TUGAS AKHIR – TI 184833

PEMODELAN *RELIABILITY* SISTEM DENGAN METODE *PHASE-TYPE DISTRIBUTION* PADA PROSES PRODUKSI AMONIA PABRIK 1A PT PETROKIMIA GRESIK

SHAFA AMELIA RAHMA PUTRI
NRP. 02411640000111

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

TUGAS AKHIR – TI 184833

PEMODELAN *RELIABILITY* SISTEM DENGAN METODE *PHASE-TYPE DISTRIBUTION* PADA PROSES PRODUKSI AMONIA PABRIK 1A PT PETROKIMIA GRESIK

SHAFA AMELIA RAHMA PUTRI
NRP. 02411640000111

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

LEMBAR PENGESAHAN

PEMODELAN *RELIABILITY* SISTEM DENGAN METODE *PHASE-TYPE DISTRIBUTION* PADA PROSES PRODUKSI AMONIA PABRIK 1A 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

Oleh:

SHAFA AMELIA RAHMA PUTRI NRP 02411640000111

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T. NIP. 197103171998021001

SURABAYA, AGUSTUS 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PEMODELAN *RELIABILITY* SISTEM DENGAN METODE *PHASE-TYPE DISTRIBUTION* PADA PROSES PRODUKSI AMONIA PABRIK 1A PT PETROKIMIA GRESIK

Nama Mahasiswa	:	Shafa Amelia Rahma Putri
NRP	:	02411640000111
Pembimbing	:	Stefanus Eko Wiratno, ST., MT

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang pemodelan *reliability* sistem dengan metode *phase-type distribution* untuk menunjang keberlangsungan proses produksi amonia Pabrik 1A PT Petrokimia Gresik. Pemodelan dilakukan dengan merancang model konseptual yaitu *reliability block diagram* (RBD) dan model matematis yaitu *generator matrix* dari distribusi *phase-type.* Metode *phase-type distribution* digunakan untuk memodelkan masalah *reliability* pada sistem dengan struktur *RBD* dasar untuk tipe distribusi *constant failure rate* (CFR), *increasing failure rate* (IFR), *decreasing failure rate* (DFR), dan *bathup failure rate* (BFR). Analisis sensitivitas dilakukan dengan menggunakan model yang dibuat untuk mengetahui *equipment* dengan keandalan yang berpengaruh signifikan terhadap peningkatan *reliability* sistem. Hasil analisis dan rancangan skenario perbaikan menunjukkan bahwa redundansi *equipment* 101-J adalah hal yang paling layak dilakukan sebagai upaya peningkatan *reliability* sistem.

Kata kunci: Pemodelan Sistem, *Reliability, Reliability Block Diagram, Fungsi Reliablity,* Distribusi *Phase-type.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PEMODELAN *RELIABILITY* SISTEM DENGAN METODE *PHASE-TYPE DISTRIBUTION* PADA PROSES PRODUKSI AMONIA PABRIK 1A PT PETROKIMIA GRESIK

Nama Mahasiswa	:	Shafa Amelia Rahma Putri
NRP	:	02411640000111
Pembimbing	:	Stefanus Eko Wiratno, ST., MT

ABSTRACT

This study discusses the modeling of system reliability by phase-type distribution method to support the continuation of the ammonia production process of PT Petrokimia Gresik's 1A Factory. Modeling is done by designing a conceptual model that is a reliability block diagram (RBD) and a mathematical model that is a matrix generator of phase-type distribution. Phase-type distribution method has been proven to be used to model reliability problems in systems with a basic RBD structure for the type of constant failure rate (CFR) distribution, increasing failure rate (IFR), decreasing failure rate (DFR), and bathup failure rate (BFR). Sensitivity analysis is performed using a model created to determine equipment with reliability that has a significant effect on improving system reliability. The results of the analysis and design of improvement scenarios indicate that the redundancy of 101-J equipment is the most feasible thing to do as an effort to improve system reliability.

Kata kunci: Pemodelan Sistem, *Reliability, Reliability Block Diagram, Fungsi Reliablity,* Distribusi *Phase-type.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepad Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat serta karunia-Nya, Penyusun dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul "Pemodelan *Reliability* Sistem Dengan Metode *Phase-Type Distribution* Pada Proses Produksi Amonia Pabrik 1A PT Petrokimia Gresik". Penyusun menyadari penyusunan laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga saran dan kritik dari pembaca sangat diharapkan.

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan studi strata-1 (S1) dan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Teknik Industri ITS, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama proses pengerjaan Tugas Akhir, penyusun telah menerima banyak dukungan, masukan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing penelitian Tugas Akhir. Penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas waktu, bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi serta kesabaran dalam membimbing dan mengarahkan penyusun sehingga penelitian Tugas Akhir dapat selesai tepat waktu.
2. Seluruh pihak dari objek amatan yang telah meluangkan waktu untuk berdiskusi dan membantu penyusun dalam mengumpulkan data penelitian Tugas Akhir.
3. Ibu Putu Dana Karningsih, S.T., M.T., Ph.D, Bapak Yudha Prasetyawan, S.T., M.Eng., Prof. Dr.Ir. Budisantoso Wirjodirjo, M.Eng, dan Bapak Yudha Andrian Saputra, S.T., M.BA., selaku penguji seminar proposal dan sidang Tugas Akhir yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
4. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D., selaku kepala Departemen Teknik Industri ITS yang telah memberikan waktu, arahan, informasi dan motivasi kepada penyusun dalam pengerjaan Tugas Akhir.
5. Bapak Dr. Adithya Sudiarno, S.T., M.T., selaku koordinator pelaksanaan tugas akhir di Departemen Teknik Industri ITS yang telah meluangkan

waktunya demi membantu mahasiswa untuk menjalankan tahapan selama pengerjaan Tugas Akhir berlangsung

6. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Industri ITS yang telah mendidik dan mengajarkan banyak ilmu dan pelajaran berharga kepada penyusun selama masa perkuliahan.
7. Kedua orang tua dan adik penyusun atas segala dukungan, kasih sayang, ilmu yang telah diberikan, dan doa tulus yang selalu beliau panjatkan.
8. Angkatan 2016 (ADHIGANA) yang selalu memberikan semangat sejak mahasiswa baru hingga dapat menyelesaikan perkuliahan ini terutama kepada Aisyah Nisrina Hamidah, Amelia Isnie Bahria, Indriyani Rachmayanti, Latifah Salsabila, Maria Ulfa Permatasari, Nada Farah Diba, Naurah Rafa, Pinky Tamara, Rahmadillah Wahyuningtyas, Salsa Shauma Jadida, dan Sekar Puspita Dewi.
9. Semua keluarga besar penyusun, teman-teman penyusun terutama Rosita Wati selaku sahabat penyusun dan pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan, motivasi, doa dan bantuan kepada penyusun.

Penyusun berharap laporan penelitian Tugas Akhir ini dapat memberikan banyak manfaat bagi semua pihak. Apabila terdapat kesalahan dan kekurangan, penyusun memohon maaf yang sebesar-besarnya. Penyusun sangat terbuka terhadap saran dan kritik apabila terdapat kesalahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Surabaya, 18 Agustus 2020

Penyusun

(Halaman sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

ABSTRAK ..... **v**

ABSTRACT ..... **vii**

KATA PENGANTAR ..... **ix**

DAFTAR ISI ..... **xii**

DAFTAR GAMBAR ..... **xviii**

DAFTAR TABEL ..... **xxiii**

BAB 1 ..... **1**

PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang Penelitian 1

1.2 Rumusan Masalah 5

1.3 Tujuan Penelitian 6

1.4 Manfaat Penelitian 6

1.5 Ruang Lingkup Penelitian 6

1.5.1 Batasan Penelitian 6

1.5.2 Asumsi Penelitian 7

1.6 Sistematika Penyusunan 7

BAB 2 ..... **9**

TINJAUAN PUSTAKA **9**

2.1 Sistem 9

2.1.1 Definisi dan Konsep Sistem 9

2.1.2 Unsur–unsur dalam Sistem 10

2.1.3 Situasi Permasalahan dalam Sistem 12

2.2 Pemodelan Sistem 13

2.3 *Hard OR Methodology* 14

2.4 Konsep *Dependability* 17

2.5 Evaluasi *Reliability* 20
2.5.1 Model-Based Evaluation 20
2.5.2 Proses Pemodelan Reliability 20
2.6 *Improving Reliability* 22
2.7 *Reliability Block Diagram* 23
2.8 *Continuous-Time Markov Chain* 27
2.9 *Phase-type Distribution* 29
2.10 Perhitungan *Reliability* dalam Distribusi PH 30
2.11 *Closure Properties* dari PH *distribution* 33
2.12 Pemodelan *Reliability* Sistem dengan PH *Distribution* 34
2.12.1 Sistem seri 34
2.12.2 Sistem Paralel 35
2.12.3 Standby System 35
2.12.4 K-Out-of-N System 36
2.13 Produksi Kontinu 37
2.14 Analisis Sensitivitas pada *Reliability* 37
2.14.1 Analisis Sensitivitas pada Sistem Seri 38
2.14.2 Analisis Sensitivitas pada Sistem Paralel 38
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 39
3.1 Pendefinisian Elemen Permasalahan 39
3.2 Pendeskripsian Sistem yang Relevan 40
3.3 Pengumpulan Data 41
3.4 Perancangan Model Konseptual 41
3.5 Perancangan Model Matematis 41
3.6 Perancangan *Preferred Solution* 42
3.7 Validasi Model 42

3.8 Analisis Sensitivitas 42
3.9 Kesimpulan dan Saran 43
BAB 4 45
PEMODELAN *RELIABILITY* SISTEM 45
4.1 Deskripsi Sistem Produksi Amonia 45
4.1.1 Desulfurisasi dan Reforming 45
4.1.2 CO Shift Conversion 47
4.1.3 CO_2 Removal 48
4.1.4 Metanasi 51
4.1.5 Kompresi Gas Sintesis 51
4.1.6 Konversi Amonia 52
4.1.7 Sistem Refrigerasi 53
4.2 *Fitting* Distribusi *Time to Failure Equipment* 54
4.2.1 Subsistem Desulfurisasi dan Reforming 56
4.2.2 Subsistem CO Shift Conversion 58
4.2.3 Subsistem CO_2 Removal 59
4.2.4 Subsistem Metanasi 61
4.2.5 Subsistem Kompresi Gas Sintesis 62
4.2.6 Subsistem Konversi Amonia 63
4.2.7 Subsistem Refrigerasi 64
4.3 Perhitungan *Reliability* Sistem Produksi Amonia 65
4.3.1 Perhitungan Reliability Subsistem Desulfurisasi dan Reforming ... 66
4.3.2 Perhitungan Reliability Subsistem CO Shift Conversion 67
4.3.3 Perhitungan Reliability Subsistem CO_2 Removal 68
4.3.4 Perhitungan Reliability Subsistem Metanasi 69
4.3.5 Perhitungan Reliability Subsistem Kompresi Gas Sintesis 70

4.3.6 Perhitungan Reliability Subsistem Konversi Amonia 71

4.3.7 Perhitungan Reliability Subsistem Refrigerasi 72

4.3.8 Perhitungan Reliability Sistem Produksi Amonia 73

BAB 5 75

ANALISIS HASIL PEMODELAN DAN PERANCANGAN SKENARIO PERBAIKAN 75

5.1 Analisis Penggunaan Metode *Phase-type Distribution* dalam Pemodelan *Reliability* Sistem Produksi Amonia 75

5.2 Analisis Pemodelan *Reliability* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming* 77

5.2.1 Analisis Perhitungan MTTF, CVTTF, VTTF, $R(t)$ dan Penentuan Tipe Hazard Function 77

5.2.2 Analisis Grafik Fungsi Reliability Subsistem Desulfurisasi dan Reforming 78

5.3 Analisis Pemodelan *Reliability* Subsistem CO *Shift Conversion* 80

5.3.1 Analisis Perhitungan MTTF, CVTTF, VTTF, $R(t)$ dan Penentuan Tipe Hazard Function 80

5.3.2 Analisis Grafik Fungsi Reliability Subsistem CO Shift Conversion 82

5.4 Analisis Pemodelan *Reliability* Subsistem CO_2 *Removal* 82

5.4.1 Analisis Perhitungan MTTF, CVTTF, VTTF, $R(t)$ dan Penentuan Tipe Hazard Function 82

5.4.2 Analisis Grafik Fungsi Reliability Subsistem CO_2 Removal 84

5.5 Analisis Pemodelan *Reliability* Subsistem Metanasi 86

5.5.1 Analisis Perhitungan MTTF, CVTTF, VTTF, $R(t)$ dan Penentuan Tipe Hazard Function 86

5.5.2 Analisis Grafik Fungsi Reliability Subsistem Metanasi 87

5.6 Analisis Pemodelan *Reliability* Subsistem Kompresi Gas Sintesis 88

5.6.1 Analisis Perhitungan MTTF, CVTTF, VTTF, $R(t)$ dan Penentuan Tipe Hazard Function 88
5.6.2 Analisis Grafik Fungsi Reliability Subsistem Kompresi Gas Sintesis 89
5.7 Analisis Pemodelan *Reliability* Subsistem Konversi Amonia 90
5.7.1 Analisis Perhitungan MTTF, CVTTF, VTTF, $R(t)$, dan Penentuan Tipe Hazard Function 90
5.7.2 Analisis Grafik Fungsi Reliability Subsistem Konversi Amonia 92
5.8 Analisis Pemodelan *Reliability* Subsistem Refrigerasi 92
5.8.1 Analisis Perhitungan MTTF, CVTTF, VTTF, $R(t)$ dan Penentuan Tipe Hazard Function 92
5.8.2 Analisis Grafik Fungsi Reliability Subsistem Konversi Amonia 93
5.9 Analisis Pemodelan *Reliability* Sistem Produksi Amonia 94
5.9.1 Analisis Perhitungan MTTF, CVTTF, VTTF, $R(t)$ dan Penentuan Tipe Hazard Function 94
5.9.2 Analisis Grafik Fungsi Reliability Sistem Produksi Amonia 96
5.10 Penentuan Subsistem dan *Equipment* Kritis 98
5.11 Perancangan Skenario Perbaikan 101
5.12 Analisis Pengaruh Pertambahan Redundansi 101
5.12.1 Pengaruh Pertambahan Redundansi Skenario 1 101
5.12.2 Pengaruh Pertambahan Redundansi Skenario 2 106
5.12.3 Pengaruh Pertambahan Redundansi Skenario 3 109
5.12.4 Pengaruh Pertambahan Redundansi Skenario 4 113
5.12.5 Pengaruh Pertambahan Redundansi Skenario 5 117
5.12.6 Pengaruh Pertambahan Redundansi Skenario 6 120
BAB 6..... 124
KESIMPULAN DAN SARAN..... 124

6.1 Kesimpulan..... 124
6.2 Saran 125
DAFTAR PUSTAKA 127
DAFTAR LAMPIRAN 129
BIOGRAFI PENYUSUN 133

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Konsumsi Pupuk Domestik dan Ekspor 2014 - 2019 2
Gambar 1. 2 Grafik Unscheduled Downtime Pabrik Amonia 1A Tahun 2016 – 2019 3
Gambar 2. 1 Unsur-unsur yang Terdapat dalam Sistem 10
Gambar 2. 2 Proses-proses yang Ada pada Hard OR Methodology 16
Gambar 2. 3 Dependability Tree Berdasarkan IFIP WG 10.4 18
Gambar 2. 4 Block Diagram Konfigurasi Seri n-Unit 23
Gambar 2. 5 Block Diagram Konfigurasi Paralel n-Unit 24
Gambar 2. 6 Block Diagram Konfigurasi K-Out-of-N Unit 25
Gambar 2. 7 Block Diagram dari Standby System dengan Satu Unit Beroperasi dan K Unit Standby 26
Gambar 2. 8 Diagram Transisi antar State pada CTMC 29

Gambar 4. 1 Diagram Alir Proses Desulfurisasi dan Reforming 46
Gambar 4. 2 Diagram Alir Proses CO Shift Conversion 48
Gambar 4. 3 Diagram Alir Proses CO_2 Removal 50
Gambar 4. 4 Diagram Alir Proses Metanasi 51
Gambar 4. 5 Diagram Alir Proses Kompresi Gas Sintesis 52
Gambar 4. 6 Diagram Alir Proses Konversi Amonia 53
Gambar 4. 7 Diagram Alir Proses Refrigerasi 54
Gambar 4. 8 RBD Subsistem Desulfurisasi dan Reforming 66
Gambar 4. 9 RBD Subsistem CO Shift Conversion 67
Gambar 4. 10 RBD Subsistem CO_2 Removal 68
Gambar 4. 11 RBD Subsistem Metanasi 69
Gambar 4. 12 RBD Subsistem Kompresi Gas Sintesis 70
Gambar 4. 13 RBD Subsistem Konversi Amonia 71
Gambar 4. 14 RBD Subsistem Refrigerasi 72
Gambar 4. 15 RBD Sistem Prduksi Amonia 73
Gambar 5. 1 Grafik Hazard Function Subsistem Desulfurisasi dan Reforming 77
Gambar 5. 2 Grafik Fungsi Reliability Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Waktu Operasi Selama 8.760 jam 79

Gambar 5. 3 Grafik Fungsi Reliability Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Waktu Operasi Selama 400 jam 79
Gambar 5. 4 Grafik Hazard Function Subsistem CO Shift Conversion 81
Gambar 5. 5 Grafik Fungsi Reliability Subsistem CO Shift Conversion dengan Waktu Operasi Selama 8.760 jam 82
Gambar 5. 6 Grafik Hazard Function Subsistem CO_2 Removal 83
Gambar 5. 7 Grafik Fungsi Reliability Subsistem CO_2 Removal dengan Waktu Operasi Selama 8.760 jam..... 84
Gambar 5. 8 Grafik Fungsi Reliability Subsistem CO_2 Removal dengan Waktu Operasi Selama 2.000 jam..... 85
Gambar 5. 9 Grafik Hazard Function Subsistem Metanasi..... 86
Gambar 5. 10 Grafik Fungsi Reliability Subsistem Metanasi dengan Waktu Operasi Selama 8.760 jam..... 87
Gambar 5. 11 Grafik Hazard Function Subsistem Kompresi Gas Sintesis..... 88
Gambar 5. 12 Grafik Fungsi Reliability Subsistem Kompresi Gas Sintesis dengan Waktu Operasi Selama 8.760 jam 90
Gambar 5. 13 Grafik Hazard Function Subsistem Konversi Amonia 91
Gambar 5. 14 Grafik Fungsi Reliability Subsistem Konversi Amonia dengan Waktu Operasi Selama 8.760 jam..... 92
Gambar 5. 15 Grafik Hazard Function Subsistem Refrigerasi..... 93
Gambar 5. 16 Grafik Fungsi Reliability Subsistem Refrigerasi dengan Waktu Operasi Selama 8.760 jam..... 94
Gambar 5. 17. Grafik Hazard Function Sistem Produksi Amonia 95
Gambar 5. 18 Grafik Fungsi Reliability Sistem Produksi Amonia dengan Waktu Operasi Selama 8.760 jam..... 96
Gambar 5. 19 Grafik Fungsi Sistem Produksi Amonia dengan Waktu Operasi Selama 400 jam 97
Gambar 5. 20 Grafik Fungsi Reliability Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Skenario 1..... 102
Gambar 5. 21 Grafik Hazard Function Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Skenario 1..... 103

Gambar 5. 22 Grafik Hazard Function Subsistem Desulfurisasi dan Reforming pada $t = 50$ jam dengan Skenario 1 104
Gambar 5. 23 Grafik Fungsi Reliability Sistem dengan Skenario 1 104
Gambar 5. 24 Grafik Fungsi Reliability Sistem Skenario 1 dengan $t = 400$ jam 105
Gambar 5. 25 Grafik Hazard Function Sistem Produksi Amonia dengan Skenario 1 105
Gambar 5. 26 Grafik Fungsi Reliability Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Skenario 2 107
Gambar 5. 27 Grafik Hazard Function Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Skenario 2 108
Gambar 5. 28 Grafik Fungsi Reliability Sistem Skenario 2 108
Gambar 5. 29 Grafik Hazard Function Sistem Produksi Amonia dengan Skenario 2 109
Gambar 5. 30 Grafik Fungsi Reliability Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Skenario 3 110
Gambar 5. 31 Grafik Hazard Function Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Skenario 3 111
Gambar 5. 32 Grafik Hazard Function Subsistem Desulfurisasi dan Reforming pada $t = 50$ jam dengan Skenario 3 112
Gambar 5. 33 Grafik Fungsi Reliability Sistem Skenario 3 112
Gambar 5. 34 Grafik Hazard Function Sistem Produksi Amonia dengan Skenario 3 113
Gambar 5. 35 Grafik Fungsi Reliability Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Skenario 4 114
Gambar 5. 36 Grafik Hazard Function Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Skenario 4 115
Gambar 5. 37 Grafik Fungsi Reliability Sistem Skenario 4 116
Gambar 5. 38 Grafik Hazard Function Sistem Produksi Amonia dengan Skenario 4 116
Gambar 5. 39 Grafik Fungsi Reliability Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Skenario 5 118

Gambar 5. 40 Grafik Hazard Function Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Skenario 5 118
Gambar 5. 41 Grafik Fungsi Reliability Sistem Skenario 5 119
Gambar 5. 42 Grafik Hazard Function Sistem Produksi Amonia dengan Skenario 4 119
Gambar 5. 43 Grafik Fungsi Reliability Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Skenario 6 121
Gambar 5. 44 Grafik Hazard Function Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Skenario 6 122
Gambar 5. 45 Grafik Fungsi Reliability Sistem Skenario 6 122
Gambar 5. 46 Grafik Hazard Function Sistem Produksi Amonia dengan Skenario 6 123

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Rekap Konsumsi Domestik dan Ekspor Per Jenis Pupuk di Indonesia .. 1
Tabel 2. 1 Representasi Distribusi Umum dalam Phase-type Distribution 31
Tabel 4. 1 Hasil Fitting data Time to Failure Kompresor 103-J 55
Tabel 4. 2 Rekapitulasi Fitting Distribusi Equipment Desulfurisasi dan Reforming 56
Tabel 4. 3 Rekapitulasi Fitting Distribusi Equipment CO Shift Conversion 58
Tabel 4. 4 Rekapitulasi Fitting Distribusi Equipment CO_2 Removal 59
Tabel 4. 5 Rekapitulasi Fitting Distribusi Equipment Metanasi 61
Tabel 4. 6 Rekapitulasi Fitting Distribusi Equipment Kompresi Gas Sintesis 62
Tabel 4. 7 Rekapitulasi Fitting Distribusi Equipment Konversi Amonia 63
Tabel 4. 8 Rekapitulasi Fitting Distribusi Equipment Refrigerasi 64
Tabel 4. 9 Rekapitulasi Perhitungan MTTF, CVTFF, VTTF, $R(8.760)$, dan Tipe *Failure Rate* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming* 67
Tabel 4. 10 Rekapitulasi Perhitungan MTTF, CVTFF, VTTF, R(8.760), dan Tipe Failure 68
Tabel 4. 11 Rekapitulasi Perhitungan MTTF, CVTFF, $R(8.760)$, dan Tipe Failure Rate Subsistem CO_2 Removal 69
Tabel 4. 12 Rekapitulasi Perhitungan MTTF, CVTFF, $R(8.760)$, dan Tipe Failure Rate Subsistem Metanasi 70
Tabel 4. 13 Rekapitulasi Perhitungan MTTF, CVTFF, $R(8.760)$, dan Tipe Failure Rate Subsistem Kompresi Gas Sintesis 71
Tabel 4. 14 Rekapitulasi Perhitungan MTTF, CVTFF, $R(8.760)$, dan Tipe Failure Rate Subsistem Konversi Amonia 72
Tabel 4. 15 Rekapitulasi Perhitungan MTTF, CVTFF, $R(8.760)$, dan Tipe Failure Rate Subsistem Refrigerasi 73
Tabel 4. 16 Rekapitulasi Perhitungan Reliability Sistem Produksi Amonia 73
Tabel 4. 17 Rekapitulasi Perhitungan MTTF, CVTFF, R(8.760), dan Tipe Failure Rate Sistem Produksi Amonia 74
Tabel 5. 1 Rekapitulasi Importance Index Subsistem Produksi Amonia 98
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Importance Index Equipment Subsistem Desulfurisasi dan Reforming pada $t = 8.760$ 98

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Importance Index Equipment Subsistem Desulfurisasi dan Reforming pada $t = 300$ jam 100
Tabel 5. 4 Rekapitulasi Perhitungan Skenario 1 101
Tabel 5. 5 Pengaruh Pertambahan Redundansi Equipment 101-B Terhadap Reliability Sistem 106
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Perhitungan Skenario 2 106
Tabel 5. 7 Pengaruh Pertambahan Redundansi Equipment 101-J Terhadap Reliability Sistem 109
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Perhitungan Skenario 3 110
Tabel 5. 9 Pengaruh Pertambahan Redundansi Equipment 101-B dan 101-J Terhadap Reliability Sistem 113
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Perhitungan Skenario 4 114
Tabel 5. 11 Pengaruh Pertambahan Redundansi Equipment 101-B Terhadap Reliability Sistem 117
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Perhitungan Skenario 5 117
Tabel 5. 13 Pengaruh Pertambahan Redundansi Equipment 101-J Terhadap Reliability Sistem 120
Tabel 5. 14 Rekapitulasi Perhitungan Skenario 6 120
Tabel 5. 15 Pengaruh Pertambahan Redundansi Equipment 101-B dan 101-J Terhadap Reliability Sistem 123

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1
PENDAHULUAN

Bab ini akan menjelaskan landasan dari penelitian terkait pemodelan *reliability* pada sistem produksi amonia Pabrik 1A PT Petrokimia Gresik. Hal-hal yang akan dibahas yaitu latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, serta ruang lingkup yang digunakan dalam penelitian ini.

