebesar 1219.6 jam atau sekitar 50.8 hari yang berarti sistem UBB akan mengalami kerusakan rata-rata setiap 1219.6 jam sekali.



Gambar 5.3 Grafik *Hazard Function* pada Sistem Eksisting

Selain *reliability function* dan MTTF akan didapatkan pula *hazard rate function* pada sistem eksisting yang dapat dilihat pada Gambar 5.3. Didapatkan nilai *hazard rate* kondisi sistem eksisting sebesar 4.56×10^{-4} pada $t = 8760$. *Hazard rate* akan terus meningkat seiring berjalannya waktu. Peningkatan *hazard rate* dapat disebabkan oleh berbagai macam hal diantaranya adalah adanya penuaan pada mesin atau *aging*, adanya korosi akibat kesalahan dalam melakukan perawatan, ataupun hal-hal lain seperti adanya getaran dan gesekan yang berlebihan yang menyebabkan terjadinya *failure* atau kegagalan. Ketiga indikator tersebut yaitu *reliability function*, MTTF, dan *hazard rate* dapat memberikan kemudahan bagi perusahaan untuk melakukan pengukuran dan perencanaan terkait *maintenance* dan juga menjaga performansi dari sistem itu sendiri.

Terkait performansi dari sistem, hal tersebut dapat dilihat melalui *stream days* dari sistem itu sendiri. Dalam perhitungan *stream days* diperlukan perhitungan *availability*, namun penelitian ini tidak memiliki data MTTR (*mean time to repair*) oleh sebab itu MTTR dalam perhitungan *stream days* akan diasumsikan deterministik yang mana UBB akan melakukan kerja sama dengan vendor untuk proses *maintenance*. Setiap prosesnya akan memiliki jangka waktu selama satu minggu atau selama 168 jam dalam sekali sistem mengalami

breakdown (baik untuk *repair* maupun *replace*). Berikut ini merupakan perhitungan *stream days* dari sistem kondisi eksisting.

$$Availability = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$$Availability = \frac{1291.6}{1291.6 + 168} = \frac{1291.6}{1459.6} = 0.885$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai *availability* sebesar 0.885, nilai tersebut akan dimasukkan ke dalam persamaan dibawah ini untuk menemukan jumlah *stream days* dari sistem.

$$Stream\ days = availability * 365$$

$$Stream\ days = 0.885 * 365 = \mathbf{323\ hari}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan kondisi eksisting sistem memiliki waktu *stream days* selama 323 hari.

5.3 Penentuan Mesin Kritis

Penentuan mesin kritis dilakukan untuk menentukan mesin mana yang memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap *reliability* sistem. Penentuan ini dilakukan menggunakan metode *birnbaum's importance index*. Hasil penentuan mesin kritis ini nantinya akan digunakan sebagai *input* dalam pembuatan beberapa skenario untuk meningkatkan *reliability* sistem pada UBB PT Petrokimia Gresik. Karena perhitungan menggunakan $t = 8760$ tidak mampu mencerminkan *behaviour* sistem dengan baik, maka pada penentuan mesin kritis dan analisis sensitivitas akan digunakan $t = 876$. Penggunaan $t = 876$ dilakukan karena perusahaan menginginkan target $R(876) = 0.75$, target tersebut digunakan untuk melihat bagaimana performansi dari sistem. Oleh karena itu pada penentuan mesin kritis akan digunakan $t = 876$.

Penentuan mesin kritis diawali dengan menentukan subsistem kritis terlebih dahulu. Fungsi *birnbaum's importance index* yang digunakan ialah sebagai berikut.

$$I_B^i(t) = \frac{\partial G(q(t))}{\partial q_i(t)} = G(1_i, q(t)) - G(0_i, q(t))$$

atau

$$I_B^i(t) = P[\emptyset(0_i, X(t)) - \emptyset(1_i, X(t)) = 1]$$

Karena struktur subsistem pada UBB PT Petrokimia Gresik adalah serial, maka dalam penentuan subsistem kritis kali ini akan menggunakan fungsi sebagai berikut.

$$\emptyset(X) = X_1 X_2 X_3 X_4$$

dan

$$G(q) = 1 - (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4)$$

Diawali dengan menghitung q_n untuk masing-masing subsistem, kemudian akan dilanjutkan dengan menghitung $I_B^i(t)$.

$$q_1 = 1 - R_1(t) = 1 - 0.99947 = 0.00053$$

$$q_2 = 1 - 0.95845 = 0.04155$$

$$q_3 = 1 - 0.8423 = 0.1577$$

$$q_4 = 1 - 0.9464 = 0.0536$$

$$q_5 = 1 - 0.94687 = 0.05313$$

Perhitungan $I_B^i(t)$ dilakukan untuk menentukan subsistem mana yang memiliki pengaruh besar terhadap *reliability* dari suatu sistem.

$$I_B^1(876) = (1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4)(1 - q_5) = 0.723438$$

$$I_B^2(876) = (1 - q_1)(1 - q_3)(1 - q_4)(1 - q_5) = 0.7544$$

$$I_B^3(876) = (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_4)(1 - q_5) = \mathbf{0.858429}$$

$$I_B^4(876) = (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_5) = 0.764005$$

$$I_B^5(876) = (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4) = 0.763626$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan I_B^3 atau subsistem *boiler* merupakan subsistem yang paling kritis dengan nilai index sebesar 0.858429. Setelah mengetahui subsistem mana yang kritis, maka perhitungan akan dilanjutkan dengan menghitung mesin yang kritis pada subsistem yang kritis. Cara melakukan perhitungan sama, karena subsistem *boiler* juga memiliki struktur mesin yang paralel.

$$q_1 = 1 - R_1(t) = 1 - 0.952461 = 0.047539$$

$$q_2 = 1 - 0.980586 = 0.019414$$

$$q_3 = 1 - 0.972823 = 0.027177$$

$$q_4 = 1 - 0.987325 = 0.012648$$

$$q_5 = 1 - 0.97074 = 0.02926$$

$$q_6 = 1 - 0.979195 = 0.020805$$

$$q_7 = 1 - 0.987811 = 0.012189$$

Setelah mendapatkan hasil perhitungan q_n maka akan dilanjutkan untuk menghitung $I_B^i(t)$ untuk menemukan mesin yang kritis.

$$I_B^1(876) = (1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4)(1 - q_5)(1 - q_6)(1 - q_7) = \mathbf{0.884375}$$

$$I_B^2(870) = (1 - q_1)(1 - q_3)(1 - q_4)(1 - q_5)(1 - q_6)(1 - q_7) = 0.859013$$

$$I_B^3(876) = (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_4)(1 - q_5)(1 - q_6)(1 - q_7) = 0.865868$$

$$I_B^4(876) = (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_5)(1 - q_6)(1 - q_7) = 0.853126$$

$$I_B^5(876) = (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4)(1 - q_6)(1 - q_7) = 0.867726$$

$$I_B^6(876) = (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4)(1 - q_5)(1 - q_7) = 0.860233$$

$$I_B^7(876) = (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4)(1 - q_5)(1 - q_6) = 0.85723$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan bahwa I_B^1 atau *water pump* merupakan mesin yang paling kritis pada subsistem *boiler* dengan nilai sebesar 0.884375.

5.4 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas merupakan salah satu metode yang dilakukan untuk mengetahui akibat dari perubahan sebuah variabel terhadap sebuah sistem. Pada subbab ini akan dijelaskan pengaruh dari masing-masing perubahan variabel terhadap *reliability* sistem. Variabel yang diubah adalah struktur dari subsistem yang kritis. Perubahan yang dilakukan seperti melakukan penggantian mesin dan melakukan perubahan struktur *redundancy* (paralel, *k-out-of-N*, dan *cold standby redundancy*). Pada subbab 5.3 telah didapatkan mesin kritis yaitu *water pump* dari subsistem kritis yaitu subsistem *boiler* dengan fungsi *reliability* seperti pada Tabel 5.1 dan pada subbab ini akan dilakukan perhitungan matematis untuk melihat pengaruh perubahan yang dilakukan terhadap *reliability* sistem.

Tabel 5.1 Fungsi *Reliability* pada Mesin *Water Pump*, Subsistem *Boiler*, dan Sistem UBB.

	$R_{\text{Mesin}}(876)$	$R_{\text{Sistem}}(876)$	$R_{\text{Sistem}}(876)$
Kondisi Eksisting	0.952461	0.842336	0.72076

5.4.1 Pengaruh Penggantian Mesin terhadap Reliability Sistem

Penggantian mesin lama menggunakan mesin baru dengan nilai *reliability* yang lebih tinggi dapat memberikan pengaruh terhadap peningkatan *reliability* sistem. Tabel 5.2 merupakan contoh penggantian mesin *water pump* dengan beberapa mesin baru. Berdasarkan Tabel 5.2, dapat dilihat bahwa nilai *reliability* sistem mengalami peningkatan ketika *reliability* mesin meningkat.

Tabel 5.2 Hasil Analisis Sensitivitas Pengaruh Penggantian Mesin

$R_{\text{Mesin Baru}}(876)$	$R_{\text{Sistem}}(876)$	$R_{\text{Sistem}}(876)$
0.9624	0.8532	0.7292
0.9675	0.8596	0.7301
0.9723	0.8617	0.7364
0.9801	0.8881	0.7565
0.9922	0.9025	0.7613

5.4.2 Pengaruh Parallel Redudancy terhadap Reliability Sistem

Penambahan peralatan dengan menerapkan *parallel redudancy* dapat memberikan pengaruh terhadap peningkatan *reliability* sistem. Tabel 5.3 merupakan contoh penambahan beberapa mesin dengan menggunakan struktur *parallel redudancy* pada mesin yang kritis pada subsistem yang kritis. Berdasarkan Tabel 5.3, dapat dilihat bahwa nilai *reliability* sistem mengalami peningkatan ketika dilakukan penambahan mesin.

Tabel 5.3 Hasil Analisis Sensitivitas Pengaruh *Parallel Redudancy*

Jumlah Penambahan Mesin	$R_{\text{Subsistem}}(876)$	$R_{\text{Sistem}}(876)$
1	0.8633	0.7580
2	0.8769	0.7693
3	0.8891	0.7767

5.4.3 Pengaruh *k-out-of-N Redudancy* terhadap Reliability Sistem

Penambahan peralatan dengan menerapkan *k-out-of-N redudancy* juga dapat memberikan pengaruh terhadap peningkatan *reliability* sistem. Tabel 5.4 menunjukkan contoh penambahan beberapa mesin dengan menggunakan struktur *parallel redudancy* pada mesin yang kritis pada subsistem yang kritis. Berdasarkan Tabel 5.4, dapat dilihat bahwa nilai *reliability* sistem mengalami peningkatan untuk masing-masing struktur mesin yang dihitung.

Tabel 5.4 Hasil Analisis Sensitivitas Pengaruh *k-out-of-N Redundancy*

Struktur Mesin	$R_{\text{Subsistem}}(876)$	$R_{\text{Sistem}}(876)$
2 out of 3	0.8619	0.7512
3 out of 4	0.8709	0.7731

5.4.4 Pengaruh Cold Standby Redundancy terhadap Reliability Sistem

Penambahan peralatan dengan menerapkan *cold standby redundancy* juga merupakan salah satu cara untuk meningkatkan *reliability* sistem. Tabel 5.5 merupakan contoh penambahan beberapa mesin dengan menggunakan struktur *cold standby redundancy* pada mesin yang kritis pada subsistem yang kritis. Berdasarkan Tabel 5.5, terlihat bahwa nilai *reliability* sistem mengalami peningkatan setiap melakukan penambahan jumlah mesin.

Tabel 5.5 Hasil Analisis Sensitivitas Pengaruh *Cold Standby Redundancy*

Jumlah Penambahan Mesin	$R_{\text{Subsistem}}(876)$	$R_{\text{Sistem}}(876)$
1	0.8733	0.7784
2	0.8921	0.7934
3	0.9056	0.8011

5.5 Rancangan dan Analisis Skenario Perbaikan

Rancangan dan analisis skenario perbaikan merupakan analisis *reliability* sistem yang dilakukan untuk menentukan skenario perbaikan terbaik dari beberapa skenario yang dirancang. Perancangan skenario perbaikan dilakukan pada mesin kritis pada subsistem kritis yang telah dihitung pada subbab 5.3. Hal ini dikarenakan mesin kritis pada subsistem yang kritis memiliki pengaruh yang besar terhadap *reliability* sistem secara keseluruhan. Pada subbab 5.4 telah dijelaskan pengaruh perubahan struktur *redundancy* dan penggantian mesin terhadap *reliability* sistem, dari analisis tersebut akan dirancang beberapa skenario untuk meningkatkan *reliability* sistem.

Tabel 5.6 menunjukkan kondisi eksisting dari *reliability* mesin pada $t = 876$ pada subsistem *boiler*. Dapat dilihat bahwa mesin *water pump* memiliki nilai *reliability* paling rendah jika dibandingkan dengan mesin-mesin yang lain.