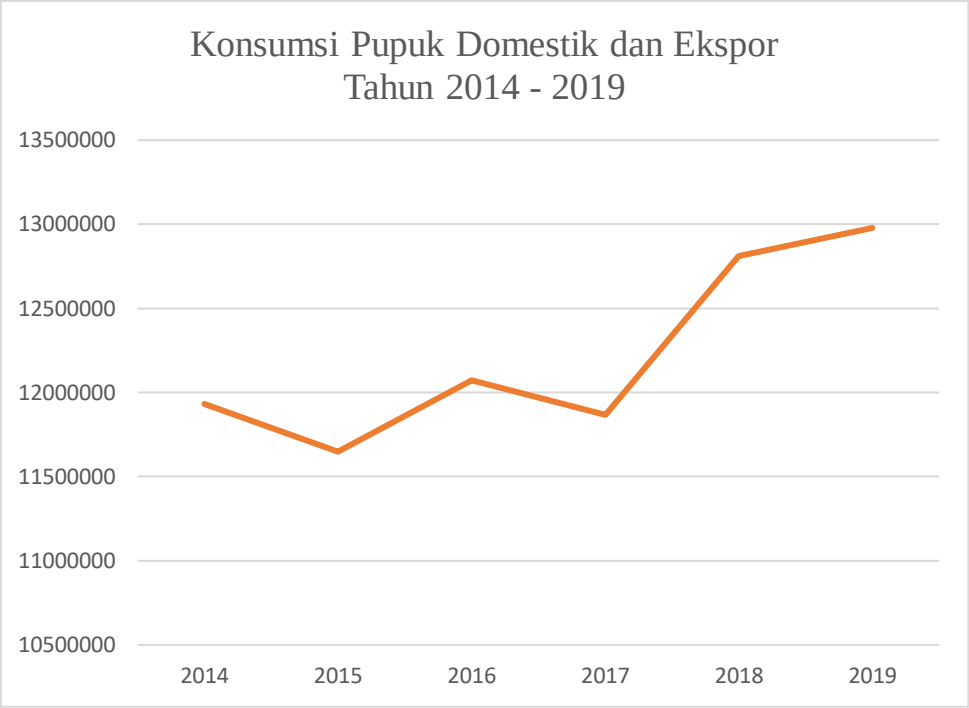
1.1 Latar Belakang Penelitian

Pupuk merupakan material yang kaya akan zat hara. Oleh karena itu, pupuk seringkali dimanfaatkan dalam kegiatan pertanian atau perkebunan. Pupuk dibutuhkan oleh tanaman agar dapat tumbuh dengan baik. Berdasarkan data dari Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia, Tabel 1.1 menunjukkan rekapitulasi data konsumsi pasar domestik dan ekspor pupuk yang di produksi di Indonesia per jenisnya.

Tabel 1.1 Rekapitulasi Konsumsi Domestik dan Ekspor Per Jenis Pupuk di Indonesia

Jenis Pupuk	Tahun					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Urea	6.697.364	6.322.409	6.582.917	6.737.261	7.406.916	7.286.356
Fosfat/SP-36	798.816	829.134	865.434	860.270	861.707	819.195
ZA/AS	1.011.141	996.645	1.021.505	980.505	1.004.704	1.017.167
NPK	2.672.052	2.705.807	2.933.716	2.597.586	2.802.246	3.088.176
Organik	753.761	794.409	669.c643	693.162	733.673	767.316
Total	**11.933.134**	**11.648.404**	**12.073.215**	**11.868.784**	**12.809.246**	**12.978.210**

Berdasarkan rekapitulasi data total konsumsi pada Tabel 1.1 dapat dilihat bahwa pupuk urea merupakan pupuk dengan konsumsi paling besar pada setiap tahunnya. Kondisi konsumsi pupuk dari Tabel 1.1 ditunjukkan pada grafik di Gambar 1.1. Berdasarkan Gambar 1.1 terlihat bahwa tingkat konsumsi pupuk yang diproduksi di Indonesia mulai mengalami peningkatan sejak tahun 2017 sampai dengan tahun 2019. Adanya peningkatan konsumsi pupuk di pasar domestik dan ekspor ini memberikan peluang bagi produsen–produsen pupuk di Indonesia.

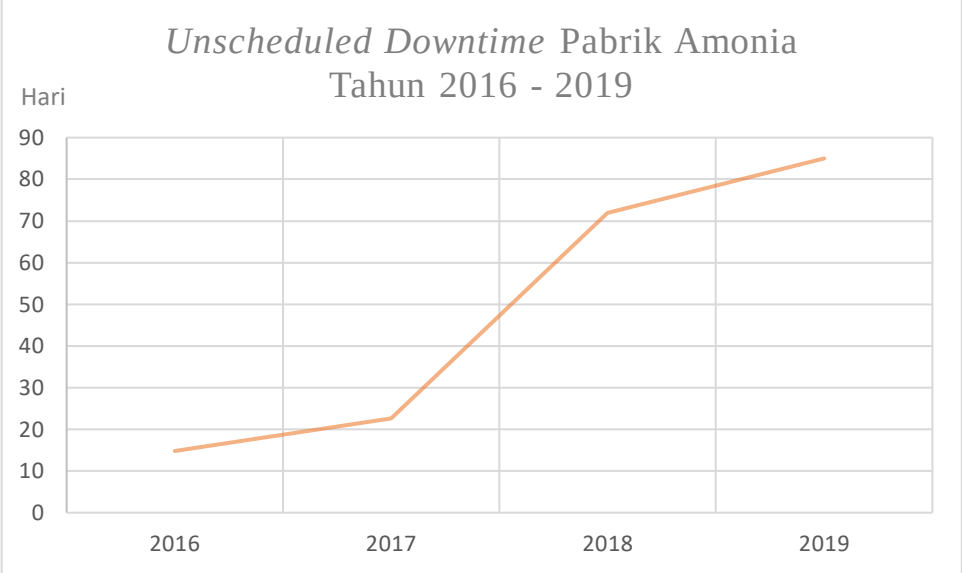


Gambar 1. 1 Grafik Konsumsi Pupuk Domestik dan Ekspor 2014 - 2019

PT Petrokimia Gresik merupakan salah satu produsen pupuk terlengkap di Indonesia yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur. Perusahaan ini pada awalnya bernama Proyek Petrokimia Surabaya yang mulai beroperasi pada tanggal 8 Desember 1964. Produk yang dihasilkan PT Petrokimia Gresik adalah berbagai jenis pupuk, non pupuk, dan bahan kimia lain untuk menunjang kebutuhan agroindustri. Amonia merupakan salah satu produk yang diproduksi oleh PT Petrokimia Gresik. Sebagian besar amonia yang diproduksi akan menjadi bahan baku dari produksi pupuk urea, sedangkan sisanya dijual dalam bentuk curah. Keberlangsungan proses produksi amonia menjadi sangat penting bagi keberlanjutan proses produksi dari pupuk urea yang memiliki tingkat konsumsi terbesar di antara produk–produk pupuk yang lain (Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia, 2020). Keberlangsungan proses produksi amonia ini harus didukung dengan tingkat keandalan yang baik dari sistem produksinya. Hal ini dikarenakan produksi amonia tergolong ke dalam jenis produksi kontinu dimana proses produksi memakan waktu *set up* yang besar dan akan beroperasi terus-menerus.

Jika terdapat satu atau lebih *equipment* kritis yang mengalami *fail*, maka pabrik harus menghentikan proses produksi untuk melakukan tindakan pada

equipment tersebut. Gambar 1.2 merupakan grafik *unscheduled downtime* dari Pabrik Amonia yang disebabkan oleh *equipment failure*.



Gambar 1. 2 Grafik *Unscheduled Downtime* Pabrik Amonia 1A Tahun 2016 – 2019

Terjadinya *unscheduled downtime* akan menyebabkan kerugian dalam proses produksi amonia karena waktu produksi terpotong dan juga besarnya biaya untuk memulai proses produksi. Masalah terkait keandalan atau *reliability equipment* ini juga tergolong dalam sepuluh *Top High Risk* pada PT Petrokimia Gresik (PT Petrokimia Gresik, 2018).

Reliability atau keandalan didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem untuk menjalankan fungsinya dalam suatu kondisi dan interval waktu yang telah ditentukan (Trivedi & Bobbio, 2017). *Reliability* merupakan salah satu dari empat atribut *dependability* yang umum digunakan untuk mengamati sekaligus mengontrol kinerja suatu sistem. Persoalan terkait *reliability* menjadi semakin penting untuk diperhatikan. Hal ini dikarenakan peningkatan kecanggihan dari sistem–sistem yang ada akan semakin menyebabkan kerentanan pada sistem-sistem tersebut untuk mengalami *fault* (Kim & Kim, 2017).

Evaluasi terkait *reliability* pada sistem produksi amonia Pabrik 1A dilakukan dengan perhitungan *overall plant effectiveness* (OPE). Perhitungan OPE ini dilakukan dengan formula $OPE = PRI \times AU \times Q$, di mana AU merupakan *asset utilization* yang didapatkan dari hasil produksi aktual dibagi dengan kapasitas produksi, Q adalah *quality rate* (%), dan PRI merupakan *Plant Reliability Index*

yang didapatkan dengan formula $PRI = \frac{1-\%\ Unscheduled\ Shutdown}{Jumlah\ hari\ pd\ bulan\ terkait - Jumlah\ hari\ Scheduled\ Down\ Time}$. Berdasarkan formula tersebut dapat dilihat bahwa evaluasi *reliability* yang dilakukan ini hanya mencakup *reliability* pabrik secara umum. Evaluasi ini belum mempertimbangkan perhitungan *reliability* dari subsistem dan *equipment* dalam sistem produksi. Hal ini belum sesuai dengan pendekatan ideal untuk dapat melakukan evaluasi terhadap *reliability* suatu sistem.

Menurut Alkaff & Qomarudin (2020), pendekatan ideal untuk melakukan evaluasi terhadap *reliability* suatu sistem adalah dengan mengekspresikan fungsi *reliability* sistem sebagai fungsi dari *reliability equipment-equipment*nya secara matematis. Evaluasi ini dapat dilakukan dengan membagi objek amatan dalam beberapa hierarki agar perhitungan menjadi lebih sederhana. Level hierarki paling tinggi adalah sistem dan di bawahnya berturut-turut subsistem dan *equipment* (Daellenbach, et al., 2012). Penentuan jumlah level hierarki ini tergantung pada *interest* dari pengamat sistem (Daellenbach, et al., 2012). Pada proses produksi amonia di PT Petrokimia Gresik level sistem diterjemahkan sebagai sistem produksi amonia Pabrik 1A secara umum, level subsistem diterjemahkan sebagai subsistem dari proses produksi amonia seperti terdapat pada Tabel 3.1., dan level *equipment* diterjemahkan sebagai *equipment* yang digunakan dalam proses yang berlangsung pada subsistem produksi. Ardakan et al. (2017) menyatakan bahwa akan jauh lebih baik menggunakan *reliability function* dibandingkan dengan *reliability value* dalam proses analisis *reliability* sistem.

Beberapa formula untuk melakukan evaluasi *reliability* sistem dari hasil fungsi *reliability* subsistem dan *equipment-equipment*nya telah banyak dibahas di berbagai buku atau jurnal seperti pada Dhillon (2006), Trivedi and Bobbio (2017), dan Kolowrocki (2014). Namun hal tersebut bukanlah hal yang mudah. Terlebih jika sistem memiliki kompleksitas struktur yang tinggi dan distribusi *time to failure* yang berbeda untuk masing-masing *equipment* penyusun. Hal tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan langkah manual atau dengan bantuan *software* yang telah tersedia. Dalam banyak kasus hal ini akan memerlukan proses kalkulasi yang panjang dan rumit sehingga dipertimbangkan untuk menggunakan pendekatan *phase–type distribution.*

Phase-type distribution merupakan distribusi yang sering digunakan untuk memodelkan proses stokastik di berbagai bidang seperti pada bidang manajemen risiko, sistem kesehatan, dan lain–lain. Distribusi ini juga telah terbukti dapat digunakan dalam memodelkan masalah terkait *reliability* pada sistem dengan struktur–struktur *reliability block diagram* (RBD) dasar seperti seri, paralel, *K-out-of-N, Standby System,* dan sistem yang memiliki struktur *Perfect/Imperfect Switch* (Alkaff & Qomarudin, 2020).

Terdapat beberapa keuntungan lain dari penggunaan *phase-type distribution* dalam memodelkan *reliability*. Pertama, distribusi ini dapat digunakan sebagai model pengganti untuk tipe distribusi *constant failure rate* (CFR), *increasing failure rate* (IFR), *decreasing failure rate* (DFR), dan *bathup failure rate* (BFR) (Trivedi & Bobbio, 2017). Kedua, distribusi ini memiliki *closure properties.* Adanya *closure properties* ini mengakibatkan distribusi *phase-type* akan tetap berada pada keadaan aslinya walaupun telah melewati operasi *mixtures,* konvolusi, dan pembentukan dalam sistem. Hal ini berguna untuk mengekspresikan fungsi *reliability* sistem dilihat dari fungsi *reliability equipment-equipment*nya (Assaf & Levikson, 1982). Ketiga, distribusi ini dapat mengurangi kebutuhan untuk melakukan integrasi numerik dan menggantinya dengan menghasilkan *closed form solution* sederhana dalam bentuk ekspresi aljabar untuk menemukan parameter-paremeter dari banyak sistem stokastik (Neuts, 1994). Dengan itu maka perhitungan *mean time to failure* atau MTTF dapat disederhanakan. Keempat, distribusi ini dapat diaplikasikan untuk sistem *multi-state* yang memiliki *equipment multi-state* dimana orde matriks dari *phase-type distribution* merepresentasikan banyaknya level dari *good condition* suatu sistem atau *equipment* sebelum mengalami *fail* (Alkaff & Qomarudin, 2020). Empat keuntungan tersebut tentu akan berguna dalam mempermudah pemodelan *reliability* pada sistem produksi amonia Pabrik 1A PT Petrokimia Gresik.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana memodelkan *reliability function* pada subsistem dan *equipment* dari sistem produksi amonia Pabrik 1A PT Petrokimia Gresik ke dalam *phase–type*

distribution. Pemodelan ini digunakan untuk menemukan *reliability function* dari sistem yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk kepentingan peningkatan keandalan dari sistem produksi amonia.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dengan adanya penelitian ini antara lain:

1. Menyusun *reliability block diagram* (RBD) dan matriks distribusi *phase-type* dari *equipment* dan subsistem pada sistem produksi amatan untuk mendapatkan keandalan sistem dalam bentuk fungsi
2. Memberikan rekomendasi skenario peningkatan *reliability* sistem dengan melakukan analisis terhadap sistem nyata untuk peningkatan *reliability* sistem.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dengan adanya penelitian ini antara lain:

1. Perusahaan mendapatkan informasi mengenai fungsi *reliability* dari sistem, subsistem, dan *equipment* produksinya secara lebih mendetail.
2. Perusahaan dapat memanfaatkan perhitungan fungsi *reliability* tersebut untuk menjadi dasar melakukan tindakan peningkatan *reliability*.
3. Mahasiswa dapat meningkatkan *skill* pemecahan masalah secara langsung terkait dengan pemodelan *reliability* pada objek amatan
4. Mahasiswa dapat menerapkan metode yang belum umum digunakan yaitu *phase-type distribution* dalam proses pemecahan masalah.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini terdiri dari batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian.

1.5.1 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini adalah:

1. Data kerusakan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data kerusakan dari tahun 2014 sampai dengan tahun 2019 sesuai dengan yang diizinkan oleh PT Petrokimia Gresik.

2. Data yang belum atau tidak merepresentasikan perilaku sistem, termasuk data yang tidak tersedia, akan menggunakan data dari *Offshore Reliability Data Handbook* (OREDA) *4th Edition* tahun 2002 (selanjutnya disebut OREDA).
3. Pemodelan dilakukan secara hierarki pada level level subsistem dan level sistem
4. Pemodelan dilakukan pada *equipment* yang tergolong sebagai bagian dari subsistem utama proses produksi amonia

1.5.2 Asumsi Penelitian

Asumsi dalam penelitian ini adalah:

1. Sistem produksi beroperasi dengan normal yaitu 24 jam waktu produksi non stop.
2. Seluruh peralatan baik yang sedang diamati atau yang nantinya akan ditambahkan atau diganti (*replace*) memiliki kondisi *as good as new*

1.6 Sistematika Penyusunan

Penelitian ini memiliki sistematika penelitian yang terdiri dari beberapa bab yaitu:

Bab 1 Pendahuluan

Bab ini menjelaskan latar belakang dilakukannya penelitian, perumusan masalah berdasarkan latar belakang permasalahan, tujuan penelitian yang ingin diperoleh, manfaat penelitian yang diharapkan, batasan dan asumsi penelitian serta sistematika penyusunan laporan.

Bab 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka yang digunakan sebagai studi literatur dari buku, jurnal maupun sumber lainnya yang dipercaya sebagai referensi dalam pengerjaan penelitian. Pada bab ini juga ditampilkan formula-formula yang akan digunakan dalam perhitungan dan kalkulasi data.

Bab 3 Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan mengenai tahapan yang digunakan dalam penelitian. Tahapan penelitian ini terbagi menjadi delapan tahapan yaitu pendefinisian elemen

permasalahan, pendeskripsian sistem yang relevan, perancangan model konseptual, perancangan model matematis, validasi model matematis, perancangan *preferred solution,* analisis *preferred solution,* serta penarikan kesimpulan dan saran.

Bab 4 Pemodelan *Reliability* Sistem

Bab ini menjelaskan deskripsi sistem produksi amonia, *fitting* distribusi *time to failure equipment,* dan perhitungan *reliability* sistem. Pada bab ini juga dilakukan perhitungan *importance index* guna mengetahui derajat kepentingan dari subsistem dan

Bab 5 Analisis Rancangan Lini Produksi

Bab ini memaparkan hasil analisis perhitungn yang telah dilakukan pada Bab 4. Analisis dilakukan pada penggunaan metode *phase-type,* hasil pemodelan *reliability, subsistem* dan *equipment* kritis, serta skenario perbaikan.

Bab 6 Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan hasil penelitian sebagai tujuan dari penelitian. Bab ini juga menjelaskan saran yang diberikan sebagai rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan menjelaskan teori–teori yang menjadi landasan dalam melakukan penelitian ini. Teori–teori yang digunakan antara lain mengenai konsep sistem, pemodelan sistem, metodologi *Hard OR*, konsep *dependability*, evaluasi *reliability*, *reliability block diagram*, *continuous time markov chain*, *phase-type distribution*, *closure properties phase-type distribution*, *improving reliability*, serta teori–teori dari beberapa penelitian sebelumnya untuk mentransformasi fungsi *reliability* ke dalam *phase–type distribution.*

2.1 Sistem

2.1.1 Definisi dan Konsep Sistem

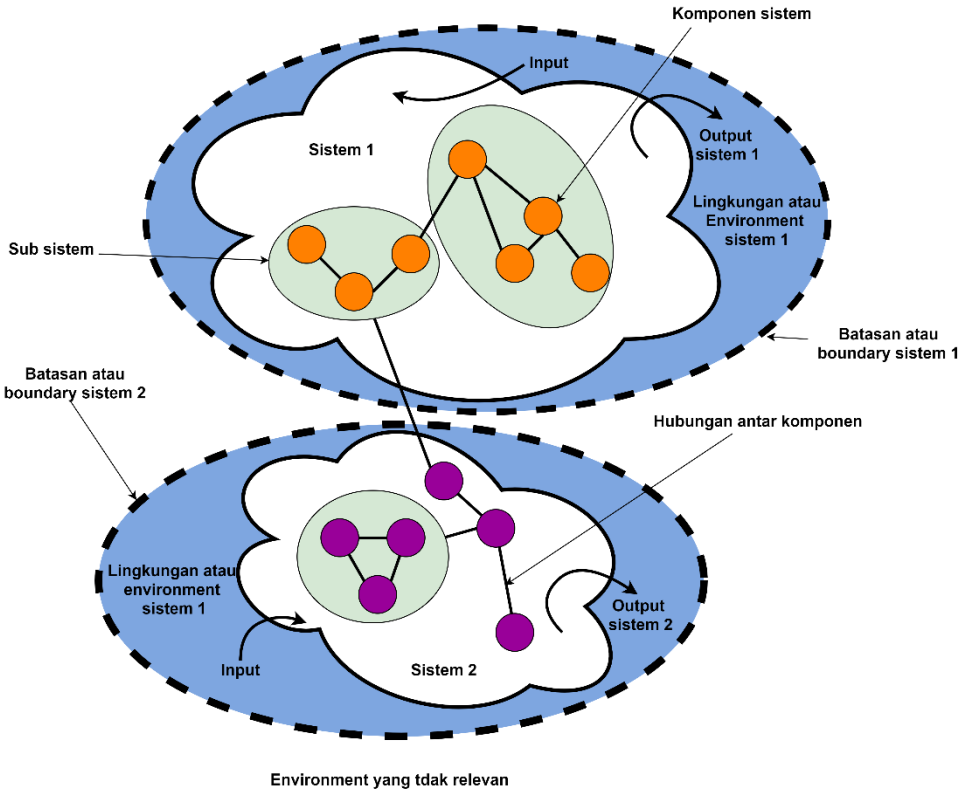
Konsep pertama yang akan dibahas adalah terkait dengan konsep sistem. Istilah "sistem" memiliki beberapa penjabaran sebagai (Daellenbach, et al., 2012):

1. Sistem merupakan suatu kumpulan *equipment* yang terorganisasi yaitu memiliki hubungan saling terkait di antara *equipment–equipment* tersebut.
2. Terdapat hal yang harus dilakukan oleh suatu sistem agar sistem memiliki sifat–sifat yang unik (*unique behaviours*).
3. Setiap *equipment* berkontribusi dalam membentuk sifat–sifat dari sistem dan sifat dari *equipment* tersebut juga akan terpengaruh oleh perannya sebagai bagian dari sistem tersebut (sebuah *equipment* yang membawa pengaruh independen tetapi tidak terpengaruh oleh *behaviours* dari sistem disebut dengan *input).* Sifat atau *behaviour* dari sistem akan berubah apabila terdapat minimal satu *equipment* yang diganti atau dihilangkan.
4. Kelompok dari *equipment–equipment* dalam sistem yang memiliki karakteristik ke - satu (1), dua (2), dan tiga (3) dapat disebut juga sebagai subsistem.