Tabel 5.6 Reliability Mesin pada Subsistem Boiler

Kode Mesin	Mesin	R
20E-02.02	Water Pump	0.952461
20E-02.03	Economizer	0.980586
20E-02.04	Low Temperature Superheater	0.972823
20E-02.05	1st Desuperheater	0.987352
20E-02.06	1st High Temperature Superheater	0.97074
20E-02.07	2nd Desuperheater	0.979195
20E-02.08	2nd High Temperature Superheater	0.987811

Untuk mendapatkan skenario perbaikan, peneliti telah melakukan diskusi dengan *engineer* dari UBB PT Petrokimia Gresik, sehingga telah mempertimbangkan faktor *finansial* yang diperlukan jikalau skenario memang benar-benar akan diimplementasikan, sehingga skenario yang diusulkan merupakan skenario yang *feasible* menurut intuisi *engineer* UBB PT Petrokimia Gresik (skenario 1, 2, dan 3). Selain itu juga terdapat beberapa skenario yang dibangun dengan tujuan sebagai uji coba secara matematis sehingga tidak mempertimbangkan faktor finansial (skenario 4, 5, dan 6). Skenario yang terpilih nantinya adalah skenario yang memiliki nilai peningkatan *reliability* paling tinggi di mana skenario juga harus memenuhi target perusahaan yaitu memiliki *reliability* sistem sebesar $R(876) = 0.75$, selain itu skenario juga merupakan skenario yang *feasible*. Di bawah ini merupakan hasil perhitungan dari beberapa skenario yang telah dirancang.

Skenario 1. Penggantian Mesin

Pada skenario satu, mesin dengan kondisi kritis dari subsistem *boiler* yaitu *water pump* akan diganti dengan mesin baru dengan kualitas yang lebih baik. Mesin pengganti diasumsikan memiliki kondisi *as good as new* dengan *failure rate* sebesar 3×10^{-5} (OREDA, 2002).

Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Skenario 1

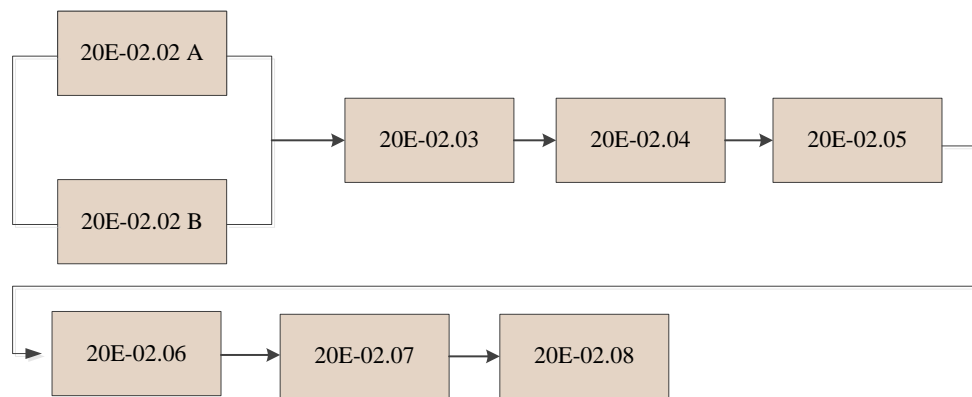
	<i>Hazard Rate</i>	<i>Reliability</i>	MTTF
Skenario 1	3.59×10^{-4}	0.736401	1322.4

Tabel 5.7 menunjukkan hasil perhitungan *reliability* sistem ketika skenario 1 sudah diaplikasikan. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan bahwa

$R(876) = 0.736401$ dengan laju kerusakan sebesar 3.59×10^{-4} dan *mean time to failure* selama 1322.4 jam atau sama dengan 55 hari.

Skenario 2. Penambahan 1 Mesin

Pada skenario dua, mesin kritis (*water pump*) akan diparalel dengan mesin *water pump* baru dengan asumsi *as good as new* seperti pada Gambar 5.4 di blok pertama yaitu pada mesin *water pump* A (20E-02.02 A) dan mesin *water pump* B (20E-02.02 B).



Gambar 5.4 Reliability Block Diagram untuk Skenario 2 dan 3

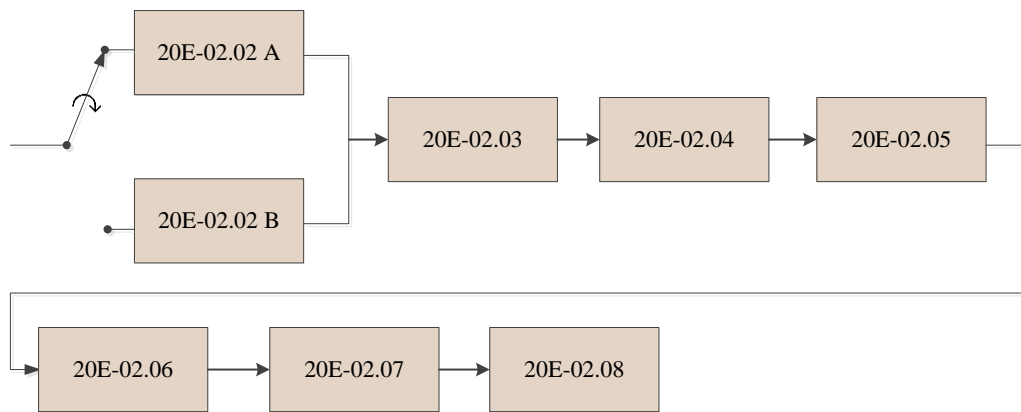
Tabel 5.8 Hasil Perhitungan Skenario 2

	<i>Hazard Rate</i>	<i>Reliability</i>	<i>MTTF</i>
Skenario 1	3.15×10^{-4}	0.758093	1526.7

Tabel 5.8 menunjukkan hasil perhitungan *reliability* sistem ketika skenario 2 telah diaplikasikan. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan bahwa $R(876) = 0.758093$ dengan laju kerusakan sebesar 3.15×10^{-4} dan *mean time to failure* selama 1526.7 jam atau sama dengan 63.61 ~ 64 hari.

Skenario 3. Menambahkan Mesin Baru dengan Struktur *Cold Standby Redudancy*

Pada skenario 3, akan ditambahkan mesin baru pada mesin kritis (*water pump*) dengan struktur *cold standby redudancy*. Struktur *cold standby redudancy* merupakan struktur di mana akan terdapat mesin *backup* atau cadangan ketika mesin yang digunakan mengalami *failure*. Struktur *cold standby redudancy* dapat dilihat pada Gambar 5.5 di bawah ini.



Gambar 5.5 Reliability Block Diagram untuk Skenario 4

Karena mesin *backup* tidak digunakan selama sistem utama masih berjalan, nilai *reliability* dari mesin *backup* adalah 0.99 dengan asumsi *switch devices*nya adalah *perfect*.

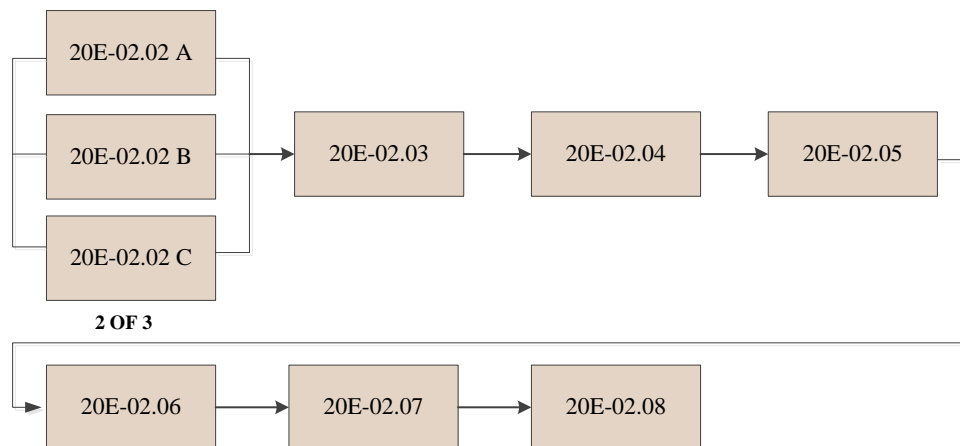
Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Skenario 3

	<i>Hazard Rate</i>	<i>Reliability</i>	<i>MTTF</i>
Skenario 1	2.8×10^{-4}	0.778493	1648.2

Tabel 5.9 menunjukkan hasil perhitungan *reliability* sistem ketika skenario 3 telah diaplikasikan. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan bahwa $R(876) = 0.778493$ dengan laju kerusakan sebesar 2.8×10^{-4} dan *mean time to failure* selama 1648.2 jam atau sama dengan 68.67 ~ 69 hari.

Skenario 4. Menambahkan Mesin Baru dengan Struktur 2 out of 3 (*k out of N*)

Skenario 4 merupakan skenario yang dibangun untuk memaksimalkan nilai *reliability* tanpa melihat *feasibility* dari skenario. Pada skenario ini, akan dilakukan penambahan dua buah mesin baru pada mesin kritis, sehingga struktur akan berbentuk paralel seperti pada Gambar 5.6. Namun struktur paralel pada skenario ini berupa *k out of N* (pada skenario ini 2 out of 3). Pada struktur ini, sistem akan memiliki mesin sejumlah 3, dan sistem akan tetap berjalan selama 2 dari 3 mesin masih menyala.



Gambar 5.6 Reliability Block Diagram untuk Skenario 4

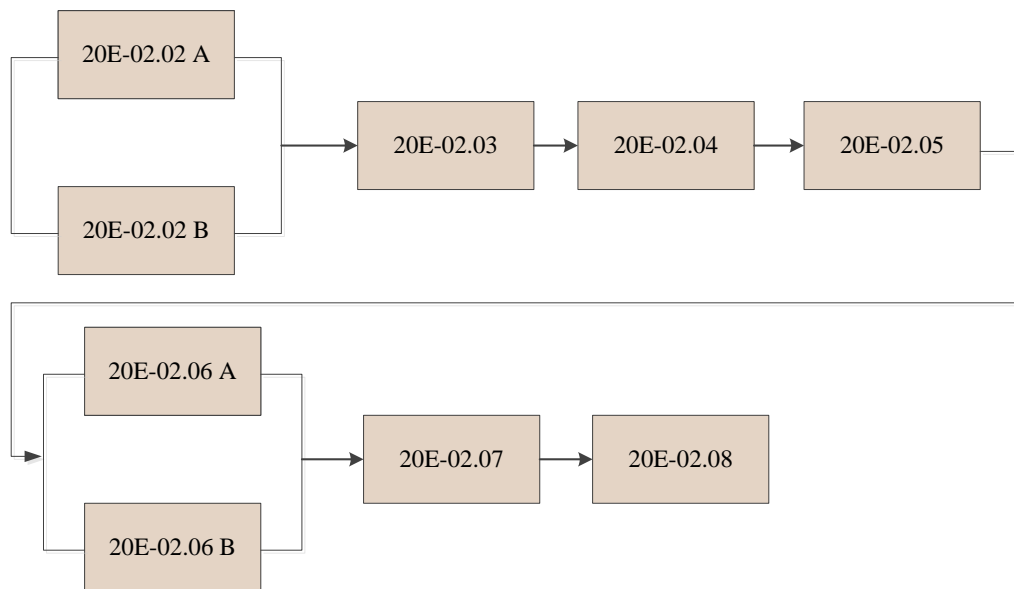
Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Skenario 4

	<i>Hazard Rate</i>	<i>Reliability</i>	<i>MTTF</i>
Skenario 1	3.41×10^{-4}	0.751277	1413.3

Tabel 5.10 menunjukkan hasil perhitungan *reliability* sistem ketika skenario 4 telah diaplikasikan. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan bahwa $R(876) = 0.751277$ dengan laju kerusakan sebesar 3.41×10^{-4} dan *mean time to failure* selama 1413.3 jam atau sama dengan 58.8 ~ 59 hari.

Skenario 5. Menambahkan Mesin pada Mesin Kritis Lainnya

Skenario 5 juga merupakan skenario yang dibangun untuk memaksimalkan nilai *reliability* tanpa melihat *feasibility* dari skenario. Pada skenario ini, akan dilakukan penambahan mesin baru pada mesin kritis lain pada subsistem *boiler*. Struktur dari subsistem dapat dilihat pada Gambar 5.7. Kedua mesin yang ditambahkan memiliki asumsi *as good as new*. Untuk mesin *water pump* nilai *failure rate* dan *reliability* untuk mesin baru masih sama dengan skenario 1 dan untuk mesin *super heater* memiliki nilai *failure rate* 2×10^{-5} (OREDA, 2002).



Gambar 5.7 Reliability Block Diagram untuk Skenario 5

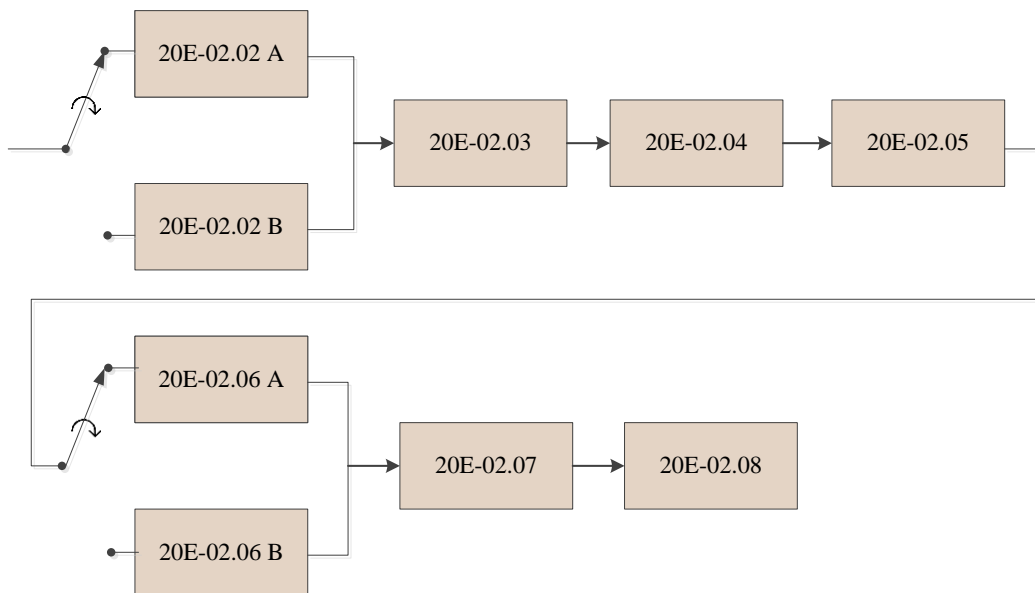
Tabel 5.11 Hasil Perhitungan Skenario 5

	<i>Hazard Rate</i>	<i>Reliability</i>	MTTF
Skenario 1	3.3×10^{-4}	0.761126	1446.1

Tabel 5.11 menunjukkan hasil perhitungan *reliability* sistem ketika skenario 5 telah diaplikasikan. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan bahwa $R(876) = 0.761126$ dengan laju kerusakan sebesar 3.3×10^{-4} dan *mean time to failure* selama 1446.1 jam atau sama dengan 60 hari.