5. Sebuah sistem akan berada dalam sebuah lingkungan atau *environment* dimana lingkungan tersebuat akan menyediakan *input* bagi sistem serta menerima *output* dari sistem.
6. Sistem seringkali diidentifikasi menjadi sesuatu yang dapat diteliti untuk tujuan tertentu.

2.1.2 Unsur–unsur dalam Sistem

Unsur–unsur paling kritis dalam sebuah sistem antara lain *equipment-equipment* dalam sistem, hubungan antar *equipment*, aktifitas, lingkungan yang relevan dari suatu sistem, *input* dari *environment*, *output* yang akan diterima oleh *environment*, serta kepentingan pengamat sistem (Daellenbach, et al., 2012). Situasi dalam sebuah sistem dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Unsur-unsur yang Terdapat dalam Sistem

Unsur kritis pertama yang terdapat dalam sebuah sistem yaitu *equipment*. *Equipment* dari sebuah sistem tidak harus berupa hal–hal fisik. Namun juga bisa berupa hal–hal abstrak seperti informasi, variabel numerik seperti total biaya, tingkat ketercapaian, dan hubungan antara hal–hal fisik dan non–fisik.

Unsur kritis yang kedua yaitu hubungan antar *equipment* dalam sistem. Hubungan antar *equipment* dalam sistem dapat berupa hubungan satu arah maupun

hubungan timbal balik. Jika suatu sistem meiliki banyak hubungan timbal balik antar *equipment*nya makan hal tersebut akan meningkatkan kompleksitas dari perilaku sistem.

Unsur kritis yang ketiga yaitu aktifitas dari sistem tersebut. Aktifitas sistem ini merupakan hal yang paling sering diminati untuk diamati oleh pembuat keputusan. Perilaku sistem atau *system behaviour* dari suatu sistem juga berasal dari adanya aktifitas yang dilakukan oleh sistem. *System behaviours* ini terdiri dari proses transformasi *input* menjadi *output*. *Behaviour* atau sifat–sifat dari suatu sistem merupakan hal utama yang akan diteliti bagi pengamat suatu sistem. *Behaviour* dapat dideskripsikan sebagai proses perubahan karakteristik, properti, atau atribut dari suatu *equipment* dalam sistem. Sebuah properti dari suatu sistem yang hanya muncul dari adanya interaksi gabungan antar *equipment* dalam sebuah sistem disebut sebagai *emergent properties.* Karakteristik, properti, atau atribut ini dapat disebut juga sebagai *state variables* atau variabel status. *State variable* dari sebuah sistem dapat berupa nilai numerik (misalnya: kecepatan, jumlah, perbandingan, dll) atau sebagai kategori tertentu (misalnya: buka, tutup, dll). *State variable* dalam suatu sistem dapat mengalami perubahan dalam dua kemungkinan yaitu:

1. Merupakan hasil dari adanya *input* yang masuk ke dalam sistem yang berasal dari pengamat atau orang yang ingin mencoba mempengaruhi *behaviour* dari sistem; atau
2. Merupakan konsekuensi dari adanya aktivitas setiap *equipment* dalam sistem itu sendiri atau adanya hubungan antar *equipment* dalam sistem.

Jika sebuah sistem memiliki *behaviour* yang dapat diprediksi dalam setiap detail dari sistem maka sistem tersebut tergolong sebagai *deterministic system*. *Deterministic system* merupakan sistem yang akan memunculkan *behaviour* yang sama baik secara urutan maupun secara nilai *state* pada setiap *equipment*nya. Apabila suatu sistem memiliki *behaviour* yang tidak dapat diprediksi secara langsung dan tidak selalu menghasilkan behaviour yang sama maka sistem tersebut dinamakan dengan *stochastic system*. *Behaviour* dari sistem ini seringkali disebabkan oleh *input* yang acak atau stokastik.

Unsur kritis yang keempat yaitu e*nvirontment* atau lingkungan yang relevan dari sebuah sistem. *Relevant environtment* ini terdiri dari semua aspek yang mempengaruhi *system behaviour* dalam bentuk apapun. Pemisahan suatu sistem dari lingkungannya menyebabkan adanya batasan atau *boundary* dari sistem tersebut. Pemilihan batasan dalam sebuah sistem merupakan aspek yang sangat penting dalam prinsip berfikir sistem. Hal ini akan berpengaruh tidak hanya pada proses transformasi dalam sistem dan bentuk *output* yang akan dihasilkan, namun juga terkait dengan target *output* yang diinginkan serta seberapa besar konsekuensi yang akan timbul dalam pengaplikasian batasan tersebut.

Unsur kritis yang kelima yaitu *input. Input* merupakan benda fisik maupun non fisik yang akan diproses dalam suatu sistem. *Input* dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu *controllable input* dan *uncontrollable input. Controllable input* merupakan *input* yang dapat diberi pengaruh oleh pembuat keputusan, sedangkan *uncontrollable input* merupakan *input* yang tidak dapat diberi pengaruh apapun oleh pembuat keputusan. Kontrol yang dilakukan pembuat keputusan terhadap sebuah sistem antara lain yaitu memilih nilai dari variabel keputusan, keputusan terkait banyak *resource* yang digunakan, atau keputusan tertentu apabila sebuah sistem telah mencapai suatu kondisi yang diinginkan.

Unsur kritis yang keenam yaitu *output. Output* adalah hal yang dikeluarkan oleh sistem sebagai hasil dari transformasi *input* untuk selanjutnya akan diterima oleh lingkungan. *Output* dari suatu sistem dapat barang, jasa, informasi, limbah, dan lain–lain. *Output* dari suatu sistem juga dapat berperan sebagai bentuk pengukuran kinerja atau indikator lain yang digunakan untuk mengobservasi *system behaviour*.

Unsur kritis yang terakhir dari sebuah sistem adalah *interest* atau minat dari pengambil keputusan sekaligus pengamat *system behaviour* itu sendiri. Adanya tujuan dalam proses observasi sebuah sistem akan menghasilkan pemahaman yang lebih baik terhadap *system behaviour* yang ada.

2.1.3 Situasi Permasalahan dalam Sistem

Problem situation atau situasi permasalahan merupakan kumpulan keseluruhan aspek yang dapat mempengaruhi atau membentuk masalah yang sedang menjadi perhatian pengamat. Situasi permasalahan dalam sistem dapat

diketahui dengan cara memahami enam elemen permasalahan (Daellenbach, et al., 2012). Enam elemen *problem* atau masalah tersebut yaitu (1) pembuat keputusan atau *decision maker,* (2) tujuan dari pembuat keputusan atau *decision maker's objectives,* (3) kriteria keputusan atau *decision criterion,* (4) pengukuran kinerja atau *performance measure,* (5) *input* kontrol atau tindakan alternative, dan (6) adalah konteks di mana masalah atau *problem* terjadi.

2.2 Pemodelan Sistem

Menurut *Webster's Collegiate Dictionary,* kata "model" memiliki definisi sebagai sebuah analogi yang digunakan untuk membantu memvisualisasikan sesuatu yang tidak dapat diamati secara langsung. Maka dari itu istilah pemodelan sistem dapat diartikan sebagai representasi dari semua bagian penting dari sebuah sistem. Mendeskripsikan atau memodelkan sebuah sistem terdiri dari penentuan (Daellenbach, et al., 2012):

a. *Transformation process* atau aktifitas yang dilakukan oleh sistem;
b. Batasan atau *boundary* dari sistem yaitu apa yang ada di sistem, apa saja yang menjadi minat pengamat dalam sistem, serta hal apa saja yang membentuk lingkungan dari sistem termasuk juga kepentingan yang lebih luas;
c. *Equipment* dan subsistem dari sistem yang terlibat dalam proses transformasi, hubungan antar *equipment* yang dinamis, dan hubungan antar *equipment* yang stabil atau struktur dari sistem;
d. *Uncontrollable input* yang diterima sistem dari lingkungannya dan *controllable input*; dan
e. *Output* yang dihasilkan sistem baik yang diinginkan maupun yang tidak diinginkan, direncanakan maupun tidak direncanakan, dan yang mana berperan sebagai pengukuran kinerja atau *performance measures* untuk sistem yang sedang diamati.

Selain menentukan hal–hal tersebut, terdapat enam properti yang harus dipenuhi agar sebuah model dapat dikatakan baik. Enam properti tersebut yaitu (1) *Simple* atau sederhana, (2) *Complete* atau lengkap, (3) Mudah untuk digunakan dan dikomunikasikan, (4) *Adaptive* atau adaptif, (5) Sesuai dengan situasi yang sedang

dieplajari, dan (6) menghasilkan informasi yang relevan dan sesuai untuk pengambilan keputusan.

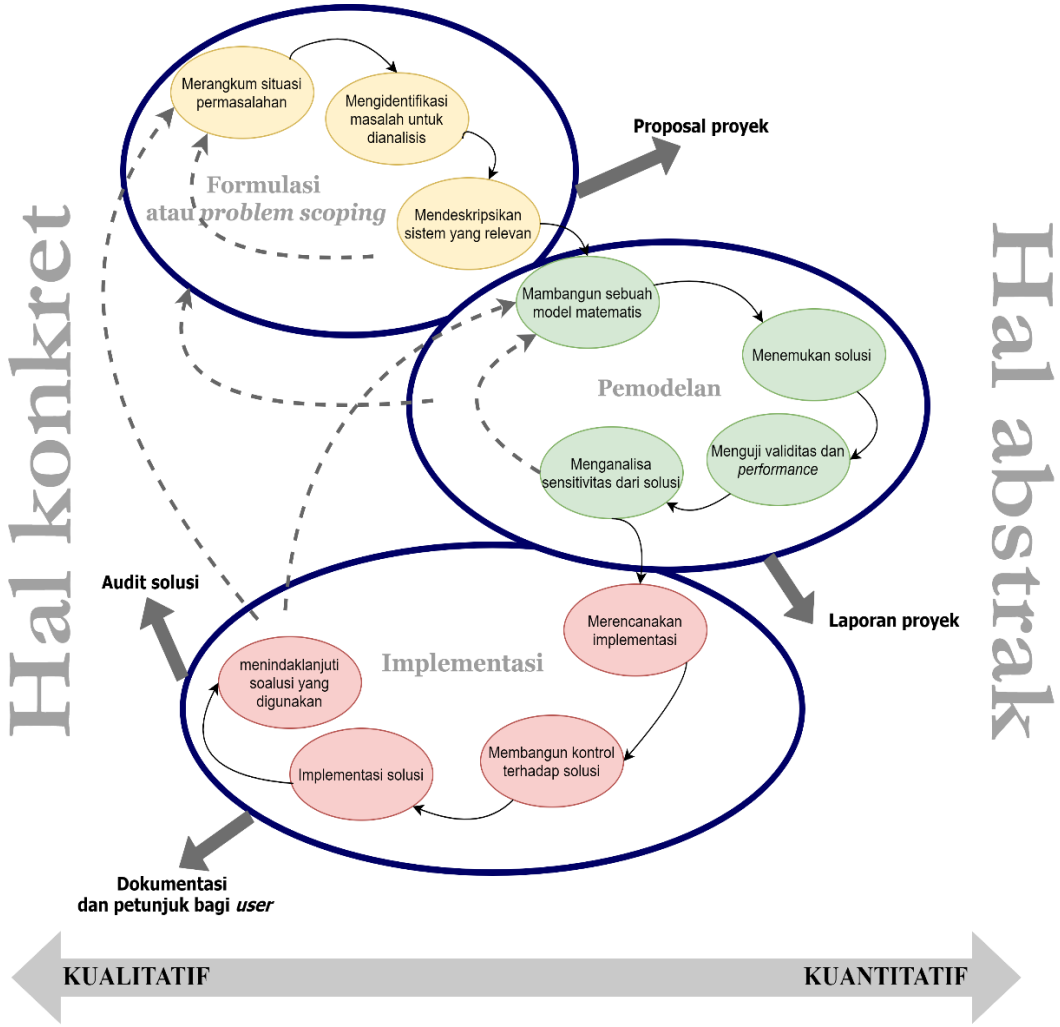
2.3 *Hard OR Methodology*

Dalam proses pemecahan masalah dalam sebuah sistem, terdapat sebuah metodologi yang dapat menjadi acuan yaitu *hard operation research methodology* atau yang selanjutnya dapat diseput sebagai *hard OR methodology* (Daellenbach, et al., 2012). Metodologi *hard OR* sendiri merupakan pengembangan lebih lanjut dari metode *Operations Research* atau penelitian operasional, *system engineering*, dan *system analysis*. *Hard OR* cocok diterapkan jika sebagian besar interaksi antara berbagai bagian sistem dapat dinyatakan dalam hal kuantitatif, seperti ekspresi matematika. Pendekatan *hard OR* dapat digunakan jika suatu masalah atau *problem* dapat memenuhi beberapa asumsi yaitu:

1. Masalah atau *problem* telah didefinisikan dengan jelas yang di dalamnya termasuk:
    a. Tujuan dari pembuat keputusan diketahui dan ada kriteria untuk memastikan kapan tujuan tersebut telah tercapai;
    b. Jika ada tujuan yang saling bertentangan, maka *trade-off* dapat ditentukan;
    c. Terdapat daftar alternatif tindakan yang ingin dilakukan, baik hanya sebagai daftar opsi maupun sebagai seperangkat variabel keputusan;
    d. *Constraint* atau hambatan dari pilihan keputusan diketahui; dan
    e. Data *input* yang dibutuhkan tersedia.
2. Masalah atau *problem* terstruktur dengan baik, yang berarti :
    a. Hubungan antar variabel dapat ditelusuri;
    b. Perilaku sistem atau *system behaviour* data ditangkap dalam model matematika; dan
    c. Upaya komputasi untuk menghasilkan solusi layak secara ekonomi.
3. Masalah atau *problem* dapat diisolasi dengan baik dari sistem yang lebih besar

4. Optimasi tujuan merupakan solusi yang ideal jika memungkinkan untuk diimplementasikan;
5. Masalah bersifat teknis dan manusai dianggap sebagai objek pasif;
6. Jika ada banyak pemangku kepentingan, konsensus dapat dicapai tentang semua aspek yang mempengaruhi seberapa baik tujuan dapat dicapai.
7. Pembuat keputusan memiliki kekuatan dan wewenang untuk mengimplementasikan 'solusi' atau menegakkan implementasi melalui rantai komando hierarkis.

Dalam proses pengaplikasian metodologi *hard OR*, terdapat tiga fase besar yang harus dilewati. Tiga fase tersebut adalah (1) *problem formulation* atau *problem scoping*, (2) *problem modelling*, dan (3) implementasi dari rekomendasi yang telah diberikan (Daellenbach, et al., 2012). Gambar 2.2 menunjukkan proses–proses yang terdapat dalam tiga fase tersebut.



Gambar 2. 2 Proses-proses yang Ada pada *Hard OR Methodology*

Gambar 2.2 menunjukkan fase pertama pada metodologi ini adalah terkait dengan formulasi masalah atau *problem scoping*. Fase ini bertujuan untuk mengidentifikasi hal yang perlu dianalisis dan mendefinisikan sistem yang relevan untuk diamati. Langkah pertama dalam fase ini yaitu merangkum atau meringkas situasi permasalahan. Langkah kedua yaitu proses mengidentifikasi masalah. Proses mengidentifikasi masalah ini dapat dilakukan dengan mendefinisikan enam elemen masalah. Langkah ketiga dalam fase ini yaitu mendefinisikan sistem yang relevan dengan mendeskripsikan unsur-unsur dalam sistem.

Fase kedua yaitu fase pemodelan. Langkah pertama dalam fase ini yaitu membangun sebuah model matematis. Langkah ini dilakukan dengan mendefinisikan sistem secara rinci dalam istilah kuantitatif. Langkah kedua dari fase ini yaitu proses penemuan solusi atas masalah. Proses ini dapat dilakukan dengan memanipulasi model untuk mengeksplorasi respons kinerja sistem terhadap

perubahan input yang terkendali dan tidak terkendali. Tujuannya adalah untuk menemukan solusi yang sesuai dengan tujuan pembuat keputusan. Langkah ketiga dari fase ini yaitu terkait dengan pengujian validitas dan *performance* atau kinerja dari model. Langkah keempat dari fase ini adalah melakukan analisis sensitivitas. Langkah ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana perubahan *uncontrollable input* atau hal-hal lain yang secara individu diubah oleh pembuat keputusan mempengaruhi solusi yang sebelumnya telah ditetapkan.

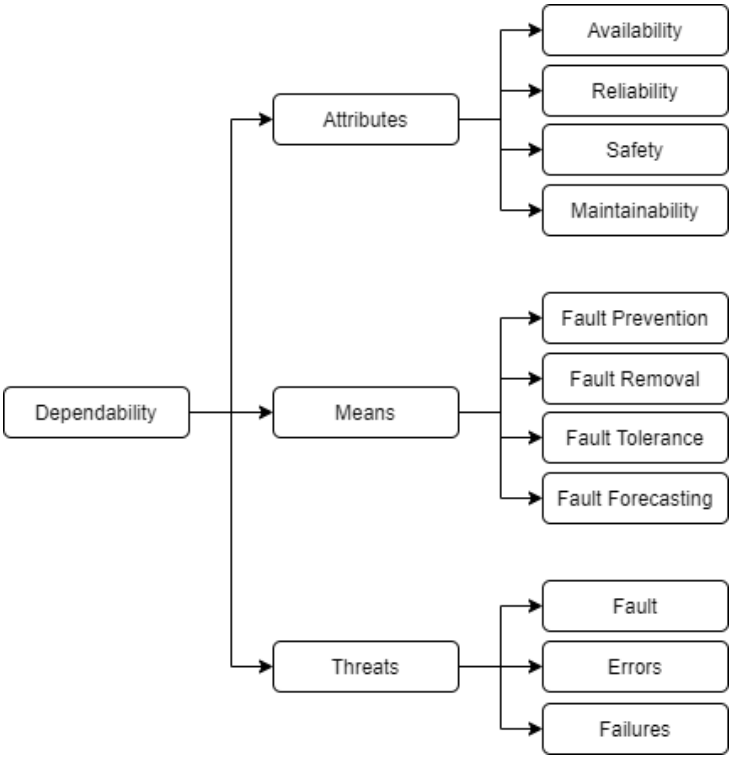
Fase ketiga yaitu fase implementasi. Langkah pertama dalam fase ini yaitu menyiapkan rencana terperinci dari semua tugas implementasi. Langkah kedua yaitu menetapkan prosedur untuk mempertahankan dan membangun kontrol atas solusi. Langkah ketiga yaitu implementasi aktual dari solusi dan mengeksekusi perubahan yang diperlukan untuk beralih dari mode operasi ke mode operasi yang diusulkan. Langkah keempat yaitu audit solusi. Langkah ini terdiri dari penetapan sejauh mana solusi memenuhi janjinya dalam hal manfaat yang dicapai dan biaya yang dikeluarkan.

2.4 Konsep *Dependability*

Dependability merupakan salah satu pengukuran bersifat kualitatif yang menggambarkan kemampuan sebuah sistem untuk dapat memenuhi spesifikasi desain dan ekspektasi pengguna sistem tesebut. Hasil pengukuran *dependability* didapatkan dari adanya karakteristik-karakteristik fisik, teknis, dan struktural pada sistem yang secara langsung maupun tidak langsung mempengaruhi performa dari sistem tersebut. *Dependability* juga dipandang sebagai sebuah konsep dasar yang menaungi adanya konsep-konsep lain seperti *reliability*, *availability*, *maintainability*, *safety*, dan *integrity*. Namun dikarenakan *dependability* merupakan sebuah hasil pengukuran yang bersifat kualitatif, maka perlu dibangun suatu teori pengukuran yang bersifat kuantitatif sehingga *dependability* dari sebuah sistem dapat dievaluasi melalui metode matematis yang tidak mengandung ambiguitas.