Skenario 6. Menambahkan 2 Mesin Baru dengan Struktur *Cold Standby Redundancy*

Skenario 6 juga merupakan skenario yang dibangun untuk memaksimalkan nilai *reliability* tanpa melihat *feasibility* dari skenario. Pada skenario ini, akan dilakukan penambahan mesin baru pada mesin kritis lain yang pada subsistem *boiler* dengan melakukan perubahan struktur menjadi *cold standby redundancy*. Struktur dari subsistem dapat dilihat pada Gambar 5.8. Kedua mesin baru yang ditambahkan memiliki asumsi *as good as new* seperti pada skenario-skenario sebelumnya.



Gambar 5.8 Reliability Block Diagram untuk Skenario 6

Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Skenario 6

	<i>Hazard Rate</i>	<i>Reliability</i>	<i>MTTF</i>
Skenario 1	2.6×10^{-4}	0.792553	1822.2

Tabel 5.12 menunjukkan hasil perhitungan *reliability* sistem ketika skenario 6 telah diaplikasikan. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan bahwa $R(876) = 0.792553$ dengan laju kerusakan sebesar 2.6×10^{-4} dan *mean time to failure* selama 1822.2 jam atau sama dengan 75.9 ~ 76 hari.

Tabel 5.13 Rekap Nilai *Reliability* Sistem untuk masing-masing Skenario

	<i>Hazard Rate</i>	<i>R</i>	<i>MTTF</i>	<i>Feasibility</i>
Eksisting	3.7×10^{-4}	0.723055	1219.6	<i>Feasible</i>
Skenario 1	3.59×10^{-4}	0.736401	1322.4	
Skenario 2	3.15×10^{-4}	0.758093	1526.7	
Skenario 3	2.8×10^{-4}	0.778493	1648.2	
Skenario 4	3.41×10^{-4}	0.751277	1413.3	Tidak <i>feasible</i> (hanya digunakan untuk melakukan perhitungan)
Skenario 5	3.3×10^{-4}	0.761126	1446.1	
Skenario 6	2.6×10^{-4}	0.792553	1822.2	

Tabel 5.13 di atas menunjukkan rekap nilai *reliability* sistem dari kondisi eksisting sampai dengan skenario 6. Terlihat bahwa tiap skenario memberikan total peningkatan nilai *reliability* sistem yang berbeda-beda dipengaruhi oleh

faktor penggantian mesin, penambahan mesin, serta perubahan struktur dari sistem yang telah dilakukan pada masing-masing skenario.

5.6 Analisis *Reliability* pada Kondisi Perbaikan

Seluruh skenario peningkatan *reliability* sistem berhasil meningkatkan *reliability* sistem dan mengurangi probabilitas kerusakan dari sistem sebesar 1% sampai dengan 7%. Hal ini membuat semua skenario memiliki peluang untuk menjadi sebuah kondisi perbaikan. Oleh karena itu diperlukan analisis lebih lanjut terkait masing-masing skenario.

Skenario 1, 2, dan 3 merupakan skenario yang dihasilkan dari diskusi dengan *engineer* dan kepala bagian dari Departemen *Reliability* pada UBB Petrokimia Gresik. Didapatkan bahwa skenario 3 merupakan skenario *feasible* yang mampu meningkatkan *reliability* sistem lebih tinggi dibandingkan skenario *feasible* lainnya. Perbandingan antara kondisi eksisting dengan skenario 3 dapat dilihat pada Tabel 5.14. Dapat dilihat bahwa pada skenario 3 terdapat peningkatan *reliability* sebesar 6%, peningkatan MTTF sebesar 35%, serta penurunan *hazard rate* sebesar 24%.

Tabel 5.14 Perbandingan Antara Kondisi Eksisting dengan Skenario 3

	<i>Hazard Rate</i>	<i>R</i>	MTTF
Eksisting	3.7×10^{-4}	0.723055	1219.6
Skenario 3	2.8×10^{-4}	0.778493	1648.2
Perubahan	↓24%	↑6%	↑35%

Sedangkan untuk skenario uji coba matematis, yaitu skenario 4, 5, dan 6. Skenario 6 merupakan skenario yang mampu memberikan peningkatan lebih tinggi jika dibandingkan dengan skenario yang lain. Perbandingan antara kondisi eksisting dengan skenario 6 dapat dilihat pada Tabel 5.15. Dapat dilihat bahwa pada skenario 6 terdapat peningkatan *reliability* dari skenario 6 ialah sebesar 7% dengan peningkatan MTTF sebesar 49%, serta penurunan *hazard rate* sebesar 29%.

Tabel 5.15 Perbandingan Antara Kondisi Eksisting dengan Skenario 6

	<i>Hazard Rate</i>	<i>R</i>	<i>MTTF</i>
Eksisting	3.7×10^{-4}	0.723055	1219.6
Skenario 6	2.6×10^{-4}	0.792553	1822.2
Perubahan	↓29%	↑7%	↑49%

Jika dibandingkan, skenario 6 memiliki peningkatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan skenario 3. Namun skenario 3 merupakan skenario yang *feasible* menurut *engineer* dari UBB PT Petrokimia Gresik. Sesuai dengan kriteria yang diinginkan oleh UBB PT Petrokimia Gresik, maka kondisi perbaikan yang dipilih adalah skenario 3 dengan *reliability function* sebesar $R(876) = 0.778493$ atau 77%, *MTTF* sebesar 1648.2 jam atau sekitar 68.67 hari, dan *hazard function* sebesar 2.8×10^{-4} . Namun jika perusahaan menginginkan peningkatan yang lebih tinggi maka perusahaan dapat menggunakan skenario 6 dengan catatan perlu dilakukannya analisa finansial dan kondisi lapangan sebelum mengaplikasikan skenario.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan yang telah didapatkan dari penelitian yang telah dibuat dan saran untuk penelitian selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka kesimpulan yang dapat diambil yaitu sebagai berikut.