Berdasarkan metode perhitungan yang digunakan oleh IFIP WG10.4 yang merupakan sutau organisasi penyedia jasa layanan komputasi untuk *dependability*, nilai dari *dependability* dapat dipandang dari tiga aspek yaitu *threats* (ancaman),

attributes (atribut), dan *means* (upaya). Hubungan ketiga aspek tersebut digambarkan dalam *dependability tree* pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 *Dependability Tree* Berdasarkan IFIP WG 10.4

Aspek *threats* atau ancaman yang mempengaruhi *dependability* suatu sistem dapat dibagi menjadi tiga hal yaitu *fault* (kesalahan), *errors* (eror), dan *failures* (kegagalan). *Fault* atau kesalahan dipercaya merupakan penyebab dari terjadinya *errors* dan *failures.* Sebuah kesalahan atau *fault*, jika dilakukan secara berulang kali, maka dapat menimbulkan *error.* Sebuah eror, jika terjadi sekali ataupun berulangkali dapat memicu terjadinya kegagalan atau *failures.* Kegagalan atau *failures* yang terjadi pada sebuah *equipment* akan menjadi *fault* pada level subsistem dan seterusnya sampai kepada terjadinya *failures* di level sistem. Ini berarti untuk mencapai dan menjamin level *dependability* yang diinginkan maka harus dilakukan beberapa hal untuk mengatasi terjadinya *fault* pada sebuah sistem diantaranya yaitu melakukan pencegahan agar tidak sampai terjadi *fault* atau yang sering disebut sebagai istilah *fault prevention* atau *fault avoidance.* Aktivitas yang dilakukan untuk dapat menghasilkan *fault prevention* yaitu mendesain sistem secara teliti dan detail agar dapat meminimalkan kemungkinan terjadinya *fault.*

Kegiatan selanjutnya yang dapat dilakukan untuk mengatasi adanya *fault* pada sebuah sistem adalah dengan melakukan pencarian dan perbaikan akan adanya kemungkinan terjadinya *fault*, baik saat proses uji coba atau *testing* maupun saat proses operasi berjalan. Hal ini disebut dengan istilah *fault removal*. Selain melakukan aktivitas *fault prevention* dan *fault removal*, hal lain yang dapat diaplikasikan yaitu terkait dengan *fault tolerance*. *Fault tolerance* merupakan langkah-langkah yang dapat dilakukan untuk memastikan sistem masih dapat berjalan sesuai dengan fungsinya walaupun terdapat adanya *failures* pada *equipment* atau subsistem. Teknik-teknik yang termasuk ke dalam konsep *fault tolerance* antara lain mengenai *redundancy* yaitu dapat berupa menggunakan lebih banyak *equipment* daripada yang seharusnya dibutuhkan (*massive redundancy*), mengulangi proses operasi (*time redundancy*), atau menggunakan kapasitas *bits* yang lebih banyak daripada yang seharusnya dibutuhkan (*information redundancy*). Pada akhirnya, langkah terakhir yang dapat digunakan untuk mengatasi adanya *fault* adalah dengan *fault forecasting* yaitu proses yang bertujuan untuk memprediksi kemungkinan terjadinya *fault/errors/failures* dalam sebuah sistem. *Fault forecasting* ini dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan pada atribut-atribut *dependability* terkait. Terdapat tiga macam atribut *dependability* utama yang dapat digunakan sebagai input awal untuk melakukan prediksi terjadinya *fault/errors/failures* pada sebuah sistem. Tiga macam atribut tersebut adalah *reliability, availability,* dan *maintainability.*

Reliability atau keandalan merupakan istilah yang menggambarkan tentang kemampuan suatu sistem/subsistem/*equipment* untuk melakukan fungsinya sesuai dengan yang dibutuhkan dalam kondisi tertentu untuk interval waktu tertentu pula. *Reliability* juga sering dijabarkan sebagai pengukuran terkait kontinuitas *equipment* untuk menjalankan performa yang sesuai. *Availability* merupakan istilah terkait kemampuan suatu sistem untuk dapat berada dalam kondisi mampu menjalankan fungsinya dalam kondisi dan waktu tertentu, atau setelah waktu yang ditentukan berlalu, atau pada intinya *availability* merupakan tingkat kesiapan sistem untuk menjalankan fungsinya dengan semestinya. *Maintainability* merupakan istilah yang digunakan untuk menjelaskan kemampuan suatu sistem untuk dapat bertahan/ dikembalikan ke kondisi awal untuk dapat terus melakukan fungsinya pada

pemakaian dan perawatan yang normal. *Maintainability* juga dapat diartikan sebagai kemampuan suatu sistem untuk dapat menjalani suatu perbaikan atau modifikasi. Perbedaan mendasar antara *reliability* dan *availability* adalah bahwa *reliability* merupakan probabilitas sistem terbebas dari terjadinya *fault* selama *interval* waktu tertentu sedangkan *availability* merupakan probabilitas sistem terbebas dari adanya *fault* pada sebuah waktu instan yang ditentukan.

2.5 Evaluasi *Reliability*

Terdapat dua macam cara untuk melakukan evaluasi terhadap *reliability* sebagai bagian dari *dependability* yaitu dengan pendekatan *measurement* dan pendekatan *modelling.* Penelitian ini akan mengacu pada evaluasi *reliability* dengan pendekatan *modelling.*

2.5.1 Model-Based Evaluation

Model-based evaluation utuk *reliability* terdiri dari dua langkah yaitu fase pemodelan dan fase solusi (Trivedi & Bobbio, 2017). Dalam fase pemodelan, pemodel menyusun simplifikasi dari kondisi nyata dengan melakukan abstraksi *behaviour* sistem yang sedang dimati secara detail. Fase kedua yaitu fase solusi dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu solusi analitis dan solusi simulatif.

Solusi analitis dilakukan dengan membangun persamaan matematis berdasarkan *behaviour* sistem yang dinamis. Pada fase solusi ini dapat dihasilkan dua jenis solusi yaitu *closed-form solution* atau hanya sekedar solusi numerik. *Closed-fom solution* dinilai lebih informatif karena dapat mendeskripsikan *behaviour* sistem sebagai sebuah fungsi dari suatu variabel. *Closed-form solution* ini juga memfasilitasi parameterisasi dan studi sensitivitas.

2.5.2 Proses Pemodelan Reliability

Secara umum proses pemodelan *reliability* terdiri dari tujuh langkah (Trivedi & Bobbio, 2017). Tujuh langkah tersebut yaitu studi sistem, penyusunan model konseptual, penerjemahan sistem ke dalam model operasional komputer, parameterisasi dari model operasional, solusi model operasional, verifikasi, validasi, dan *improvement* model, dan menggunakan model sebagai evaluasi.

Langkah pertama yaitu studi sistem yang ingin dimodelkan. Sebelum memulai aktivitas pemodelan, penting untuk menjadi akrab dengan struktur dan

fungsi sistem yang dimodelkan. Langkah ini memerlukan pemodel yang faham dengan konsep *reliability* untuk berinteraksi dengan spesialis yang bekerja secara langsung dengan sistem yang ingin dimodelkan.

Langkah kedua yaitu penyusunan model konsetual. Terdapat tiga aktivitas yang mendukung proses pemodelan konseptual *reliability*. Aktivitas tersebut yaitu dekomposisi, abstraksi, dan idealisasi. Aktivitas pertama yaitu dekomposisi. Dekomposisi merupakan proses membagi sistem ke dalam bagian-bagian atau *parts*. Setiap *part* dapat mewakilkan subsistem, beberapa *equipment*, atau sebuah *equipment*. Proses dekomposisi ini dilakukan dengan dua pedoman yaitu (1) bagian-bagian tersebut harus merupakan sebuah unit fisik yang dapat diidentifikasi dan dapat dengan bebas berinteraksi dan (2) distribusi *time to failure* bagian tersebut diketahui atau dapat disimpulkan dari bagian yang serupa dan data sebelumnya atau dapat diperoleh melalui pengujian dan analisis statistik. Aktivitas kedua yaitu abstraksi. Abstraksi merupakan aktivitas untuk membuang detail yang tidak penting sehingga dapat membuat model sesederhana mungkin dengan mempertahankan detail yang cukup untuk membuat analisis tetap bermakna. Abstraksi ini dilakukan dengan mengacu pada *knowledge* yang ingin dikumpulkan pemodel dari model yang dirancang. Abstraksi ini mendorong dekomposisi dan identifikasi dari interaksi relevan dan ketergantungan diantara *equipment-equipment* yang ada. Dari adanya interaksi ini dapat dilihat bagimana kerusakan suatu *equipment* mempengaruhi *equipment* lain dalam level sistem. Aktivitas yang ketiga yaitu idealisasi. Idealisasi adalah proses membebaskan kendala internal atau eksternal yang tidak penting untuk fokus pada ketergantungan yang menurut pemodel tidak dapat dihindarkan guna mengkarakterisasi sifat-sifat sistem yang ingin dipelajari.

Langkah ketiga yaitu menerjemahkan sistem ke dalam model operasional komputer. Pemilihan model operasional berorientasi pada sifat yang dihasilkan dari model konseptual.

Langkah keempat yaitu parameterisasi dari model operasional. Nilai parameter seringkali tidak diketahui dan sulit diperoleh dengan pengukuran atau estimasi. Nilai tersebut dapat tergantung pada kondisi eksternal seperti lingkungan, aplikasi, logistik, kebijakan dan manajemen pemeliharaan.

Langkah kelima yaitu perhitungan solusi dari model operasional. Perhitungan solusi sebagian ditentukan oleh model operasional, sebagian oleh pengalaman pemodel dan sebagian oleh ketersediaan *software package*.

Langkah keenam yaitu terkait validasi, dan *improvement* model. Proses validasi dapat dilakukan dengan tiga langkah yaitu:

a. *Face validation*, yaitu melakukan diskusi dengan *experts* apakah model konseptual dan penerjemahannya ke dalam model operasional telah mencerminkan kondisi pada sistem nyata. Setelah melakukan langkah ini, diharapkan akan menghasilkan model dengan ketelitian tinggi.
b. *Input-output validation*, yaitu mengonfirmasi bahwa data *input* yang digunakan akurat, lengkap, jelas dan cocok untuk menggambarkan *real system.* Sama hal nya pada *output*, hal tersebut akan lebih baik bila dibandingkan dengan hasil pada *real system.*
c. *Validation of model assumption,* yaitu membuktikan secara teoritis bahwa asumsi yang digunakan dalam model valid.

Langkah terakhir yaitu menggunakan model sebagai evaluasi. Tujuan akhir dari proses pemodelan adalah untuk memungkinkan evaluasi terperinci dari karakteristik *dependability* sistem. Langkah terakhir dalam proses pemodelan ditujukan untuk memfasilitasi ini. Model yang dikembangkan dengan baik, diverifikasi, dan divalidasi sangat cocok untuk mempelajari berbagai variasi dan *trade-off* untuk alternatif desain sistem.

2.6 *Improving Reliability*

Terdapat tiga metode yang dapat dilakukan untuk meningkatkan keandalan (Trivedi & Bobbio, 2017). Tiga metode tersebut yaitu *fault avoidance* (atau *fault pevention*), *fault removal*, dan *fault tolerance*. *Fault avoidance* digunakan untuk mempertahankan produk dalam kualitas tinggi. *Fault removal* dilakukan berdasarkan pada pengujian atau *testing* dalam sistem secara luas. Dimungkinkan juga untuk menghindari atau menunda kegagalan sistem dengan cara pemeliharaan preventif pada unit memiliki perilaku IFR. *Fault tolerance* dilakukan dengan penggunaan redundansi. Redundansi adalah metode umum yang digunakan untuk

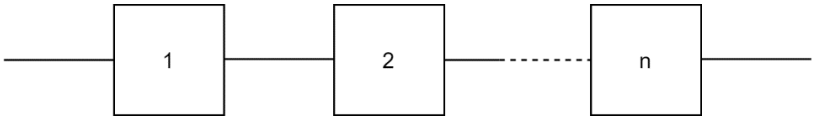
mencapai toleransi kesalahan dan keandalan tinggi berikutnya dalam sistem (Trivedi & Bobbio, 2017). Redundansi dapat dilakukan dengan menambah *equipment* lebih dari yang dibutuhkan (*massive redundancy*), mengulangi sebuah operasi (*time redundancy),* atau menggunakan *bits* lebih banyak dari yang dibutuhkan (*information redundancy).*

2.7 *Reliability Block Diagram*

Metode *reliability block diagram* (RBD) dijelaskan secara luas dalam standar internasional IEC 1078 sebagai representasi dari kinerja keandalan sistem. RBD menunjukkan koneksi logis antar *equipment* yang diperlukan untuk keberhasilan sistem. *Equipment* yang dimaksud ini terdiri dari subsistem dan *equipment* pada proses produksi amonia.

a. *Series System*

Suatu sistem dikatakan memiliki konfigurasi serial ketika sistem tersebut dapat beroperasi saat dan hanya saat semua *equipment*nya dapat beroperasi dengan baik. Sebaliknya, sebuah *equipment* dikatakan memiliki posisi serial dalam sebuah sistem jika dan hanya jika sistem tersebut akan mati ketika *equipment* tersebut mati atau tidak beroperasi (Dhillon, 2006). Gambar 2.4 merupakan contoh *block diagram* untuk sistem yang memiliki konfigurasi seri:



Gambar 2. 4 *Block Diagram* Konfigurasi Seri n-Unit

Berdasarkan Dhillon (2006), *reliability* dari sistem dengan konfigurasi seri diekspresikan sebagai:

$$R_{sys} = P(E_1 E_2 \dots E_n) \quad (1)$$

di mana E_j melambangkan operasi yang dapat berjalan sukses dari unit j untuk $j = 1,2,..,n$; R_{sys} merupakan nilai *reliability* dari sistem dengan konfigurasi serial; dan $P(E_1 E_2 \dots E_n)$ adalah probabilitas terjadinya kejadian $E_1 E_2 \dots E_n$. Kemudian untuk kegagalan unit atau *equipment* yang terjadi secara independen, maka Persamaan (1) dapat diubah menjadi:

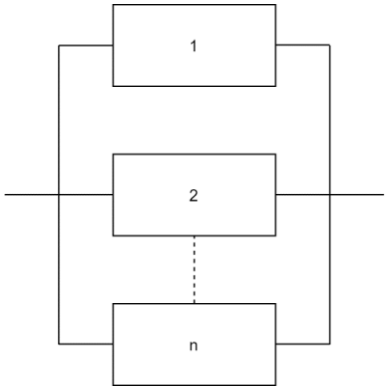
$$R_{sys} = P(E_1)P(E_2) \dots P(E_n) \quad (2)$$

di mana $P(E_j)$ adalah nilai probabilitas terjadinya kejadian E_j dengan $j = 1,2,..,n$. Berdasarkan definisi dari $P(E_j)$ dapat diartikan juga bahwa $P(E_j)$ merupakan nilai *reliability* dari unit j. Jika $P(E_j) = R_j$ untuk $j = 1,2,..,n$, maka Persamaan (2) akan menjadi sebagai

$$R_{sys} = R_1R_2 \dots R_n) \quad (3)$$

b. *Parallel System*

Suatu sistem dikatakan memiliki konfigurasi paralel ketika sistem tersebut dapat beroperasi ketika minimal terdapat satu *equipment* yang dapat beroperasi dengan baik diantara n *equipment* yang dioperasikan secara serentak. Sebaliknya, sebuah *equipment* dikatakan memiliki posisi paralel dalam sebuah sistem jika *equipment* tersebut beroperasi serentak dengan n *equipment* lain dan apabila *equipment* tersebut tidak dapat beroperasi, sistem masih dapat berjalan dengan minimal satu *equipment* lain dapat beroperasi. Gambar 2.5 merupakan contoh *block diagram* untuk sistem yang memiliki konfigurasi paralel:



Gambar 2. 5 *Block Diagram* Konfigurasi Paralel n-Unit

Berdasarkan Dhillon (2006), *reliability* dari sistem dengan konfigurasi serial diekspresikan sebagai:

$$F_{sys} = P(\bar{E}_1\bar{E}_2 \dots \bar{E}_n) \quad (4)$$

di mana $\bar{E}_j$ melambangkan kejadian *failure* pada unit j untuk $j = 1,2,..,n$; F_{sys} merupakan nilai probabilitas *failure* dari sistem dengan konfigurasi paralel; dan $P(\bar{E}_1\bar{E}_2 \dots \bar{E}_n)$ adalah probabilitas terjadinya kejadian $\bar{E}_1\bar{E}_2 \dots \bar{E}_n$. Kemudian untuk kegagalan unit atau *equipment* yang terjadi secara independen, maka Persamaan (4) dapat diubah menjadi:

$$F_{sys} = P(\bar{E}_1)P(\bar{E}_2) \dots P(\bar{E}_n) \quad (5)$$

di mana $P(\bar{E}_j)$ adalah nilai probabilitas terjadinya kejadian $\bar{E}_j$ dengan $j = 1,2,..,n$. Jika $P(\bar{E}_j)$ = F_j untuk $j = 1,2,..,n$, maka Persamaan (5) akan menjadi:

$$F_{sys} = F_1F_2 \dots F_n) \quad (6)$$

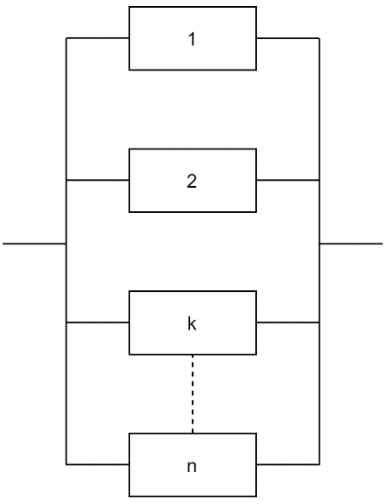
di mana F_j merupakan probabilitas terjadinya *failure* pada unit j. Dengan mempertimbangkan Persamaan (6) maka didapatkan bahwa nilai *reliability* dari sistem yang memiliki konfigurasi parallel adalah sebagai:

$$1 - R_{sys} = (1 - R_1)(1 - R_2) \dots (1 - R_n) \quad (7)$$

$$R_{sys} = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - R_i) \quad (8)$$

c. *K-Out-of-N System*

Suatu sistem dapat dikategorikan memiliki konfigurasi *k-out-of-n* jika sistem tersusun dari total *n* unit yang aktif dan dapat berjalan dengan minimal *k* unit yang dapat beroperasi. Gambar 2.6 menampilkan *block diagram* sistem dengan konfigurasi *k-out-of-n.*



Gambar 2. 6 Block *Diagram* Konfigurasi *K-Out-of-N* Unit

Gambar 2.6 bahwa *block diagram K-Out-of-N* hampir menyerupai *block diagram* dari konfigurasi paralel. Dhillon (2006) menuliskan bahwa konfigurasi seri dan paralel merupakan kasus unik dari konfigurasi *k-out-of-n* dimana untuk seri nilai k sama besarnya dengan nilai n, kemudian untuk konfigurasi paralel memiliki nilai $k = 1$. Untuk n unit yang independen serta identik, maka formula

perhitungan *reliability* untuk sistem dengan konfigurasi *k-out-of-n* adalah menggunakan prinsip distribusi binomial sebagai:

$$R_{k/n} = \sum_{j=k}^{n} \binom{n}{j} R^j (1-R)^{n-j} \tag{9}$$

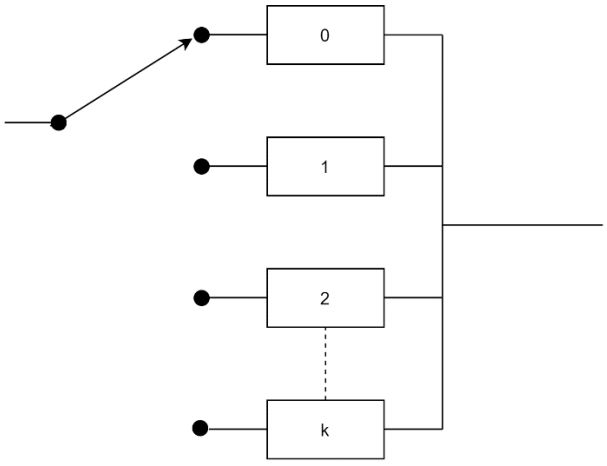
dengan

$$\binom{n}{j} = \frac{n!}{(n-j)!\,j!} \tag{10}$$

di mana $R_{k/n}$ merupakan nilai *reliability* sistem dengan konfigurasi *k-out-of-n* dan R adalah nilai *reliability* pada setiap unit dalam konfigurasi tersebut.

d. *Stand By System*

Konfigurasi ini merupakan salah satu konfigurasi yang tidak kalah penting untuk dipahami selain tiga konfigurasi sebelumnya. Suatu sistem dikatakan memiliki konfigurasi ini apabila sistem tersebut memiliki k unit yang dijaga untuk tetap berada pada *standby mode* atau tidak beroperasi. Lebih spesifiknya, sistem ini terdiri dari $k + 1$ unit, dan hanya mengoperasikan satu unit dari semua unit yang ada untuk menjalankan sistem tersebut. Ketika satu unit tersebut mengalami *failure* atau ketika mekanisme *switching* mendeteksi adanya tanda-tanda terjadinya *failure*, maka unit tersebut akan digantikan oleh unit lain yang semula berada pada *standby mode*. Gambar 2.7 merupakan *block diagram* dari konfigurasi *stand by system*:



Gambar 2. ***7 Block Diagram*** **dari** ***Standby System*** **dengan Satu Unit Beroperasi dan K Unit** ***Standby***

Jika Gambar 2.7 merepresentasikan unit identik independen serta mempertimbangkan mekanisme *switching*, deteksi, *standby* units, dan *time-dependent failure rate*, maka Dhillon (2006) menentukan formula untuk menghitung *reliability standby system* sebagai:

$$R_{sys}(t) = \sum_{j=0}^{K} \frac{\left[\left[\int_0^t \lambda(t)dt\right]^j e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}\right]}{j!} \tag{11}$$

di mana $R_{sys}(t)$ merupakan nilai *reliability standby system* pada waktu t dan $\lambda(t)$ adalah *time dependent failure rate* dari unit identik di sistem tersebut.

2.8 *Continuous-Time Markov Chain*

Pendekatan evaluasi *reliability* menggunakan Rantai Markov merupakan salah satu yang banyak digunakan (Dhillon, 2006). *Continuous-time Markov chain* (CTMC) merupakan salah satu jenis pemodelan untuk proses stokastik dengan nilai *state space* yang diskrit dimana waktu perubahan dari *state* satu ke *state* selanjutnya mengikuti distribusi eksponensial (Buchholz, et al., 2014). Misalkan banyaknya *state* dinotasikan sebagai S, kemudian $\{X(t)\}_{t\geq 0}^{\infty}$ adalah proses stokastik dengan *state space* S dan n merupakan ukuran dari *state space* tersebut dimana n termasuk dalam *set of serial number* ($n \in N \cup \{\infty\}$), maka $\{X(t)\}_{t\geq 0}^{\infty}$ merupakan *continuous-time* Markov *chain* jika dikarakteristik oleh Markov *property*:

$$\begin{aligned} &Prob(X(t_{k+1}) = x_{k+1} \\ &|X(t_k) = x_k, \dots, X(t_0) = x_0) = Prob(X(t_{k+1}) = x_{k+1}|X(t_k) = x_k) \end{aligned} \tag{12}$$

Hal ini berlaku setiap $0 \leq t_0 \leq t_1 \leq \cdots \leq t_k \leq t_{k+1}$ dan $x_i \in S$ dan menunjukkan bahwa nilai $Prob(X(t_{k+1}))$ hanya bergangutung pada nilai x_k dan t_k tetapi tidak tergantung pada kejadian yang sebelum-sebelumnya. Probabilitas *state* pada waktu t dinotasikan sebagai:

$$p_t(j) = Prob(X(t) = j), j \in S \tag{13}$$

dengan

$$\sum_j p_t(j) = 1 \tag{14}$$

Oleh karena itu, vektor $\pi(0) = [p_0(1), p_0(2), \dots]$ merupakan probabilitas awal dari proses CTMC. Waktu transisi antar *state* berdistribusi eksponensial dengan variabel $V_1, V_2, \dots, V_i$ dengan parameter $\lambda(i)$ untuk *state* i. Setiap V_i dapat

dideskripsikan sebagai *holding time* distribusi eksponensial pada *state* i dan memiliki fungsi distribusi:

$$Prob(V_i \leq t) = 1 - e^{-\lambda(i)t}, t \geq 0 \quad (15)$$

Misalkan sebuah proses stokastik berjalan ada saat waktu t dan $X(t) = i$, maka sistem akan bertahan pada *state* i selama waktu tertentu dimana lama waktu ini ditentukan oleh distribusi eksponensial dengan parameter $\lambda(i)$ yang bernilai $0 \leq \lambda(i) < \infty$. $0 < \lambda(i) < \infty$. Sistem kemudian akan beralih ke *state* j dengan probabilitas:

$$p(i,j) = \frac{\lambda(i,j)}{\lambda(i)} \quad (16)$$

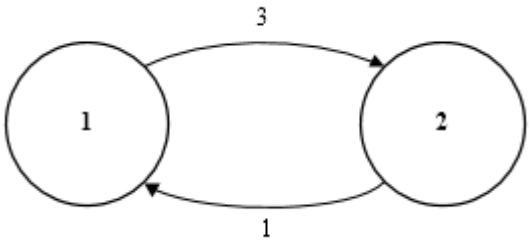
di mana $p(i,j)$ merupakan probabilitas suatu sistem beralih dari *state* i ke *state* j; $\lambda(i,j)$ merupakan laju kejadian perpindahan sistem dari *state* i ke *state* j; dan $\lambda(i)$ merupakan total rata-rata kejadian yang melibatkan *state* i di dalamnya. Kejadian probabilistik dalam CTMC dapat dinyatakan sebagai bentuk matriks $\boldsymbol{Q}(i,j)$ dengan ukuran $n \times n$ dengan *equipment*:

$$\boldsymbol{Q}(i,j) = \begin{cases} -\lambda(i) & \text{jika } i = j, \\ \lambda(i,j) & \text{jika } i \neq j \end{cases} \quad (17)$$

Matriks $\boldsymbol{Q}(i,j)$ merupakan matriks laju transisi atau dapat disebut sebagai *generator matrix*. Dikarenakan nilai $\lambda(i) \geq 0$, maka $\boldsymbol{Q}(i,i) \leq 0$ yang menandakan bahwa semua elemen pada diagonal matriks $\boldsymbol{Q}$ bernilai non positif. Kemudian apabila transisi ke beberapa *state* j dimungkinkan pada *state* i maka $\boldsymbol{Q}(i,j) > 0$, jika tidak maka $\boldsymbol{Q}(i,j) = 0$ yang menyebabkan semua elemen non-diagonal akan bernilai positif. Sehingga dari definisi tersebut dapat didapatkan persaman

$$\sum_j \boldsymbol{Q}(i,j) = 0 \quad (18)$$

Gambar 2.9 merupakan contoh diagram yang menggambarkan proses transisi antar *states* pada CTMC serta matriks transisinya.



Gambar 2. 8 Diagram Transisi antar *State* pada CTMC

$$\boldsymbol{Q} = \begin{bmatrix} -3 & 3 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

Gambar 2.9 merupakan diagram yang menggambarkan *continuous time markov chain* seperti yang telah dijabarkan sebelumnya. Kemudian matriks $\boldsymbol{Q}$ adalah matriks yang menggambarkan nilai transisi antar *states* pada proses stokastik tersebut. Nilai pada anak panah penghubung antara *state* i dan *state* j melambangkan besarnya *transition rate* dari *state* i ke *state* j.

2.9 *Phase-type Distribution*

Berangkat dari prinsip–prinsip yang ada pada *continuous time markov chain,* maka *phase-type distribution* merupakan distribusi *lifetime* atau waktu yang dibutuhkan oleh suatu sistem/*equipment X* untuk dapat masuk ke dalam *absorbing state* setelah sebelumnya melewati beberapa *transient state* (Buchholz, et al., 2014). *Transient state* yang dimaksud merupakan bagian dari proses *absorbing continuous time markov chain*. Jika *state space S* dari proses *continuous absorbing markov* $\{X(t)\}_{t\geq 0}^{\infty}$ ditentukan nilainya dan memiliki *transient states* yaitu $1,2,3,\ldots,n$ serta *absorbing state* $(n+1)$, maka dapat dituliskan matrik *infinitesimal generator* dari proses tersebut adalah sebagai (Buchholz, et al., 2014):

$$\boldsymbol{Q} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{A} & \boldsymbol{b} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} \end{bmatrix} \tag{19}$$

di mana $\boldsymbol{A}$ merupakan matriks orde n yang merupakan matriks laju tansisi antar *transient states* yang ada; $\boldsymbol{b}$ merupakan sebuah vektor $n\ x\ 1$ yang berisi intensitas transisi dari *transient state* ke *absorbing* states; Kemudian baris vektor 0 terdiri atas nilai 0 dikarenakan tidak terdapat transisi dari *absorbing state* ke *transient state;* Elemen yang tersisa dari matriks $\boldsymbol{Q}$ juga bernilai 0 yang menunjukkan *transition rate* diluar dari *absorbing state.* Melihat dari definisi mengenai $\boldsymbol{A}$, maka didapatkan

bahwa $\boldsymbol{b} = -\boldsymbol{A}\boldsymbol{u}$. Hal ini menjelaskan bahwa proses yang terjadi tidak mungkin dimulai dari *absorbing state*.

Distribusi *phase-type* dapat dinotasikan sebagai (Neuts, 1994):

$$F_X(x) = 1 - \boldsymbol{a}e^{\boldsymbol{A}x}\boldsymbol{u}_n \text{ untuk } x \geq 0 \tag{20}$$

di mana $\boldsymbol{a}$ adalah *initial state probability vector* yang merepresentasikan probabilitas bahwa proses akan dimulai dari *transient state*, $\boldsymbol{a}\boldsymbol{u} = 1$, dimana $\boldsymbol{u}$ adalah sebuah vektor dengan semua elemennya sama dengan 1. Distribusi $F_X(x)$ dikatakan memiliki *phase-type distribution* dengan representasi $(n, \boldsymbol{a}, \boldsymbol{A})$ sebagai parameternya dan $(n, \boldsymbol{a}, \boldsymbol{A})$ dikatakan sebagai representasi *phase-type* dari $F_X(x)$. Momen ke-i dari X dapat diturunkan dari Persamaan (20) sebagai:

$$E[X^i] = (-1)^i i!\left(\boldsymbol{a}\boldsymbol{A}^{-i}\boldsymbol{u}\right) \text{ untuk } i = 1, 2, \ldots \tag{21}$$

Momen pertama dari X atau $E[X]$ merupakan *expected total time* atau rata-rata lama waktu berada pada *state j* sebelum menuju *absorbing state*. Dari adanya $E[X]$, formulasi rata-rata kejadian dapat diperoleh dengan persamaan:

$$\lambda = \frac{1}{E[X]} \tag{22}$$

2.10 Perhitungan *Reliability* dalam Distribusi PH

Fungsi *reliability* suatu *equipment* dalam *phase-type distribution* dapat diperoleh dengan formulasi (Alkaff & Qomarudin, 2020):

$$R(t) = P(T > t) = 1 - F_T(t) = \boldsymbol{a}e^{\boldsymbol{A}t}\boldsymbol{u} \text{ untuk } t \geq 0 \tag{23}$$

di mana T merupakan *lifetime* dari *equipment* dalam sistem. Dari formulasi fungsi *reliability* pada Persamaan (23), *hazard function* dapat diturunkan sebagai (Alkaff & Qomarudin, 2020):

$$h(t) = -\frac{R'(t)}{R(t)} = -\boldsymbol{a}\boldsymbol{A}e^{\boldsymbol{A}t}\boldsymbol{u}(\boldsymbol{a}e^{\boldsymbol{A}t}\boldsymbol{u})^{-1} \tag{24}$$

Formula *mean time to falure* atau MTTF dalam *phase-type distribution* merupakan hasil dari momen pertama X atau $E[X]$ (Alkaff & Qomarudin, 2020). MTTF dapat diperoleh dari Persamaan (21) sebagai:

$$MTTF = E[T] = -\boldsymbol{a}\boldsymbol{A}^{-1}\boldsymbol{u} \tag{25}$$

Untuk mencegah adanya *invers* pada Persamaan (25), maka dimunculkan variabel pembantu yaitu $\boldsymbol{\beta}$ yang didefinisikan sebagai:

$$\boldsymbol{\beta} = \boldsymbol{a}\boldsymbol{A}^{-1} \quad (26)$$

$$\boldsymbol{\beta}\boldsymbol{A} = \boldsymbol{a} \quad (27)$$

Persamaan (26) kemudian disubtitusi pada Persamaan (25) maka akan menghasilkan formula MTTF yaitu:

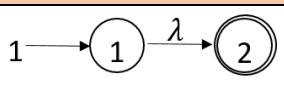
$$MTTF = -\boldsymbol{\beta}\boldsymbol{u} \quad (28)$$

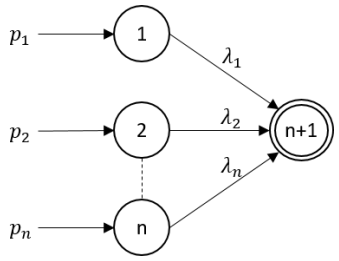
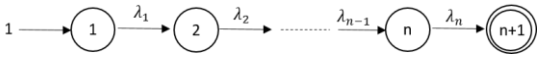
MTTF dapat ditemukan dengan menyelesaikan Persamaan (27) untuk menemukan nilai $\boldsymbol{\beta}$. Setelah nilai $\boldsymbol{\beta}$ ditemukan, maka selanjutnya dapat disubtitusikan dalam Persamaan (28).

Phase-type distribution dapat merepresentasikan beberapa hal tekait dengan *reliability* (Alkaff & Qomarudin, 2020). *Transient state* dari *phase-type distribution* merepresentasikan banyaknya level dari "*good conditions*" atau "*good states*" pada suatu *equipment* atau sistem dan *absorbing state* merepresentasikan "*failed condition*" atau "*failed state*". Transisi dari satu *good state* ke *good state* yang lain mencerminkan perubahan kondisi dari sistem atau *equipment* yang dapat disebabkan oleh adanya kerusakan atau proses penuaan. Transisi dari *good state* ke *failed state* mencerminkan kejadian *failure.* Maka dari itu waktu *absorption* sama dengan waktu menuju *failure* bagi *equipment* atau sistem. Interpretasi ini mendukung kegunaan *phase-type distribution* dalam analisis *multi-state reliability*. Selain adanya interpretasi-interpretasi tersebut, *phase-type distribution* juga mampu menangkap berbagi macam distribusi.

Distribusi yang sering digunakan dalam konteks *reliability* antara lain yaitu distribusi *constant failure rate* (CFR), *decreasing failure rate* (DFR), *increasing failure rate* (IFR), dan *bathup failure rate* (BFR). Beberapa contoh distribusi umum yang dapat direpresentasikan menjadi *phase-type distribution* secara langsung dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini (Alkaff & Qomarudin, 2020):

Tabel 2. 1 Representasi Distribusi Umum dalam *Phase-type Distribution*

No	Distribusi	Kategori	Representasi dari Fungsi *Reliability*	
1	Eksponensial (λ)	CFR	Grafik	
			Skalar	$e^{-\lambda t}$
			Matriks	n=1 $\boldsymbol{a}$=[1] $\boldsymbol{A}$=[$-\lambda$]

No	Distribusi	Kategori	Representasi dari Fungsi *Reliability*	
2	*n-stage* hiper-eksponensial (pi,λi)	DFR	Grafik	
			Skalar	$\sum_{i=1}^{n} p_i e^{-\lambda_i t}$
			Matriks	$n = n \quad \boldsymbol{a} = [p_1 \quad p_2 \quad \cdots \quad p_n]$ $\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} -\lambda_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & -\lambda_2 & \ldots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & -\lambda_n \end{bmatrix}$
3	*n-stage* hipo-eksponensial (λi)	IFR	Grafik	
			Skalar	$\sum_{i=1}^{n} \frac{e^{-\lambda_i x}}{P_i}$ dengan $P_i = \prod_{j=1, j\neq 1}^{n} (1 - \frac{\lambda_i}{\lambda_j})$
			Matriks	$n = n \quad \boldsymbol{a} = [1 \quad 0 \quad \cdots \quad 0]$ $\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} -\lambda_1 & \lambda_1 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda_2 & \ldots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & -\lambda_{n-1} & \lambda_{n-1} \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & -\lambda_n \end{bmatrix}$

Distribusi *n-stage* hipo-eksponensial (termasuk *n*-stage Erlang pada kasus khusus) dapat digunakan untuk memodelkan data *lifetime* dengan $\frac{1}{n} < CVTTF^2 < 1$, yaitu *equipment* yang memiliki *lifetime* terdistribusi IFR. Sebaliknya, distribusi hiper-eksponensial dapat digunakan untuk merepresentasikan data *lifetime* dengan $CVTTF^2 > 1$, yaitu *equipment* yang memiliki *lifetime* berdistribusi DFR. $CVTTF^2$ dapat dihitung dengan formula

$$CVTTF^2 = \left[\frac{SDTTF}{\mu TTF}\right]^2 \tag{29}$$

di mana $SDTTF$ merupakan nilai standar deviasi data data *time to failure equipment* dan μTTF merupakan nilai rata-rata *time to failure equipment*.

2.11 *Closure Properties* dari PH *distribution*

Phase-type distribution memiliki beberapa *closure properties* (Neuts, 1981). Properti tersebut menggunakan operasi aljabar matriks yang dikenal sebagi *Kronecker operations. Kronecker operations* terdiri dari *kronecker product* dan *kronecker sum* (Bellman, 1997). *Kronecker product* dari matriks $\boldsymbol{A} = [A_{ij}]$ dan $\boldsymbol{B} = [B_{ij}]$ yang berdimensi $m_1 \times m_2$ dan $n_1 \times n_2$ adalah

$$\boldsymbol{A} \otimes \boldsymbol{B} \begin{bmatrix} A_{11}\boldsymbol{B} & A_{12}\boldsymbol{B} & \dots & A_{1m2}\boldsymbol{B} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{m_1 1}\boldsymbol{B} & A_{m_1 2}\boldsymbol{B} & \dots & A_{m_1 m_2}\boldsymbol{B} \end{bmatrix} \tag{30}$$

Jika $\boldsymbol{A} = [A_{ij}]$ dan $\boldsymbol{B} = [B_{ij}]$ merupakan matriks persegi dengan dimensi n dan m, maka *Kronecker sum* $\boldsymbol{A} \oplus \boldsymbol{B}$ menghasilkan matriks dengan dengan persamaan:

$$\boldsymbol{A} \oplus \boldsymbol{B} = \boldsymbol{A} \otimes \boldsymbol{I}_n + \boldsymbol{I}_m \otimes \boldsymbol{B} \tag{31}$$

di mana $\boldsymbol{I}_n$ dan $\boldsymbol{I}_m$ merupakan matriks identitas dari orde m dan n. Properti *Kronecker operation* yang akan menjadi referensi yaitu:

$$e^{\boldsymbol{A}_1 t} \otimes e^{\boldsymbol{A}_2 t} = e^{(\boldsymbol{A}_1 \oplus \boldsymbol{A}_2)t} \tag{32}$$

Terdapat beberapa *closure properties* penting dari *phase-type distribution* dalam analisis *reliability* sistem (Neuts, 1981). Terdapat tiga teorema yang dapat digunakan dalam proses kalkulasi *reliability* dengan T_1 dan T_2 merupakan variabel acak independen non identik yang berdistribusi *phase-type* dengan representasi $(n_1, \boldsymbol{a}_1, \boldsymbol{A}_1)$ dan $(n_2, \boldsymbol{a}_2, \boldsymbol{A}_2)$ (Alkaff & Qomarudin, 2020). Tiga teorema tersebut adalah:

a. Teorema 1: Min (T_1, T_2) memiliki representasi *phase-type distribution* $(n_s, \boldsymbol{a}_s, \boldsymbol{A}_s)$ yang dihasilkan dari perhitungan:

$$n_s = n_1 n_2 \tag{33}$$

$$\boldsymbol{a}_s = \boldsymbol{a}_1 \otimes \boldsymbol{a}_2 \tag{34}$$

$$\boldsymbol{A}_s = \boldsymbol{A}_1 \oplus \boldsymbol{A}_2 \tag{35}$$

b. Teorema 2: Maks (T_1, T_2) memiliki representasi *phase-type distribution* $(n_s, \boldsymbol{a}_s, \boldsymbol{A}_s)$ yang dihasilkan dari perhitungan:

$$n_s = n_1 n_2 + n_1 + n_2 \tag{36}$$

$$\begin{aligned} \boldsymbol{a}_s &= [\boldsymbol{a}_1 \otimes \boldsymbol{a}_2, \boldsymbol{a}_2(n_2 + 1)\boldsymbol{a}_1, \boldsymbol{a}_1(n_1 + 1)\boldsymbol{a}_2] \\ &= [\boldsymbol{a}_1 \otimes \boldsymbol{a}_2, \boldsymbol{0}, \boldsymbol{0}] \end{aligned} \tag{37}$$

$$\boldsymbol{A}_s = \begin{bmatrix} \boldsymbol{A}_1 \oplus \boldsymbol{A}_2 & \boldsymbol{a}_1 \otimes \boldsymbol{a}_2 & \boldsymbol{a}_1 \otimes \boldsymbol{a}_2 \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{A_1} & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{A}_2 \end{bmatrix} \quad (38)$$

c. Teorema 3: Add (T_1, T_2) = $(T_1 + T_2)$ memiliki representasi *phase-type distribution* $(n_s, \boldsymbol{a}_s, \boldsymbol{A}_s)$ yang dihasilkan dari perhitungan:

$$n_s = n_1 + n_2 \quad (39)$$

$$\boldsymbol{a}_s = [\boldsymbol{a}_1, \boldsymbol{a}_1(n_1 + 1)\boldsymbol{a}_2] = [\boldsymbol{a}_1, 0] \quad (40)$$

$$\boldsymbol{A}_s = \begin{bmatrix} \boldsymbol{A_1} & \boldsymbol{b_1 a_2} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{A_2} \end{bmatrix} \quad (41)$$

di mana $\boldsymbol{b_i} = -\boldsymbol{A_i u}$ dan $\boldsymbol{a}_i(n_i + 1)$ adalah probabilitas kondisi dari sistem dimulai dari *absorbing state* yang sama dengan nol. Jika $\boldsymbol{A}_s$ merupakan sebuah eksponen pada fungsi *reliability*, maka $\boldsymbol{A}_1 \oplus \boldsymbol{A}_2$ merepresentasikan hasil dari gabungan fungsi *reliability* antara dua *equipment*. Jika $\boldsymbol{A}_1$dan $\boldsymbol{A}_2$ merupakan matriks *nonsingular* yaitu matriks yang memiliki invers, maka $\boldsymbol{A}_1 \oplus \boldsymbol{A}_2$ juga merupakan matriks *nonsingular*. Oleh karena itu, ketiga teorema yang telah dijelaskan akan menghasilkan matriks $\boldsymbol{A}_s$ *nonsingular.*

.

2.12 Pemodelan *Reliability* Sistem dengan PH *Distribution*

Subbab ini akan menjelaskan proses kalkulasi *reliability* berdasarkan hubungan antara *lifetime equipment* dengan *lifetime* sistem. Proses kalkulasi ini memperhatikan struktur dasar dari hubungan antar *equipment* dalam sistem yaitu seri, paralel, *K-Out-of-N*, dan *Standby System.*

Variabel T_1 dan T_2 merepresentasikan *lifetime equipment* dari suatu sistem *Lifetime* dari sistem dapat dinotasikan sebagai T_s dan *lifetime* dari *equipment* ke- i dinotasikan dengan T_i untuk $i = 1,2,..,N$ dimana n merupakan jumlah *equipment* yang terdapat dalam sistem.

2.12.1 Sistem seri

Lifetime dari sistem seri dapat dimodelkan sebagai *lifetime* minimum dari *equipment-equipment*nya sebagai (Alkaff & Qomarudin, 2020):

$$T_s = \min(T_1, T_2, \dots, T_N) \quad (42)$$

dengan menggunakan Persamaan (42), hasil distribusi dari $\boldsymbol{T_s}$ dapat diperoleh menggunakan beberapa persamaan yaitu:

$$n_s^{(i)} = n_s^{(i-1)} n_i \quad (43)$$

$$\boldsymbol{a}_s^{(i)} = \boldsymbol{a}_s^{(i-1)} \otimes \boldsymbol{a}_i \tag{44}$$

$$\boldsymbol{A}_s^{(i)} = \boldsymbol{A}_s^{(i-1)} \oplus \boldsymbol{A}_i \tag{45}$$

$$n_s^{(i)} = n_1 \qquad \boldsymbol{a}_s^{(i)} = \boldsymbol{a}_1 \qquad \boldsymbol{A}_s^{(i)} = \boldsymbol{A}_1 \tag{46}$$

di mana (i) *superscript* menotasikan jumlah dari i *equipment* pertama dan i *subscript* menotasikan *equipment* ke-i.

2.12.2 Sistem Paralel

Lifetime dari sistem paralel dapat dimodelkan sebagai *lifetime* maksimum dari *lifetime equipment-equipment*nya sebagai (Alkaff & Qomarudin, 2020):

$$T_s = \text{maks}(T_1, T_2, \dots, T_N) \tag{47}$$

Berdasar pada Persamaan (47), distribusi dari T_s dapat ditemukan dengan menggunakan persamaan-persamaan (Alkaff & Qomarudin, 2020):

$$n_s^{(i)} = n_s^{(i-1)} n_i + n_s^{(i-1)} + n_i \tag{48}$$

$$\boldsymbol{a}_s^{(i)} = [\boldsymbol{a}_s^{(i-1)} \otimes \boldsymbol{a}_i, \boldsymbol{0}, \boldsymbol{0}] \tag{49}$$

$$\boldsymbol{A}_s^{(i)} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{A}_s^{(i-1)} \oplus \boldsymbol{A}_i & \boldsymbol{I}_{n_s^{(i-1)}} \otimes b_i & \boldsymbol{b}_s^{(i-1)} \otimes \boldsymbol{I}_{n_1} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{A}_s^{(i-1)} & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{A}_i \end{bmatrix} \tag{50}$$

dengan $i = 2,3, \dots, N$, $\boldsymbol{b}_i = -\boldsymbol{A}_i \boldsymbol{u}$, dan $\boldsymbol{b}_s^{(i-1)} = -\boldsymbol{A}_s^{(i-1)} \boldsymbol{u}$.

2.12.3 Standby System

Equipment dalam *standby system* diasumsikan tidak akan mengalami kerusakan dalam proses menunggu untuk digunakan. Jika proses peralihan berjalan dengan sempurna atau *perfect switch*, maka sistem akan mengalami *fail* ketika semua *equipment* sudah mengalami *fail* satu persatu. *Lifetime* dari sistem dapat dimodelkan dengan jumlah dari *lifetime equipment-equipment*nya sebagai (Alkaff & Qomarudin, 2020):

$$T_s = T_1 + T_2 + \cdots + T_N = add(T_1, T_2, \dots, T_N) \tag{51}$$

T_s dari *standby system* dengan *perfect switch* memiliki representasi *phase-type distribution* $(n_s, \boldsymbol{a}_s, \boldsymbol{A}_s)$ yang dijabarkan sebagai (Alkaff & Qomarudin, 2020):

$$n_s^{(i)} = n_s^{(i-1)} + n_i \tag{52}$$

$$\boldsymbol{a}_s^{(i)} = [\boldsymbol{a}_s^{(i-1)}, \boldsymbol{0}] \tag{53}$$

$$\boldsymbol{A}_s^{(i)} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{A}_s^{(i-1)} & \boldsymbol{b}_s^{(i-1)} \boldsymbol{a}_i \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{A}_i \end{bmatrix} \tag{54}$$

dengan $i = 2,3,\ldots,N$ dan $\boldsymbol{b}_s^{(i-1)} = -\boldsymbol{A}_s^{(i-1)}\boldsymbol{u}$.