1. Hasil perhitungan performansi *reliability* sistem pada kondisi eksisting UBB PT Petrokimia Gresik menggunakan pendekatan *phase-type distribution* dan skalar menunjukkan *reliability function* dari kondisi eksisting ialah $R(8760) = 0.02702$ atau 2.7% mesin berfungsi dengan baik, MTTF sebesar 1219,6 jam atau 50,8 hari, dan *hazard function* sebesar 4.56×10^{-4} .
2. Penentuan dari subsistem dan mesin yang kritis dilakukan dengan menggunakan *Birnbaum's Importance Index*. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa subsistem *boiler* merupakan subsistem yang kritis dengan nilai *importance index* sebesar 0.858429 dan untuk mesin yang kritis adalah mesin *water pump* dengan *importance index* sebesar 0.884375.
3. Analisis sensitivitas dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui akibat dari perubahan sebuah variabel terhadap sebuah sistem. Terdapat 6 skenario perubahan terhadap variabel mesin dengan tujuan untuk meningkatkan *reliability* sistem UBB PT Petrokimia Gresik. Dari hasil analisis sensitivitas didapatkan bahwa skenario 3 merupakan skenario perbaikan sistem yang terbaik.
4. Setelah melakukan analisa, didapatkan bahwa skenario 3 merupakan skenario perbaikan terbaik sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan. Didapatkan hasil perhitungan *reliability function* dari skenario 3 adalah $R(876) = 0.778493$ atau 77% mesin berfungsi dengan baik, MTTF sebesar 1648.2 jam atau sekitar 68.67 hari, dan *hazard function* sebesar 2.8×10^{-4} .

6.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut.

1. Melakukan analisa *reliability* sistem menggunakan *phase-type distribution* dengan lebih menyeluruh, seperti mencakup *failure* yang disebabkan oleh *human error*.
2. Menambahkan variabel lain ketika melakukan analisis sensitivitas agar solusi yang diberikan dapat menjadi lebih optimal.
3. Melakukan analisis finansial dan kondisi lapangan terkait solusi yang diajukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkaff, A. (2019, November 1). *Matrix-Analytic Solutions in Multi Stations Production Lines*. Manuscript submitted for publication.
- Alkaff, A., & Qomarudin, M. (2020). Modeling and analysis of system reliability using phase-type distribution closure properties. *Appl Stochastic Models Bus Ind*, 1-22.
- Ardakan, M. A., Mirzaei, Z., Hamadani, A. Z., & Elsayed, E. A. (2017). Reliability Optimization by Considering Time-Dependent Reliability for Components. *Quality and Reliability Engineering International*, 33(8), 1641-1654.
- Avizienis, A., Laprie, J., Randell, B., & Landwehr, C. (2004). Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 1, 11-33.
- Buchholz, P., Kriege, J., & Felko, I. (2014). *Input Modeling with Phase-Type Distributions Markov Models Theory and Applications*. Heidelberg: SpringerBriefs in Mathematics.
- Daellenbach, H. G., McNickle, D. C., & Dye, S. (2012). *Management science: Decision making through systems thinking* (1st ed.). Macmillan International Higher Education.
- Dhillon, B. (2006). *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. New York: Taylor & Francis.
- Harrel, D. C., Ghosh, D. B., & Bowden, D. R. (2000). *Simulation Using Promodel* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.
- IEC 60050. (2001). Dependability and Quality of Service. Dalam *International Electrotechnical Vocabulary* (2nd ed.). IEC Standard No.60050-191.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Sadowski, D. A. (2000). *Simulation With Arena* (2nd ed.). New York: McGrawHil.
- Kolowrocki, K. (2014). *Reliability of Large and Complex System*. London, UK: Elsevier.

- Ludean, D., Cretu, A., Munteano, R., Moga, R., Stroia, N., Moga, D., & Vladareanu, L. (2018). Reliability Approach of a Compressor System using Reliability Block Diagrams. *Journal of Fundamental and Applied Science*(10), 149–154. doi:10.4314/jfas.v10i4s.74
- Navarro, J., & Cali, C. (2019). Inactivity times of coherent systems with dependent components under periodical inspections. *Appl Stoch Model Bus Ind*, 35(3), 871-892.
- Navarro, J., & Spizzichino, F. (2010). Comparisons of series and parallel systems with components sharing the same copula. *Appl Stoch Model Bus*, 26(6), 775-791.
- Neuts, M. F. (1994). *Matrix-Geometric Solutions in Stochastic Models - An Algorithmic Approach*. New York, USA: Dover Publications, Inc.
- OREDA. (2002). *Offshore Reliability Data Handbook*. Norway: OREDA Participants.
- PT Petrokimia Gresik. (2018). *Petrokimia Gresik Annual Report*. Gresik: PT Petrokimia Gresik.
- Rosihan, R. I., & Yuniarto, H. A. (2019). Reliability System Analysis with Reliability Block Diagram Approach. *Jurnal Tekno Sains*, 1-85.
- Trivedi , K., & Bobbio, A. (2017). *Reliability and Availability Engineering: Modelling, Analysis, and Applications*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Ushakov, I. (1994). *Handbook of Reliability Engineering*. John Wiley & Sons, Inc.
- Zaitseva, E. (2012). Importance Measures in Reliability Analysis of Healthcare System. *Human – Computer Systems Interaction: Backgrounds and Applications*(2), 119-133.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Daftar Permesinan untuk masing-masing Subsystem

Blok		Nomor Mesin	Nama Mesin
Nomor	Nama		
1	Coal Mill	20K-08.01	FD Fan
		20EP-08.03	ESP
		20G-08.14 A	Coal Bunker A
		20G-08.14 B	Coal Bunker B
		20G-08.14 C	Coal Bunker C
		20M-08.15 A	Coal Feeder A
		20M-08.15 B	Coal Feeder B
		20M-08.15 C	Coal Feeder C
		20K-08.11	Seal Fan A
		20L-08.12	Pulverized Coal Mill
	20B-08.01	Coal Combustion Chamber	
2	Deaerator	20DA-01.27	Deaerator
		20P-02.18 A	Boiled Feed Water Pump A
		20P-02.18 B	Boiled Feed Water Pump B
		20P-02.18 C	Boiled Feed Water Pump C
		20P-04.20	HP Heater
3	Boiler	20E-02.02	Water Pump
		20E-02.03	Economizer
		20E-02.04	Low Temperature Superheater
		20E-02.05	1st Desuperheater
		20E-02.06	1st High Temperature Superheater
		20E-02.07	2nd Desuperheater
		20E-02.08	2nd High Temperature Superheater
4	DHDP	20DHP-01.19	Desuperheater & Depressure I
		20DHP-01.20	Desuperheater & Depressure II
		20F-01.21	IDF
5	Turbine	20TG-01.02	Turbine
		20EG-01.03	Electric Generator
		20E-01.04	Condensor
		20P-01.05 A	Condensing Water Pump A
		20P-01.05 B	Condensing Water Pump B
		20E-01.08	Gland Sealing Heat Exchanger
		20E-01.10	High Pressure Heater A
		20E-01.11	High Pressure Heater B
		20-WJE-01.15	Water Jet Air Ejector

Lampiran 2.