T_s dari *standby system* dengan probabilitas *switch* p_i yang akan berfungsi dengan baik selama *failure* dari i *equipment* memiliki representasi *phase-type distribution* $(n_s, \boldsymbol{a}_s, \boldsymbol{A}_s)$ yang dijabarkan sebagai (Alkaff & Qomarudin, 2020):

$$n_s^{(i)} = n_s^{(i-1)} + n_i \tag{55}$$

$$\boldsymbol{a}_s^{(i)} = [\boldsymbol{a}_s^{(i-1)}, \boldsymbol{0}] \tag{56}$$

$$\boldsymbol{A}_s^{(i)} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{A}_s^{(i-1)} & \boldsymbol{0} \\ & p_{1-1}\boldsymbol{b}_{i-1}\boldsymbol{a}_i \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{A}_i \end{bmatrix} \tag{57}$$

dengan $i = 2,3,\ldots,N$ dan $\boldsymbol{b}_i = -\boldsymbol{A}_i\boldsymbol{u}$.

2.12.4 K-Out-of-N System

Fungsi dari struktur *k-out-of-n system* dapat dimodelkan sebagai (Alkaff & Qomarudin, 2020):

$$T_s = \text{kofn}(T_1, T_2, \ldots, T_N; K) \tag{58}$$

T_s dari *K-Out-of-N system* memiliki representasi *phase-type distribution* $(n_s, \boldsymbol{a}_s, \boldsymbol{A}_s)$ yang diperoleh dengan membuang baris dan kolom matriks *infinitesimal generator*, kolom-kolom dari vektor probabilitas keadaan awal dari sistem N-paralel yang mewakili *equipment* yang kurang baik. Kedua hal ini dapat diidentifikasi menggunakan algoritma (Alkaff & Qomarudin, 2020):

a. Algoritma 1

$\boldsymbol{k} = [\boldsymbol{1}]$

$for\ j = 2\ to\ N$

$\quad \boldsymbol{k} = [\boldsymbol{k} + \boldsymbol{u}^T, \boldsymbol{k}, \boldsymbol{1}];$

end

$\boldsymbol{k} = [\boldsymbol{k}, 0]$

$\boldsymbol{k}$ merupakan sebuah vektor yang terdiri dari $\boldsymbol{k_j}$ sebagai elemen ke-j. $\boldsymbol{k_j}$ merepresentasikan jumlah *good component* pada blok matriks ke-j.

b. Algoritma 2

$\boldsymbol{n_B} = [n_{\boldsymbol{1}}]$

$for\ j = 2\ to\ N$

$\quad \boldsymbol{n_B} = [\boldsymbol{n_B n_B}, \boldsymbol{n_B}, \boldsymbol{n_B}];$

end

$\boldsymbol{n_B} = [\boldsymbol{n_B}, 1]$

$\boldsymbol{n_B}$ merupakan sebuah vektor yang terdiri dari $\boldsymbol{n_{B_j}}$ sebagai elemen ke-j. $\boldsymbol{n_{B_j}}$ merepresentasikan dimensi dari blok matriks.

2.13 Produksi Kontinu

Proses produksi yang kontinu merupakan proses produksi dimana peralatan produksi yang digunakan disusun dan diatur dengan memerhatikan urut-urutan kegiatan atau *routing* dalam menghasilkan produk tersebut, serta arus bahan dalam proses telah distandardisasi (Assauri, 2008). Peralatan mekanis yang digunakan pada pabrik dengan proses produksi kontinu dapat dikategorikan menjadi dua jenis yaitu *static equipment* dan *rotating equipment* (Visser & Jordaan, 2012). *Rotating equipment* merupakan *equipment* yang dapat menggerakkan produk. Produk tersebut dapat berupa padatan, cairan, maupun gas. Sebaliknya, *static equipment* merupakan *equipment* yang tidak dapat menggerakkan produk (Forsthoffer, 2005). *Reliability* merupakan istilah yang berkaitan dengan *rotating equipment* (Deighton, 2016).

2.14 Analisis Sensitivitas pada *Reliability*

Importance analysis merupakan istilah yang digunakan untuk mengindikasikan sensitivitas sebuah sistem yang terdiri dari variasi *equipment-equipment*nya (Trivedi & Bobbio, 2017). Secara umum *equipment-equipment* dalam suatu sistem tidak memiliki tingkat kepentingan yang sama dalam menentukan *reliability* dari keseluruhan sistem. *Importance analysis* bertujuan untuk mengkuantifikasi kepentingan dari sebuah *equipment* dalam menentukan *reliability* sistem dengan menentukan bagaimana kenaikan *reliability* dari *single component* mempengaruhi *reliability* keseluruhan sistem. Tingkat kepentingan dari *equipment* ke-i dihitung sebagai turunan dari *reliability* sistem sehubungan dengan *reliability equipment*. Indeks kepentingan ini juga dapat disebut sebagai *Birnbaun importance index*. Perolehan maksimal dalam *reliability* sistem didapatkan dengan melakukan *improving* pada *equipment* yang memiliki indeks *Birnbaun* tertinggi (Trivedi & Bobbio, 2017).

2.14.1 Analisis Sensitivitas pada Sistem Seri

Berdasarkan Trivedi & Bobbio, 2017, i*mportance index* untuk sistem yang memiliki konfigurasi serial dihitung dengan formula:

$$I_i = \frac{R_s}{R_i} \tag{59}$$

dengan I_i merupakan nilai *importance index* untuk *equipment* i, R_s merupakan *reliability* sistem, dan R_i merupakan *reliability equipment* tersebut. Untuk sistem seri, *importance index* tertinggi terdapat pada *equipment* dengan nilai *reliability* terendah (Trivedi & Bobbio, 2017). Oleh karena itu, strategi optimal untuk meningkatkan *reliability* sistem adalah dengan meningkatkan *reliability equipment* dengan nilai *reliability* paling rendah (Trivedi & Bobbio, 2017).

2.14.2 Analisis Sensitivitas pada Sistem Paralel

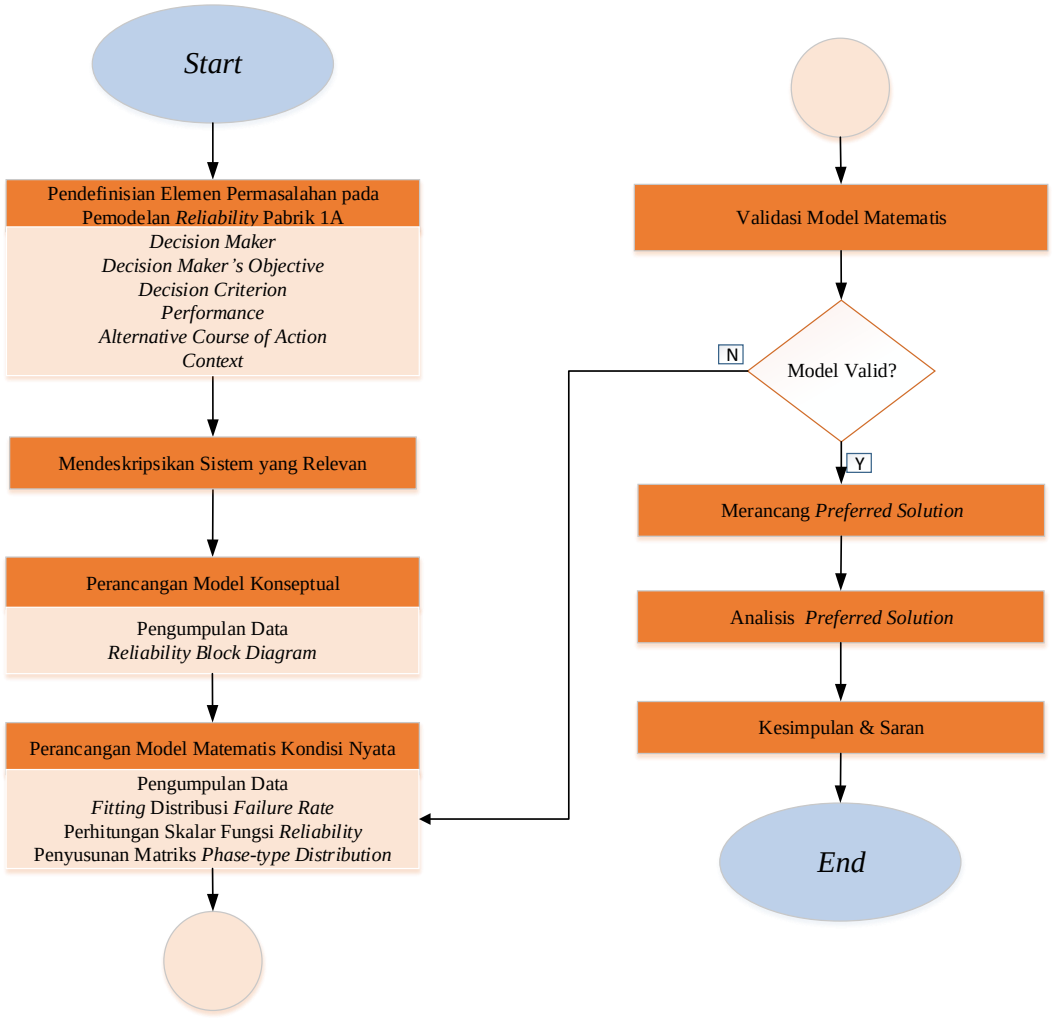
Beradasarkan Trivedi & Bobbio (2017), i*mportance index* untuk sistem yang memiliki konfigurasi paralel, dihitung dengan formula:

$$I_i = \frac{1 - R_p}{1 - R_i} \tag{60}$$

dengan I_i merupakan nilai *importance index* untuk *equipment* i, R_p merupakan *reliability* sistem paralel, dan R_i merupakan *reliability equipment* tersebut. Nilai *importance index* tertinggi sistem paralel terdapat pada *equipment* yang paling *reliable* (Trivedi & Bobbio, 2017). Oleh karena itu, untuk meningkatkan keandalan sistem paralel, strategi optimal adalah dengan meningkatkan *equipment* yang paling *reliable.*

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metodologi yang digunakan dalam penelitian ini. Gambar 3.1 merupakan diagram alir (*flowchart*) pelaksanaan penelitian ini.



Gambar 3. 1 Flowchart Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan merujuk pada metodologi *Hard OR* dan evaluasi *reliability*. Penjelasan *flowchart* pada Gambar 3.1 akan dibahas secara lebih mendetail pada subbab-subbab berikut.

3.1 Pendefinisian Elemen Permasalahan

Elemen permasalah dalam dalam sistem *reliability* proses produksi amonia yaitu:

1. *Decision maker* pada permasalahan ini yaitu kepala departemen pemeliharaan IA PT Petrokimia Gresik.
2. *Decision maker's objective* ini yaitu meningkatkan *reliability* sistem produksi amonia pada Pabrik 1A.
3. *Decision criterion* yaitu *reliability* dari *equipment* dan subsistem dari sistem produksi amonia Pabrik 1A
4. *Performance* yaitu bertambahnya *lifetime equipment* dari keadaan semula.
5. *Alternative courses of action* yaitu pengalokasian atau penambahan *equipment* pada lantai produksi yang dapat berdampak pada struktur hubungan antar *equipment*.
6. *Context* permasalahan terjadi yaitu pada lantai produksi amonia Pabrik IA PT Petrokimia Gresik

3.2 Pendeskripsian Sistem yang Relevan

Terdapat tujuh unsur sistem dari proses produksi amonia yang perlu didefinisikan. Tujuh unsur tersebut yaitu *equipment*, hubungan antar *equipment* dalam sistem, aktifitas dari sistem tersebut, e*nvirontment*, *input*, *output*, serta *interest* dari pengamat sistem (Daellenbach, et al., 2012).

1. *Equipment* yang terdapat pada sistem ini yaitu berupa subsistem dan *equipment* produksi amonia.
2. Hubungan antar *equipment* dalam sistem didefinisikan berdasarkan macam struktur pada *reliability block diagram* yaitu dapat berupa seri, paralel, *K-Out-of-N*, dan *Standby System.*
3. Aktivitas yang diamati pada sistem adalah aktivitas produksi amonia.
4. *Environment* atau lingkungan relevan dari sistem yang diamati yaitu *decision maker*, pelanggan produk amonia, sistem produksi pupuk urea.
5. *Input* dari sistem ini yaitu keputusan dari *decision maker* sebagai upaya meningkatkan *reliability* sistem.
6. *Output* dari sistem ini yaitu berupa *reliability* sistem produksi amonia.

7. *Interest* dari pengamat sistem yaitu melakukan analisis terkait *reliability* sistem sehingga dapat memberikan opsi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan *reliability* sistem

3.3 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang dibutuhkan guna merancang model konseptual dan model matematis. Data yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif yang akan digunakan terdiri dari data subsistem dan *equipment* serta data kerusakan tiap *equipment* pada sistem produksi amonia Pabrik 1A. Data kualitatif yang akan digunakan yaitu data terkait alur proses produksi amonia Pabrik 1A.

3.4 Perancangan Model Konseptual

Perancangan model konseptual dilakukan dengan merancang *reliability block diagram.* Perancangan *reliability block diagram* pada dua level yaitu level subsistem yang berisi *block diagram* dari *equipment* produksi dan level sistem yang berisi *block diagram* dari subsistem produksi.

3.5 Perancangan Model Matematis

Perancangan model matematis dimulai dengan perhitungan *squared coefficient of variance* dari data *time to failure*. Perhitungan *squared coefficient of variance* dari data *time of failure* bertujuan untuk melakukan *assign* fungsi *reliability* yang cocok pada *equipment* tersebut dalam *phase-type distribution. .* Apabila terdapat *equipment* yang tidak memiliki data *time to failure* maka *failure rate* dapat diketahui dengan bantuan OREDA. Dalam OREDA, *equipment* diasumsikan memiliki *constant failure rate.* Hal ini dapat diartikan bahwa *equipment* akan berdistribusi eksponensial. Langkah selanjutnya adalah melakukan *fitting* distribusi pada *equipment* yang memiliki data *time to failure.*

Fitting distribusi ini bertujuan untuk menemukan distribusi yang paling sesuai dengan dara *time to failure* pada *equipment* serta parameter dari distribusi tersebut. Hal ini berguna sebagai acuan saat menentukan jumlah *transient state* dari *phase-type distribution* yang mampu mendekati distribusi asli data kerusakan *equipment*. *Fitting* disribusi ini dapat dilakukan pada *equipment* yang memiliki data

kerusakan. Proses ini dilakukan dengan bantuan *software* Reliasoft Weibull++ 6th *version.*

3.6 Perancangan *Preferred Solution*

Perhitungan solusi ini akan ditentukan berdasarkan hasil pemodelan matematis menggunakan matriks *phase-type distribution.* Fungsi *reliability equipment* dan subsistem ini kemudian akan dikalkulasi dengan bantuan *software* MATLAB sehingga menghasilkan fungsi *reliability* dari sistem produksi amonia secara keseluruhan. Setelah mendapatkan fungsi *reliability* sistem, maka selanjutnya dapat dilakukan analisis terkait *redundancy* yang diperlukan untuk dapat meningkatkan *reliability* sistem.

3.7 Validasi Model

Pada tahap ini akan dilakukan validasi terkait model konseptual dan model matematis yang digunakan. Validasi internal terkait model yang telah dirancang konseptual dilakukan dengan perhitungan *reliability* sistem pada model konseptual dan kalkulasi model matematis pada software MATLAB. Validasi eksternal model yang telah dirancang dilakukan dengan melakukan pengecekkan terkait kecocokan struktur dari *reliability block diagram* sebagai model konseptual dengan struktur asli dari sistem produksi dan kecocokan hasil kalkulasi dengan hasil perhitungan *reliability system* pada model konseptual.

3.8 Analisis Sensitivitas

Pada tahap ini dilakukan evaluasi dari hasil pemodelan konseptual, pemodelan matematis, dan *preferred solution* yang telah dirancang. Evaluasi ini dilakukan dengan melakukan analisis sensitivitas dari hasil kalkulasi fungsi *reliability* dengan parameter *importance index.* Dari hasil perhitungan *importance index* akan didapatkan *equipment* yang paling berpengaruh terhadap keandalan sistem produksi amonia.

3.9 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan yang menjawab tujuan dari penelitian yang telah dilakukan. Saran dan rekomendasi penelitian juga diberikan untuk penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

PEMODELAN *RELIABILITY* SISTEM

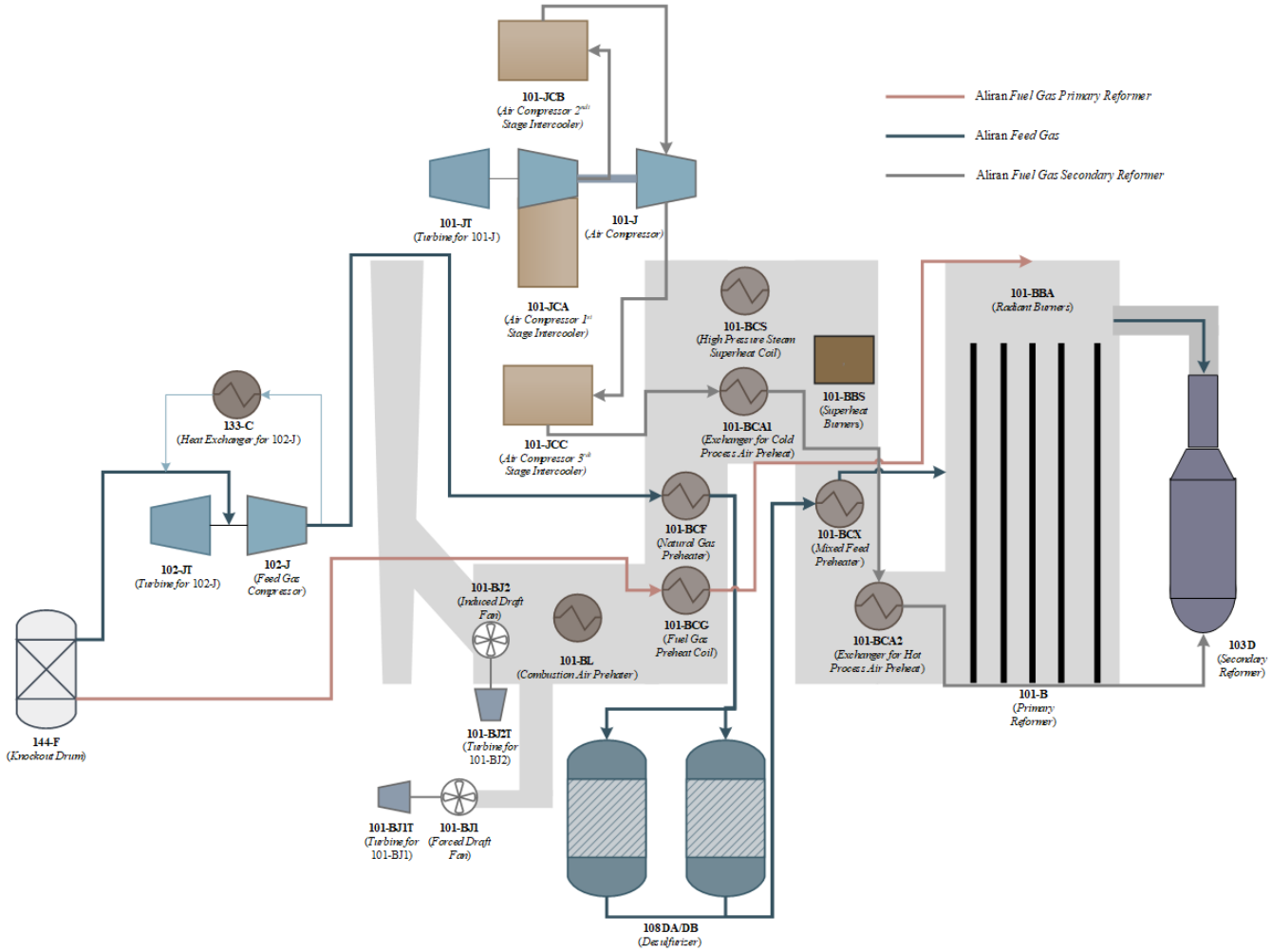
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai deskripsi sistem produksi amonia sebagai landasan untuk menentukan hubungan antar *equipment* dalam subsistem produksi. Selanjutnya dilakukan *fitting* distribusi *time to failure* dari *equipment*, perhitungan *reliability* sistem, dan perhitungan *importance index* pada susbsitem dan *equipment* dalam subsistem dengan nilai *importance index* tertinggi.

4.1 Deskripsi Sistem Produksi Amonia

Secara umum sistem produksi amonia terbagi dalam tujuh tahapan proses produksi. Tujuh tahapan proses produksi tersebut yaitu proses desulfurisasi dan *reforming*, CO *shift conversion*, CO_2 *removal*, metanasi, kompresi gas sintesis, konversi amonia, dan refrigerasi amonia.

4.1.1 Desulfurisasi dan *Reforming*

Tahap pertama dalam proses produksi amonia yaitu proses desulfurisasi dan *reforming*. Gambar 4.1 merupakan diagram alir dari proses desulfurisasi dan *reforming* amonia



Gambar 4. 1 Diagram Alir Proses Desulfurisasi dan Reforming

Natural gas dengan tekanan 18,3kg/cm^2 dan suhu 31,6^{o}C terlebih dahulu memasuki *Knockout Drum* 144-F yang berfungsi sebagai pemisah antara *feed gas* dan *fuel gas* dengan perbandingan 5:1. *Feed gas* digunakan sebagai bahan baku dalam produksi amonia, sedangkan *fuel gas* digunakan sebagai bahan bakar pada semua proses pemanasan di unit *reforming* amonia. Aliran *feed gas* akan memasuki *feed gas compressor* 102-J sehingga tekanannya akan naik menjadi 45,7 kg/cm^2, sedangkan aliran *fuel gas* akan memasuki *Fuel Gas Preheat Coil* 101-BCG.

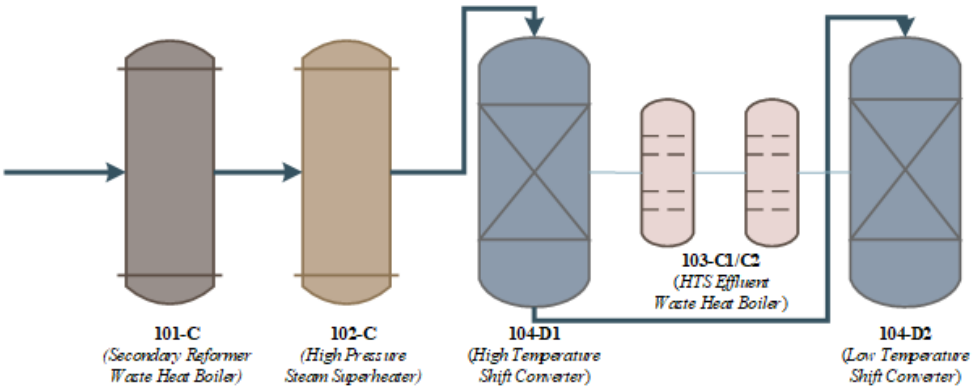
Feed gas yang telah selesai dikompresi kemudian akan diberi pemanasan awal pada suhu 399^{o}C di dalam *Feed Gas Preheat Coil* 101-BCF untuk selanjutnya memasuki tangki desulfurisasi 108-DA dan 108-DB. Proses desulfurisasi dilakukan sebanyak dua kali dengan katalis Co-Mo yang berada di bagian atas tangki dan katalis ZnO yang berada pada bagian bawah tangki. Desulfurisasi merupakan langkah untuk menghilangkan senyawa belerang yang terkandung dalam *natural gas.* Senyawa belerang harus dihilangkan karena merupakan racun dari katalisator.

Feed gas yang telah selesai melewati proses desulfurisasi selanjutnya memasuki *Mixed Feed Preheater* 101-BCX untuk dipanaskan pada temperatur 475^{o}C. Selanjutnya *natural gas* akan direaksikan dengan *steam* dari *High Pressure Steam Superheat Coil* 101-BCS pada *primary reformer* 101-B dengan bantuan katalis nikel. Reaksi ini membutuhkan temperatur *tube reformer* sekitar 824^{o}C yang dihasilkan dari *Radiant Burners* 101-BBA. Proses pengapian yang terjadi pada proses *reforming* didukung oleh *equipment-equipment furnace* yaitu *Forced Draft Fan* 101-BJ1, *Induced Draft Fan* 101-BJ2, *Combustion Air Preheater* 101-BL, dan *Superheat Burners* 101-BBS. Reaksi katalitik pertama ini menghasilkan gas yang mengandung *methane* (CH_4) dengan kadar sepuluh sampai 12%. Reaksi katalitik kedua dilakukan pada *secondary reformer* 103-D dengan temperature proses pembakaran berkisar sekitar 1252^{o}C. Reaksi katalitik kedua ini dilakukan untuk mengurangi kadar CH_4 menjadi sebesar kurang lebih 0.3%. Gas hasil proses *reforming* ini selanjutnya disebut sebagai *raw synthesis gas.*

4.1.2 CO Shift Conversion

Salah satu elemen lain yang diproduksi dari proses *reforming* pada *primary* dan *secondary reformer* adalah gas CO atau karbon monoksida. Adanya gas CO ini

tidak dikehendaki dalam proses pembuatan amonia sehingga gas CO ini perlu diubah menjadi CO_2 dan H_2 dengan proses proses CO *Shift Conversion.* Gambar 4.2 merupakan diagram alir dari proses CO *Shift Conversion.*



Gambar 4. 2 Diagram Alir Proses CO *Shift Conversion*

Raw synthesis gas meninggalkan bagian bawah *secondary reformer* dan melewati bagian *shell* dari *Secondary Reformer Waste Heat Boiler* 101-C untuk didinginkan hingga temperatur 733,9^oC. *Raw synthesis gas* didinginkan kembali hingga mencapai temperatur 371^oC di dalam *High Pressure Steam Superheater* 102-C untuk selanjutnya masuk ke dalam *High Temperature Shift Converter* 104-D1.

High Temperature Shift Converter mereaksikan sebagian besar CO pada temperatur 454^oC, sedangkan *Low Temperature Shift* mereaksikan sisa CO pada temperatur 245^oC. Proses konversi ini dilakukan sebanyak dua kali guna menghasilkan kadar CO yang rendah dan dapat diterima di proses metanasi. Dua tahapan konversi ini terjadi dengan steam bertekanan tinggi yang dihasilkan oleh 103-C1 dan C2, yang terletak diantara dua reaktor untuk membuat temperatur reaktor mencukupi proses *shift conversion*.

4.1.3 CO_2 Removal

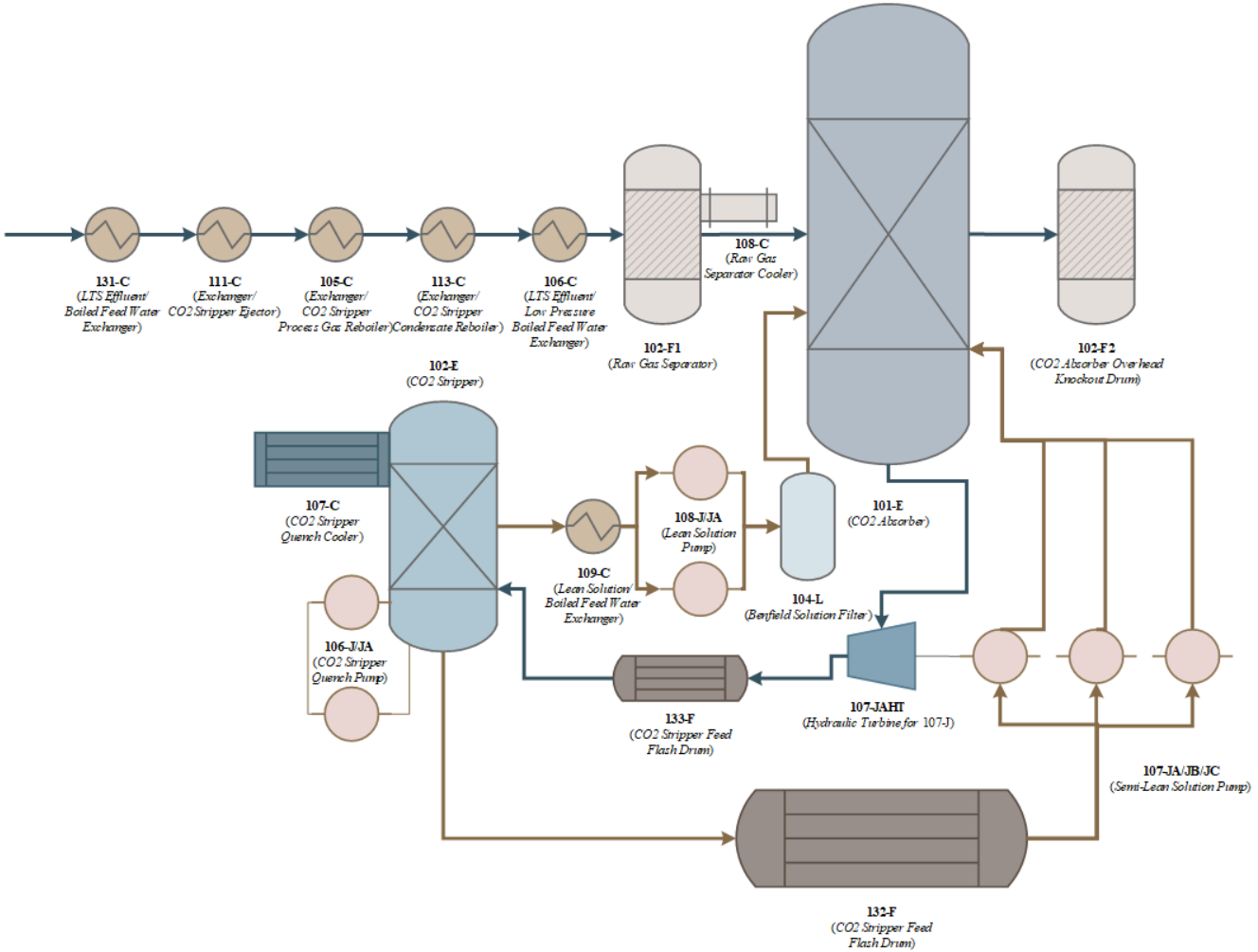
Tahap ketiga dari proses pembuatan amonia adalah proses CO_2 *removal.* Proses ini merupakan proses untuk menghilangkan gas CO_2 dengan cara absorbsi oleh media K_2CO_3 pada tekanan tinggi dan temperatur kurang lebih sebesar 70^oC.

Gas keluaran proses CO *shift conversion* akan mengalami proses pendinginan sebanyak tiga kali. Proses pendinginan pertama dilakukan pada LTS

Effluent Exchanger 131-C sampai dengan suhu 166^{o}C. Proses pendinginan kedua dilakukan pada CO_2 *Stripper Ejector* 111-C sampai dengan suhu 135^{o}C. Proses pendinginan ketiga dilakukan pada CO_2 *Stripper Process Gas Reboiler* 105-C sampai dengan temperatur 70^{o}C. Proses pendinginan ini juga melibatkan CO_2 *Stripper Condensate Gas Reboiler* 113-C dan *Low Pressure Boiled Feed Water Exchanger* 106-C.

Gas yang telah melewati tiga kali proses pendiginan kemudian masuk ke *Raw Gas Separator* 102-F1 yang dilengkapi dengan *Raw Gas Separator Cooler* 108-C untuk dipisahkan fase gas dan cairnya. Fase gas hasil pemisahan tersebut selanjutnya masuk ke CO_2 *Absorber* 101-E yang berfungsi untuk mengurangi kandungan CO_2 pada gas hingga mencapai 0.05% mol. Gas sintesis yangtelah melewati proses CO_2 *Absorber* selanjutnya akan masuk ke CO_2 *Absorber Knockout Drum* 102-F2.

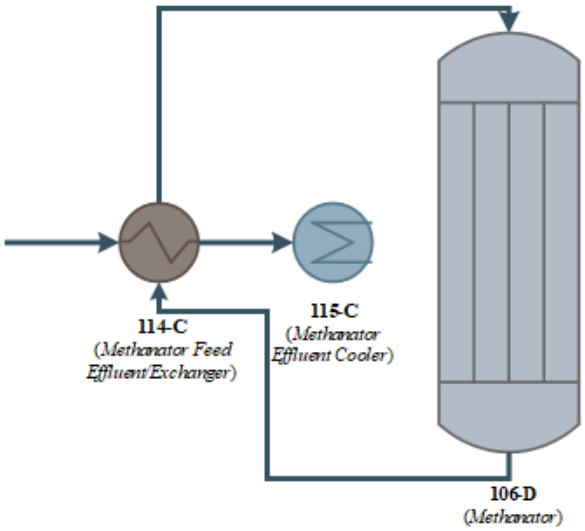
Proses CO_2 *absorber* dilakukan dengan bantuan Larutan *Benfield*. Larutan *Benfield* dengan kadar CO_2 yang tinggi dari hasil absorbsi dialirkan dari bagian bawah 101-E menuju CO_2 *Stripper Feed Flash Drum* 133-F dengan melewati turbin 107-JAHT untuk menghilangkan kandungan gas pada larutan. Larutan *Benfield* yang telah bersih dari kandungan gas kemudian menuju CO_2 *Stripper*102-E untuk diregenerasi. Sebagian larutan yang telah diregenerasi dialirkan menuju CO_2 *Stripper Feed Flash Drum* 132-F untuk selanjutnya dikembalikan ke bagian bawah CO_2 *Absorber* 101-E dengan bantuan pompa 107-JA, 107-JB, dan 107-JC, sedangkan sebagian larutan yang lain akan diregenerasi sampai terbebas dari kandungan CO_2 dan kemudian dialirkan menuju bagian atas CO_2 *Absorber* 101-E dengan bantuan pompa 108-J dan 108-JA. Diagram alir proses CO_2 *absorber* ditampilkan pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3 Diagram Alir Proses CO_2 *Removal*

4.1.4 Metanasi

Kandungan CO dan CO_2 yang lolos dari *absorber* dapat menjadi racun bagi katalis Fe pada *ammonia converter*, sehingga kandungan tersebut harus dihilangkan dengan dikonversi menjadi metana menggunakan katalis nikel. Gambar 4.4 menampilkan diagram alir dari proses metanasi.



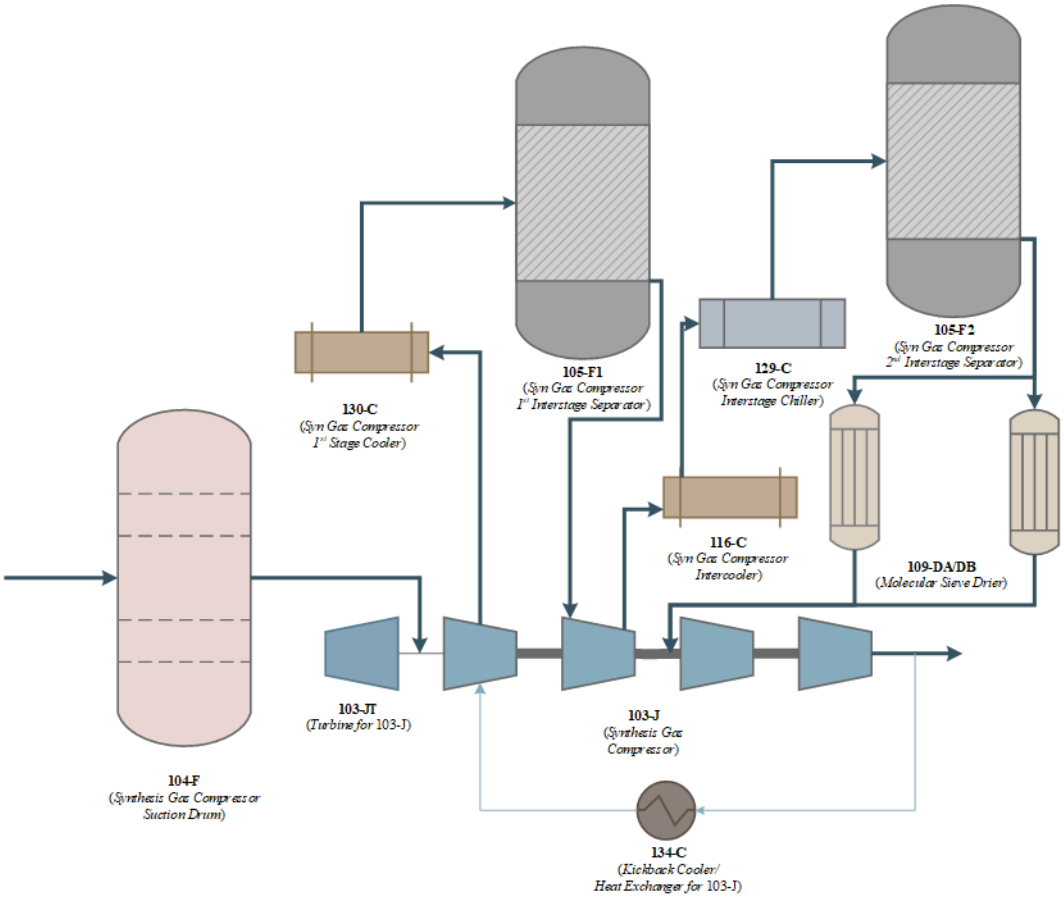
Gambar 4. 4 Diagram Alir Proses Metanasi

Gas yang telah melalui proses CO_2 *removal* dipanaskan kembali ke temperatur 315^oC dalam *Methanator Feed Effluent Exchanger* 114-C. Selanjutnya gas akan memasuki *Methanator* 106-D untuk menghilangkan kadar CO dan CO_2 yang masih tersisa. Setelah itu dilakukan pendinginan pada *Methanator Effluent Cooler*.

4.1.5 Kompresi Gas Sintesis

Setelah melewati proses metanasi, maka selanjutnya gas akan masuk ke *Synthesis Gas Compressor Suction Drum* 104-F kemudian dikompresi dalam Kompresor Sentrifugal 103-J. Proses kompresi dilakukan sebanyak tiga kali. Proses kompresi pertama dilakukan pada tekanan 57,6kg/cm^2. Gas hasil proses kompresi pertama kemudain didinginkan dengan memasuki *Syn Gas Compressor 1st stage cooler*. Kemudian kondensat dari gas hasil pendinginan dipisahkan di dalam *Syn Gas Compressor 1st Interstage Separator* untuk kemudian kembali masuk ke

Kompresor 103-J dan dilakukan kompresi kedua pada tekanan 102kg/cm^2. Diagram alir dari proses kompresi gas sintesis ditampilkan pada Gambar 4.5.



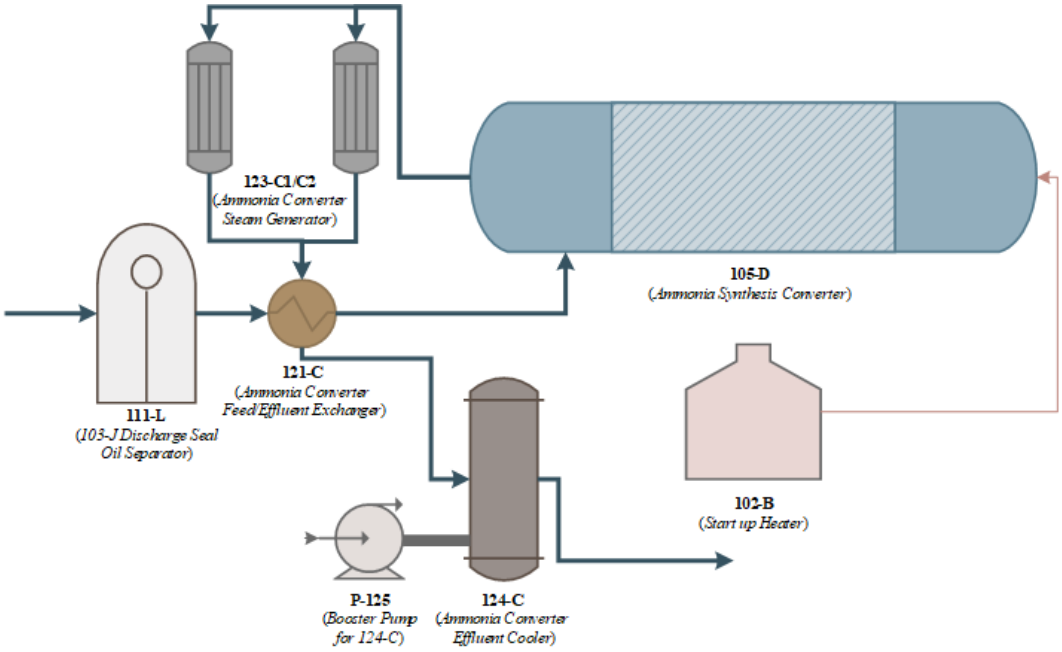
Gambar 4. 5 Diagram Alir Proses Kompresi Gas Sintesis

Setelah dilakukan kompresi kedua, gas selanjutnya didinginkan di dalam *Syn Gas Compressor Intercooler* 116-C dan *Syn Gas Compressor Interstage Chiller*. Kondensat dari gas kemudian dipisahkan dalam *Syn Gas Compressor 2nd Interstage Separator* 105-F2. Selanjutnya kadar air dan karbondioksida akan dikurangi dengan memasuki *Molecular Sieve Drier* 109-DA dan 109-DB. Gas yang telah melewati *Molecular Sieve Drier* kemudian masuk ke Kompresor kembali untuk dikompresi hingga tekanan keluaran gas mencapai 178.5kg/cm^2.

4.1.6 Konversi Amonia

Gas keluaran kompresi kemudian akan memasuki 103-J *Discharge Seal Oil Separator* untuk menyaring apabila terdapat kandungan minyak dalam gas. Selanjutnya gas akan dipanaskan ke temperatur 232^{o}C pada *Ammonia Converter* 105-D dengan *Exchanger* 121-C yang berperan untuk menjaga suhu dari *Ammonia*

Converter dan *Start Up Heater* 102-B sebagai pemasok panas ke *converter*. Diagram alir proses konversi amonia ditampilkan dalam Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Diagram Alir Proses Konversi Amonia

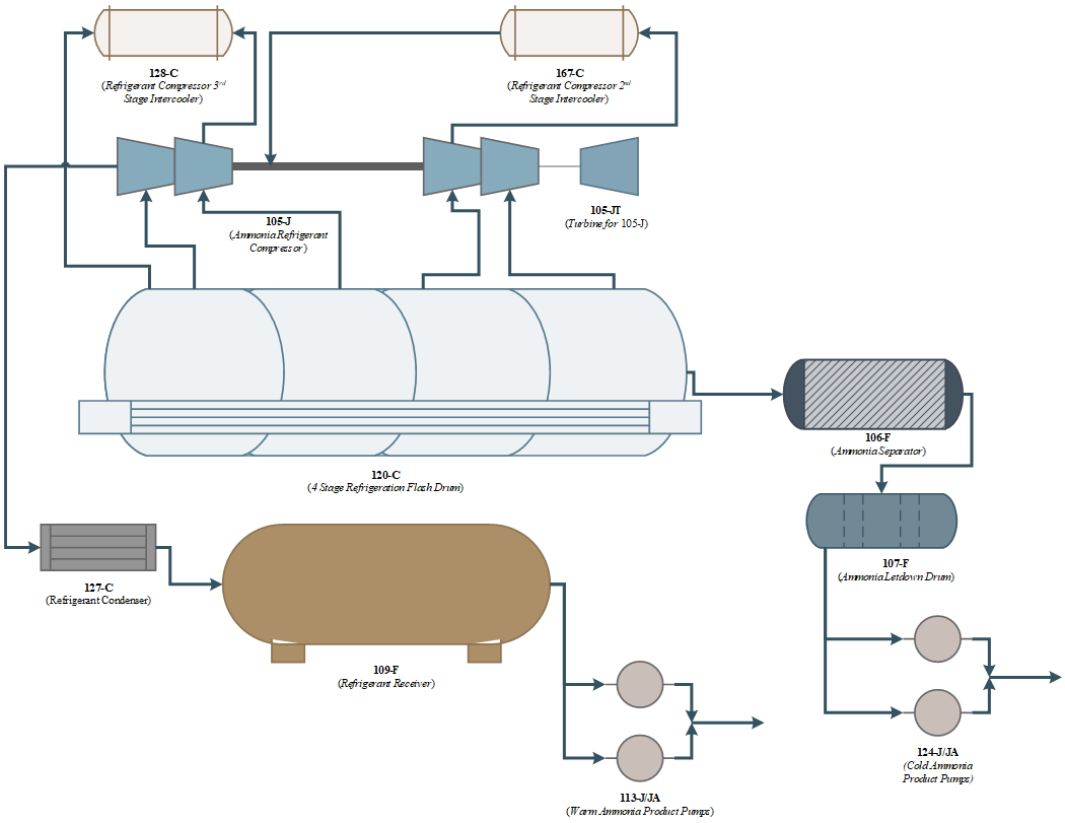
Hasil reaksi sintesis amonia kemudian perbarui dengan menggunakan sistem *steam* di dalam *Ammonia Converter Effluent Cooler* 124-C sebelum memasuki tahap refrigerasi amonia.

4.1.7 Sistem Refrigerasi

Gas dari *cooler* 124-C akan masuk ke dalam *Refrigeration Flash Drum* 120-C yang terdiri dari empat *compartment chiller*. Temperatur masing-masing *chiller* adalah 14,6^{o}C, -0,45^{o}C, -18,3^{o}C dan -33^{o}C. Kompresor refrigerasi 105-J, *Intercooler* 128-C, dan *Intercooler* 167-C berperan untuk menjaga temperatur keempat *chiller* agar tetap berada pada kondisi yang diinginkan.