Rekap Hasil *Fitting Data* pada Subsystem *Coal Mill*

LEVEL 1 - COAL MILL			Parameter			
Kode Mesin	Sumber Data	Distribusi	Eta	Beta	Failure Rate	CVTTF ²
20K-08.01	Data Historis	Eksponensial			0.0000164	1
20EP-08.03	Data Historis	Eksponensial			0.0000037	1
20G-08.14 A	OREDA <i>handbook</i>	Eksponensial			0.0000574	1
20G-08.14 B	OREDA <i>handbook</i>	Eksponensial			0.0000355	1
20G-08.14 C	OREDA <i>handbook</i>	Eksponensial			0.0000360	1
20M-08.15 A	OREDA <i>handbook</i>	Eksponensial			0.0000291	1
20M-08.15 B	OREDA <i>handbook</i>	Eksponensial			0.0000356	1
20M-08.15 C	OREDA <i>handbook</i>	Eksponensial			0.0000446	1
20K-08.11	Data Historis	Weibull 2	3207.43	0.9176		0.902887
20L-08.12	Data Historis	Weibull 2	3469.08	1.09363		0.789007
20B-08.01	OREDA <i>handbook</i>	Eksponensial			0.0000231	1

Rekap Hasil *Fitting Data* pada Subsystem *Deaerator*

LEVEL 1 - DEAERATOR			Parameter			
Kode Mesin	Sumber Data	Distribusi	Eta	Beta	Failure Rate	CVTTF ²
20DA-01.27	Data Historis	Eksponensial			0.0000282	1
20P-02.18 A	OREDA <i>handbook</i>	Weibull 2	3593.43	1.17012		0.73998
20P-02.18 B	OREDA <i>handbook</i>	Eksponensial			0.0000324	1
20P-02.18 C	OREDA <i>handbook</i>	Eksponensial			0.0000400	1
20P-04.20	Data Historis	Eksponensial			0.0000192	1

Rekap Hasil *Fitting Data* pada Subsystem *Boiler*

LEVEL 1 - BOILER			Parameter			
Kode Mesin	Sumber Data	Distribusi	Eta	Beta	Failure Rate	CVTTF ²
20E-02.02	Data Historis	Eksponensial			0.0000556	1
20E-02.03	Data Historis	Weibull 2	1.27177	2792.86		0.83893
20E-02.04	Data Historis	Weibull 2	1.43031	3621.75		0.67838
20E-02.05	OREDA <i>handbook</i>	Eksponensial			0.0000145	1
20E-02.06	Data Historis	Eksponensial			0.0000339	1
20E-02.07	OREDA <i>handbook</i>	Eksponensial			0.0000240	1
20E-02.08	Data Historis	Eksponensial			0.0000140	1

Rekap Hasil *Fitting Data* pada Subsystem *DHDP*

LEVEL 1 - DHDP			Parameter			
Kode Mesin	Sumber Data	Distribusi	Eta	Beta	Failure Rate	CVTTF ²
20E-01.10	OREDA <i>handbook</i>	Eksponensial			0.0000177	1
20E-01.11	OREDA <i>handbook</i>	Eksponensial			0.0000012	1
20-WJE-01.15	Data Historis	Weibull 2	1.28947	3952.01		0.816785

Lampiran 3.

Rekap Parameter *Phase-type Distribution* pada Subsistem *Coal Mill*

Kode Mesin	Phase-type Distribution	Representasi PH		CVTTF
20K-08.01	Exponential	n	[1]	1
		a	[1]	
		A	[-0.0000164]	
20EP-08.03	Exponential	n	[1]	1
		a	[1]	
		A	[-0.0000037]	
20G-08.14 A	Exponential	n	[1]	1
		a	[1]	
		A	[-0.0000574]	
20G-08.14 B	Exponential	n	[1]	1
		a	[1]	
		A	[-0.0000355]	
20G-08.14 C	Exponential	n	[1]	1
		a	[1]	
		A	[-0.0000360]	
20M-08.15 A	Exponential	n	[1]	1
		a	[1]	
		A	[-0.0000291]	
20M-08.15 B	Exponential	n	[1]	0.8759
		a	[1]	
		A	[-0.0000356]	
20M-08.15 C	Exponential	n	[1]	1
		a	[1]	
		A	[-0.0000446]	
20K-08.11	n -stage coxian	n	[4]	1.0914
		a	[0.2739 0.2745 0.2331 0.2185]	
		A	$\begin{bmatrix} -0.2492 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.2509 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.2939 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.7022 \end{bmatrix}$	
20L-08.12	k -stage Erlang	n	[3]	0.9181
		a	[0.7441 0.2559 0]	
		A	$\begin{bmatrix} -0.3044 & 0 & 0 \\ 0 & -0.4520 & 0.4520 \\ 0 & 0 & -0.4520 \end{bmatrix}$	
20B-08.01	Exponential	n	[1]	1
		a	[1]	

Kode Mesin	Phase-type Distribution	Representasi PH		CVTTF
		A	$[-0.0000231]$	

Rekap Parameter *Phase-type Distribution* pada Subsistem *Deaerator*

Kode Mesin	Phase-type Distribution	Representasi PH		CVTTF
20DA-01.27	Exponential	n	$[1]$	1
		a	$[1]$	
		A	$[-0.0000282]$	
20P-02.18 A	k -stage Erlang	n	$[3]$	0.8757
		a	$[0.5888 \quad 0.4112 \quad 0]$	
		A	$\begin{bmatrix} -0.3181 & 0 & 0 \\ 0 & -0.5460 & 0.5460 \\ 0 & 0 & -0.5460 \end{bmatrix}$	
20P-02.18 B	Exponential	n	$[1]$	1
		a	$[1]$	
		A	$[-0.0000324]$	
20P-02.18 C	Exponential	n	$[1]$	1
		a	$[1]$	
		A	$[-0.00004]$	
20P-04.20	Exponential	n	$[1]$	1
		a	$[1]$	
		A	$[-0.0000192]$	

Rekap Parameter *Phase-type Distribution* pada Subsistem *Boiler*

Kode Mesin	Phase-type Distribution	Representasi PH		CVTTF
20E-02.02	Exponential	n	$[1]$	1
		a	$[1]$	
		A	$[-0.0000556]$	
20E-02.03	k -stage Erlang	n	$[3]$	0.8240
		a	$[0.4264 \quad 0.5736 \quad 0]$	
		A	$\begin{bmatrix} -0.4684 & 0 & 0 \\ 0 & -0.7120 & 0.7120 \\ 0 & 0 & -0.7120 \end{bmatrix}$	
20E-02.04	k -stage Erlang	n	$[3]$	0.7270
		a	$[0.0668 \quad 0.9332 \quad 0]$	
		A	$\begin{bmatrix} -0.4822 & 0 & 0 \\ 0 & -0.5777 & 0.5777 \\ 0 & 0 & -0.5777 \end{bmatrix}$	

Kode Mesin	Phase-type Distribution	Representasi PH		CVTTF
20E-02.05	Exponential	n	[1]	1
		\mathbf{a}	[1]	
		\mathbf{A}	[-0.0000145]	
20E-02.06	Exponential	n	[1]	1
		\mathbf{a}	[1]	
		\mathbf{A}	[-0.0000339]	
20E-02.07	Exponential	n	[1]	1
		\mathbf{a}	[1]	
		\mathbf{A}	[-0.000024]	
20E-02.08	Exponential	n	[1]	1
		\mathbf{a}	[1]	
		\mathbf{A}	[-0.000014]	

Rekap Parameter *Phase-type Distribution* pada Subsistem *DHDP*

Kode Mesin	Phase-type Distribution	Representasi PH		CVTTF
20DHP-01.19	Exponential	n	[1]	1
		\mathbf{a}	[1]	
		\mathbf{A}	[-0.0000177]	
20DHP-01.20	Exponential	n	[1]	1
		\mathbf{a}	[1]	
		\mathbf{A}	[-0.0000012]	
20E-01.04	<i>k</i> -stage Erlang	n	[3]	0.8205
		\mathbf{a}	[0.3808 0.6192 0]	
		\mathbf{A}	$\begin{bmatrix} -0.2833 & 0 & 0 \\ 0 & -0.5194 & 0.5194 \\ 0 & 0 & -0.5194 \end{bmatrix}$	

Lampiran 4.

Rekap *Reliability Function* pada Subsistem *Coal Mill*

Kode Mesin	Hazard Rate		Reliability		MTTF	
	Skalar	Matriks	Skalar	Matriks	Skalar	Matriks
20K-08.01	1.64×10^{-5}	1.64×10^{-5}	0.8666	0.8666	6116	6116
20EP-08.03	0.37×10^{-5}	0.37×10^{-5}	0.9677	0.9677	26695	26695
20G-08.14 A	5.74×10^{-5}	5.74×10^{-5}	0.6047	0.6047	1741	1741
20G-08.14 B	3.55×10^{-5}	3.55×10^{-5}	0.7327	0.7327	2816	2816
20G-08.14 C	3.6×10^{-5}	3.6×10^{-5}	0.7295	0.7295	2777	2777
20M-08.15 A	2.91×10^{-5}	2.91×10^{-5}	0.7750	0.7750	3436	3436
20M-08.15 B	3.56×10^{-5}	3.56×10^{-5}	0.7321	0.7321	2809	2809
20M-08.15 C	4.46×10^{-5}	4.46×10^{-5}	0.6766	0.6766	2242	2242
20K-08.11	1.39×10^{-5}	1.39×10^{-5}	0.8853	0.8853	7189	7189
20L-08.12	3.72×10^{-5}	3.72×10^{-5}	0.7218	0.7218	2687	2687
20B-08.01	2.31×10^{-5}	2.31×10^{-5}	0.8168	0.8168	4329	4329

Rekap *Reliability Function* pada Subsistem *Deaerator*

Kode Mesin	Hazard Rate		Reliability		MTTF	
	Skalar	Matriks	Skalar	Matriks	Skalar	Matriks
20DA-01.27	2.82×10^{-5}	2.82×10^{-5}	0.7813	0.7813	4739	4739
20P-02.18 A	1.2×10^{-5}	1.2×10^{-5}	0.7586	0.7586	3460	3460
20P-02.18 B	3.24×10^{-5}	3.24×10^{-5}	0.7529	0.7529	9259	9259
20P-02.18 C	4×10^{-5}	4×10^{-5}	0.7044	0.7044	660	664
20P-04.20	1.92×10^{-5}	1.92×10^{-5}	0.8454	0.8454	6433	6433

Rekap *Reliability Function* pada Subsistem *Boiler*

Kode Mesin	Hazard Rate		Reliability		MTTF	
	Skalar	Matriks	Skalar	Matriks	Skalar	Matriks
20E-02.02	5.56×10^{-5}	5.56×10^{-5}	0.6144	0.6144	1798	1798
20E-02.03	2.24×10^{-5}	2.24×10^{-5}	0.8220	0.8220	4468	4468
20E-02.04	3.15×10^{-5}	3.15×10^{-5}	0.7592	0.7592	3179	3179
20E-02.05	1.45×10^{-5}	1.45×10^{-5}	0.8805	0.8805	6882	6883
20E-02.06	3.39×10^{-5}	3.39×10^{-5}	0.7431	0.7431	2949	2949
20E-02.07	2.4×10^{-5}	2.4×10^{-5}	0.8104	0.8104	4166	4166
20E-02.08	1.4×10^{-5}	1.4×10^{-5}	0.8846	0.8846	7142	7142

Rekap *Reliability Function* pada Subsistem *DHDP*

Kode Mesin	Hazard Rate		Reliability		MTTF	
	Skalar	Matriks	Skalar	Matriks	Skalar	Matriks
20DHP-01.19	0.0000211	2.11×10^{-5}	0.8564	0.8564	5649	5649
20DHP-01.20	0.0000289	2.89×10^{-5}	0.9895	0.9895	8333	8333
20F-01.21	0.0000108	1.08×10^{-5}	0.8847	0.8847	7140	7140

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Pinky Tamara Sabrina, lahir di Gresik pada tanggal 25 Maret tahun 1998. Penulis merupakan anak bungsu dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Pinto dan Ibu Nurul Yaqin. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Muhammadiyah Manyar Gresik (2004-2010), SMP Negeri 1 Gresik (2010-2013), SMA Negeri 1 Manyar Gresik (2013-2016), dan Departemen Teknik Sistem dan Industri, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2016-2020)

Selama perkuliahan, penulis aktif mengikuti berbagai kepanitiaan, beberapa diantaranya ialah menjadi Panitia Sie Kesehatan untuk kegiatan PKTI di Tahun 2017, Panitia Sie Kesehatan dan Konsumsi kegiatan INCHALL (*Industrial Challenge*) di Tahun 2018, serta Ketua Publikasi kegiatan IE Games (*Industrial Engineering Games*) Region Gresik di Tahun 2018. Selain mengikuti berbagai kepanitiaan, penulis juga bergabung dengan *team public relation and sponsorship* di salah satu *media based company* dan menjabat sebagai admin. Sebagai admin, penulis banyak melakukan kerja sama dengan berbagai perusahaan, seperti LG, Samsung, Sociolla, Kotex, Tokopedia, Shopee, dan perusahaan-perusahaan lain untuk melakukan promosi terkait produk dan jasa yang ditawarkan. Apabila terdapat pertanyaan atau membutuhkan informasi lebih lanjut mengenai penelitian ini, dapat menghubungi penulis melalui email pinkytamara@yahoo.co.id.