Gas yang tidak mengembun dialirkan ke *Ammonia Separator* (106-F) dan terjadi pemisahanantara fase cair dan gas. Fase cair kemudian dialirkan ke *Ammonia Refrigerant Receiver* (109-F) setelah sebelumnya dikondensasi pada *Refrigerant Condenser* 127-C, sedangkan fase gas dialirkan menuju Ammonia Letdown drum (107-F). Fase gas masih mengandung amoniak sekitar 11,27%

dialirkan menuju PRGU. Refrigerant amoniak cair yang teruapkan dicairkan kembali dengan kompresi mencapai 15 kg/cm2 di *Refrigerant Compressor* (105-J), didinginkan di *Exchanger* (127-C) dan ditampung di *Ammonia Refrigerant Receiver* (107-F). Amoniak cair dimasukkan kembali ke *Ammonia Unitized Chiller* (120-C). Produk *warm* dari ammonia 107-F diambil sebagai bahan baku unit urea.



Gambar 4. 7 Diagram Alir Proses Refrigerasi

4.2 *Fitting* Distribusi *Time to Failure Equipment*

Fitting distribusi *time to failure equipment* produksi merupakan langkah yang harus dilakukan dalam proses pemodelan *reliability* pada proses produksi amonia. Langkah ini memerlukan *input* awal berupa data *time to failures* dari data historis kerusakan *equipment* dan *failure rate equipment* yang diperoleh dari OREDA. *Input* data *time to failure equipment* memiliki satuan jam, sedangkan data *failure rate* memiliki satuan *rate* per jam. *Software* Weibull++ 6^{th} *edition* berperan dalam proses penentuan distribusi dan parameter skalar dari data *time to failure equipment*.

Parameter dari distribusi tersebut kemudian menjadi *input* pada proses *fitting* data *time to failure* ke dalam matriks *phase-type* dengan bantuan *software*

MATLAB R2015a. Penentuan representasi matriks *phase-type* didasarkan pada nilai *coefficient of variance time to failure* (CVTTF) matriks *phase-type* yang paling mendekati nilai CVTTF distribusi skalar *time to failure equipment.* Tabel 4.1 merupakan contoh hasil proses *fitting* distribusi skalar *time to failure* kompresor 103-J ke dalam matriks *phase-type.*

Tabel 4. 1 Hasil *Fitting* data *Time to Failure* Kompresor 103-J

Skalar		***Phase-type Distribution***	
Distribusi	Weibull 2	Distribusi	3-*stage* hiper-eksponensial
Parameter	$\alpha = 5.262{,}0512$ $\beta = 0{,}6881$	Parameter	$n = 3$ $\boldsymbol{a} = [0{,}4576 \quad 0{,}4684 \quad 0{,}0740]$ $\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} -0{,}0001 & 0 & 0 \\ 0 & -0{,}0004 & 0 \\ 0 & 0 & -0{,}0061 \end{bmatrix}$
Persamaan *Reliability*	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}}$	Persamaan *Reliability*	$R(t) = \boldsymbol{a}e^{\boldsymbol{A}t}\boldsymbol{u}$
Persamaan CDF	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}}$	Persamaan CDF	$F(t) = 1 - \boldsymbol{a}e^{\boldsymbol{A}t}\boldsymbol{u}$
Persamaan *Hazard Function*	$h(t) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1}$	Persamaan *Hazard Function*	$h(t) = -\boldsymbol{a}\boldsymbol{A}e^{\boldsymbol{A}t}\boldsymbol{u}(\boldsymbol{a}e^{\boldsymbol{A}t}\boldsymbol{u})^{-1}$
MTTF	$6{,}772 \times 10^3$	MTTF	$6{,}952 \times 10^3$
CVTTF	1,4916	CVTTF	1,4605
Kategori	DFR	Kategori	DFR
$R(8.760)$	0,2417	$R(8.760)$	0,20465

Hasil *fitting* data *time to failure* pada kompresor 103-J menunjukkan bahwa data *time to failure* kompresor 103-J memiliki distribusi skalar Weibull 2 dengan parameter $\alpha = 5.262{,}0512$ dan $\beta = 0{,}6881$ dan tergolong sebagai *decreasing failure rate* (DFR). Distribusi ini kemudian direpresentasikan ke dalam *phase-type distribution* sebagai distribusi 3-*stage* hiper-eksponensial dengan parameter $n = 3$, $\boldsymbol{a} = [0{,}4576 \quad 0{,}4684 \quad 0{,}0740]$, dan $\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} -0{,}0001 & 0 & 0 \\ 0 & -0{,}0004 & 0 \\ 0 & 0 & -0{,}0061 \end{bmatrix}$.

Setelah parameter matriks *phase-type* diperoleh, maka selanjutnya dilakukan perhitungan *reliability value* pada $t = 0$ jam sampai dengan $t = 8.760$ jam atau setara dengan satu tahun waktu produksi secara skalar dan matriks. Nilai *reliability value* pada $t = 8.760$ akan menjadi *input* dalam *reliability block diagram.*

4.2.1 Subsistem Desulfurisasi dan Reforming

Subsistem desulfurisasi dan *reforming* merupakan subsistem dengan jumlah *equipment* sebanyak 26 buah. Berdasarkan data histroris kerusakan *equipment*, *primary reformer* 101-B merupakan satu-satunya *equipment* dengan data historis kerusakan yang cukup merepresentasikan *behavior* dari *equipment reliability*. *Failure rate* dari 25 *equipment* lainnya kemudian diperoleh dengan mengacu pada OREDA. Tabel 4.2 menampilkan rekapitulasi *fitting* distribusi pada *equipment* subsistem desulfurisasi dan *reforming.*

Tabel 4. 2 Rekapitulasi *Fitting* Distribusi *Equipment* Desulfurisasi dan *Reforming*

No	Kode *Equipment*	CV	MTTF (jam)	Tipe	Representasi Matriks *Phase-type*
1	101-B	3,17	3.353,5	DFR	$n = 5$ $\boldsymbol{a} =$ $[0{,}0672 \quad 0{,}2909 \quad 0{,}3371 \quad 0{,}2363 \quad 0{,}0685]$ $\boldsymbol{A} =$ $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0{,}0002 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0{,}0018 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0{,}0256 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -3{,}1321 \end{bmatrix}$
2	101-BBA	1	490.196	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000204]$
3	101-BBS	1	490.196	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000204]$
4	101-BCA1	1	490.196	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}000001989]$
5	101-BCA2	1	11.238,5	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00008898]$
6	101-BCF	1	490.196	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000204]$
7	101-BCG	1	490.196	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000204]$
8	101-BCS	1	208.333,3	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}0000048]$
9	101-BCX	1	490.196	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000204]$

No	Kode *Equipment*	CV	MTTF (jam)	Tipe	Representasi Matriks *Phase-type*
10	101-BJ1	1	10.204	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}000098]$
11	101-BJ1T	1	20.946,7	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00004774]$
12	101-BJ2	1	10.204	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}000098]$
13	101-BJ2T	1	20.946,7	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00004774]$
14	101-BL	1	11.238,5	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00008898]$
15	101-J	1	5.000	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}0002]$
16	101-JCA	1	350.877	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000285]$
17	101-JCB	1	350.877	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000285]$
18	101-JCC	1	350.877	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000285]$
19	101-JT	1	20.946,7	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00004774]$
20	102-J	1	13.607,3	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00007349]$
21	102-JT	1	20.946,7	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00004774]$
22	103-D	1	350.877	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000285]$
23	108-DA	1	208.333,3	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}0000048]$
24	108-DB	1	208.333,3	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}0000048]$

No	Kode *Equipment*	CV	MTTF (jam)	Tipe	Representasi Matriks *Phase-type*
25	133-C	1	50.276,5	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00001989]$
26	144-F	1	14.643,4	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00006829]$

Hasil rekapitulasi 26 *equipment* pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa *equipment* 101-B memiliki representasi matriks *phase-type 5-stage* hiper-eksponensial, sedangkan 25 *equipment* lainnya memiliki representasi matriks *phase-type* eksponensial. Rekapitulasi ini kemudian akan menjadi *input* dalam memodelkan fungsi *reliability* dari subsistem desulfurisasi dan *reforming*

4.2.2 Subsistem CO Shift Conversion

Subsistem CO *shift conversion* merupakan subsistem dengan jumlah *equipment* atau *equipment* sebanyak enam buah. Berdasarkan data histroris kerusakan *equipment*, tidak terdapat *equipment* dengan data historis kerusakan yang cukup merepresentasikan *behavior* dari *equipment reliability*. *Failure rate* dari enam *equipment* tersebut kemudian diperoleh dengan mengacu pada OREDA. Tabel 4.3 menampilkan rekapitulasi *fitting* distribusi pada *equipment* subsistem CO *shift conversion.*

Tabel 4. 3 Rekapitulasi *Fitting* Distribusi *Equipment* CO *Shift Conversion*

No	Kode *Equipment*	CV	MTTF (jam)	Tipe	Representasi Matriks *Phase-type*
1	101-C	1	11.238,5	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00008898]$
2	102-C	1	490.196	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000204]$
3	103-C1	1	490.196	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000204]$
4	103-C2	1	490.196	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000204]$
5	104-D1	1	208.333,3	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$

No	Kode *Equipment*	CV	MTTF (jam)	Tipe	Representasi Matriks *Phase-type*
					$\boldsymbol{A} = [-0{,}0000048]$
6	104-D2	1	208.333,3	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}0000048]$

Hasil rekapitulasi enam *equipment* pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa *equipment* pada subsistem CO *shift conversion* memiliki representasi matriks *phase-type* eksponensial. Rekapitulasi ini kemudian akan menjadi *input* dalam memodelkan fungsi *reliability* dari subsistem CO *shift conversion.*

4.2.3 Subsistem CO_2 Removal

Subsistem CO_2 *removal* merupakan subsistem dengan jumlah *equipment* atau *equipment* sebanyak 23 buah. Berdasarkan data histroris kerusakan *equipment*, tidak terdapat *equipment* dengan data historis kerusakan yang cukup merepresentasikan *behavior* dari *equipment reliability*. *Failure rate* dari 23 *equipment* tersebut kemudian diperoleh dengan mengacu pada OREDA. Tabel 4.4 menampilkan rekapitulasi *fitting* distribusi pada *equipment* subsistem CO_2 *removal.*

Tabel 4. 4 Rekapitulasi *Fitting* Distribusi *Equipment* CO_2 *Removal*

No	Kode *Equipment*	CV	MTTF (jam)	Tipe	Representasi Matriks *Phase-type*
1	101-E	1	350.877,2	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000285]$
2	102-E	1	101.832,9	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000982]$
3	102-F1	1	14.643,4	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00006829]$
4	102-F2	1	14.643,4	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00006829]$
5	104-L	1	14.643,4	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00006829]$
6	105-C	1	50.276,5	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00001989]$

No	Kode *Equipment*	CV	MTTF (jam)	Tipe	Representasi Matriks *Phase-type*
7	106-C	1	490.196	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000204]$
8	106-J	1	163.398,7	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000612]$
9	106-JA	1	163.398,7	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000612]$
10	107-C	1	350.877,2	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000285]$
11	107-JA	1	83.056,5	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00001204]$
12	107-JAHT	1	20.946,7	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00004774]$
13	107-JB	1	83.056,5	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00001204]$
14	107-JC	1	83.056,5	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00001204]$
15	108-C	1	350.877,2	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000285]$
16	108-J	1	83.056,5	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00001204]$
17	108-JA	1	83.056,5	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00001204]$
18	109-C	1	50.276,5	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00001989]$
19	111-C	1	490.196	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000204]$
20	113-C	1	490.196	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000204]$
21	131-C	1	490.196	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000204]$

No	Kode *Equipment*	CV	MTTF (jam)	Tipe	Representasi Matriks *Phase-type*
22	132-F	1	40.950	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00002442]$
23	133-F	1	40.950	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00002442]$

Hasil rekapitulasi enam *equipment* pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa *equipment* pada subsistem CO_2 *removal* memiliki representasi matriks *phase-type* eksponensial. Rekapitulasi ini kemudian akan menjadi *input* dalam memodelkan fungsi *reliability* dari subsistem CO_2 *removal.*

4.2.4 Subsistem Metanasi

Subsistem metanasi merupakan subsistem dengan jumlah *equipment* atau *equipment* sebanyak tiga buah. Berdasarkan data histroris kerusakan *equipment*, tidak terdapat *equipment* dengan data historis kerusakan yang cukup merepresentasikan *behavior* dari *equipment reliability*. *Failure rate* dari tiga *equipment* tersebut kemudian diperoleh dengan mengacu pada OREDA. Tabel 4.5 menampilkan rekapitulasi *fitting* distribusi pada *equipment* subsistem metanasi.

Tabel 4. 5 Rekapitulasi *Fitting* Distribusi *Equipment* Metanasi

No	Kode *Equipment*	CV	MTTF (jam)	Tipe	Representasi Matriks *Phase-type*
1	106-D	1	208.333,3	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}0000048]$
2	114-C	1	50.276,5	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00001989]$
3	115-C	1	350.877,2	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000285]$

Hasil rekapitulasi tiga *equipment* pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa *equipment* pada subsistem metanasi memiliki representasi matriks *phase-type* eksponensial. Rekapitulasi ini kemudian akan menjadi *input* dalam memodelkan fungsi *reliability* dari subsistem metanasi.

4.2.5 Subsistem Kompresi Gas Sintesis

Subsistem kompresi gas sintesis merupakan subsistem dengan jumlah *equipment* atau *equipment* sebanyak sebelas buah. Berdasarkan data histroris kerusakan *equipment*, *synthesis gas compressor* 103-J merupakan satu-satunya *equipment* dengan data historis kerusakan yang cukup merepresentasikan *behavior* dari *equipment reliability*. *Failure rate* dari sepuluh *equipment* lainnya kemudian diperoleh dengan mengacu pada OREDA. Tabel 4.6 menampilkan rekapitulasi *fitting* distribusi pada *equipment* subsistem desulfurisasi dan *reforming.*

Tabel 4. 6 Rekapitulasi *Fitting* Distribusi *Equipment* Kompresi Gas Sintesis

No	Kode *Equipment*	CV	MTTF (jam)	Tipe	Representasi Matriks *Phase-type*
1	103-J	1,46	6.952	DFR	$n = 3$ $\boldsymbol{a} = [0{,}4576 \quad 0{,}4684 \quad 0{,}0740]$ $\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} -0{,}0001 & 0 & 0 \\ 0 & -0{,}0004 & 0 \\ 0 & 0 & -0{,}0061 \end{bmatrix}$
2	103-JT	1	22.351,4	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00004774]$
3	104-F	1	14.643,4	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00006829]$
4	105-F1	1	14.643,4	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00006829]$
5	105-F2	1	14.643,4	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00006829]$
6	109-DA	1	15.039,6	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}0000665]$
7	109-DB	1	15.039,6	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000665]$
8	116-C	1	350.877,2	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000285]$
9	129-C	1	350.877,2	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000285]$
10	130-C	1	350.877,2	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000285]$
11	134-C	1	490.196	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000204]$

Hasil rekapitulasi sebelas *equipment* pada Tabel 4.6 menunjukkan bahwa *equipment* 103-J memiliki representasi matriks *phase-type 3-stage* hiper-eksponensial, sedangkan sepuluh *equipment* lainnya memiliki representasi matriks *phase-type* eksponensial. Rekapitulasi ini kemudian akan menjadi *input* dalam memodelkan fungsi *reliability* dari subsistem kompresi gas sintesis.

4.2.6 Subsistem Konversi Amonia

Subsistem konversi amonia merupakan subsistem dengan jumlah *equipment* atau *equipment* sebanyak delapan buah. Berdasarkan data histroris kerusakan *equipment*, tidak terdapat *equipment* dengan data historis kerusakan yang cukup merepresentasikan *behavior* dari *equipment reliability*. *Failure rate* dari delapan *equipment* tersebut kemudian diperoleh dengan mengacu pada OREDA. Tabel 4.7 menampilkan rekapitulasi *fitting* distribusi pada *equipment* subsistem metanasi.

Tabel 4. 7 Rekapitulasi *Fitting* Distribusi *Equipment* Konversi Amonia

No	Kode *Equipment*	CV	MTTF (jam)	Tipe	Representasi Matriks *Phase-type*
1	102-B	1	490.196	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000204]$
2	105-D	1	350.877,2	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000285]$
3	111-L	1	14.643,4	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00006829]$
4	121-C	1	490.196	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000204]$
5	123-C1	1	18.775,8	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00005326]$
6	123-C2	1	18.775,8	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00005326]$
7	124-C	1	350.877,2	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000285]$
8	P-125	1	105.152,5	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000951]$

Hasil rekapitulasi delapan *equipment* pada Tabel 4.7 menunjukkan bahwa *equipment* pada subsistem konversi amonia memiliki representasi matriks *phase-type* eksponensial. Rekapitulasi ini kemudian akan menjadi *input* dalam memodelkan fungsi *reliability* dari subsistem konversi amonia.

4.2.7 Subsistem Refrigerasi

Subsistem refrigerasi merupakan subsistem dengan jumlah *equipment* atau *equipment* sebanyak 13 buah. Berdasarkan data histroris kerusakan *equipment*, *refrigerant compressor* 105-J merupakan satu-satunya *equipment* dengan data historis kerusakan yang cukup merepresentasikan *behavior* dari *equipment reliability*. *Failure rate* dari 212 *equipment* lainnya kemudian diperoleh dengan mengacu pada OREDA. Tabel 4.8 menampilkan rekapitulasi *fitting* distribusi pada *equipment* subsistem refrigerasi.

Tabel 4. 8 Rekapitulasi Fitting Distribusi Equipment Refrigerasi

No	Kode *Equipment*	CV	MTTF (jam)	Tipe	Representasi Matriks *Phase-type*
1	105-J	3,17	3.353,5	DFR	$n = 3$ $\boldsymbol{a} = [0{,}5177 \quad 0{,}3766 \quad 0{,}1056]$ $\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} -0.0001 & 0 & 0 \\ 0 & -0{,}0002 & 0 \\ 0 & 0 & -0{,}0022 \end{bmatrix}$
2	105-JT	1	20.946,8	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00004774]$
3	106-F	1	14.643,4	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00006829]$
4	107-F	1	40.950	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00002442]$
5	109-F	1	40.950	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00002442]$
6	113-J	1	163.398,7	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000612]$
7	113-JA	1	163.398,7	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{a} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000612]$

No	Kode *Equipment*	CV	MTTF (jam)	Tipe	Representasi Matriks *Phase-type*
8	120-C	1	40.950	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{\alpha} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00002442]$
9	124-J	1	163.398,7	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{\alpha} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000612]$
10	124-JA	1	163.398,7	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{\alpha} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}0000612]$
11	127-C	1	350.877,2	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{\alpha} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000285]$
12	128-C	1	350.877,2	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{\alpha} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000285]$
13	167-C	1	350.877,2	CFR	$n = 1$ $\boldsymbol{\alpha} = [1]$ $\boldsymbol{A} = [-0{,}00000285]$

Hasil rekapitulasi 13 *equipment* pada Tabel 4.8 menunjukkan bahwa *equipment* 105-J memiliki representasi matriks *phase-type 3-stage* hiper-eksponensial, sedangkan 12 *equipment* lainnya memiliki representasi matriks *phase-type* eksponensial. Rekapitulasi ini kemudian akan menjadi *input* dalam memodelkan fungsi *reliability* dari subsistem refrigerasi.

4.3 Perhitungan *Reliability* Sistem Produksi Amonia

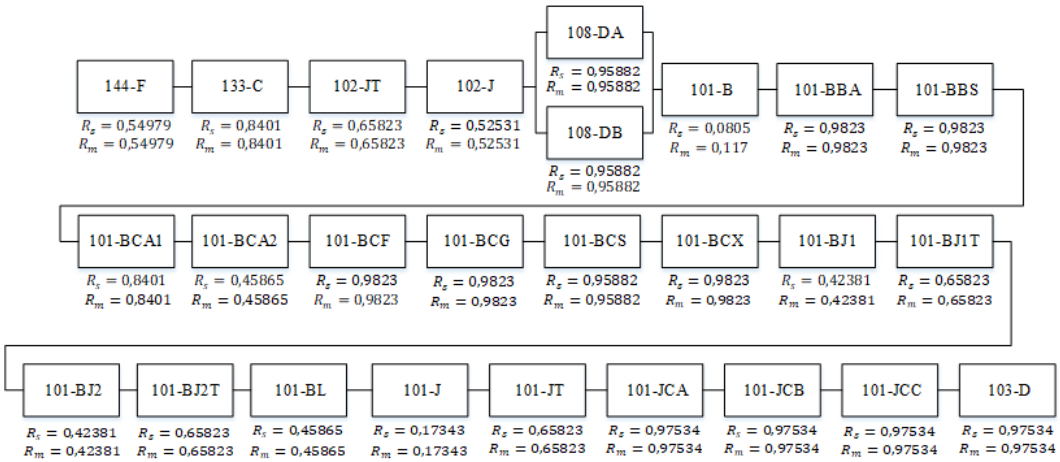
Perhitungan fungsi *reliability* sistem produksi amonia melibatkan proses penentuan hubungan antar subsistem dan antar *equipment* dalam sistem produksi. Hubungan antar subsistem dan antar *equipment* ini dimodelkan dengan menggunakan *reliability block diagram* (RBD). Dengan menggunakan *reliability block diagram* (RBD), maka sistem produksi amonia dapat dimodelkan dengan mengekspresikan *lifetime* dari sistem sebagai fungsi dari *equipment lifetime* melalui perantara subsistem secara hierarki (Alkaff & Qomarudin, 2020).

Terdapat dua macam perhitungan nilai *reliability* pada setiap *equipment* dalam *block diagram* yaitu perhitungan dengan hasil *reliability value* pada $t = 8.760$ secara skalar (R_s) dan matriks (R_m). Dua macam perhitungan ini

ditampilkan sebagai salah satu bentuk validasi jika perhitungan matriks *phase-type* dapat mendekati hasil perhitungan *reliability* secara skalar selain dari nilai *mean time to failure* (MTTF), *variance of time to failure* (VTTF), dan *coefficient of variance time to failure* (CVTTF) subsistem.

4.3.1 Perhitungan Reliability Subsistem Desulfurisasi dan Reforming

Reliability block diagram (RBD) subsistem desulfurisasi dan *reforming* digambarkan pada Gambar 4.8. Penentuan struktur dari *reliability block diagram* didasarkan pada hubungan antar *equipment* dalam subsistem.



Gambar 4. 8 RBD Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming*

Berdasarkan Gambar 4.8, didapatkan bahwa struktur dari subsistem desulfurisasi dan *reforming* terdiri atas dua *equipment* yang tersusun secara parallel yaitu *equipment* 108-D dan 108-DB serta dua puluh empat *equipment* yang tersusun secara seri. Penetapan struktur RBD tersebut didasarkan pada kondisi keseluruhan subsistem desulfurisasi dan *reforming* yang akan mengalami *failure* jika kedua *equipment* 108-DA dan 108-DB mengalami *failure* atau jika terdapat satu dari 24 *equipment* lainnya yang mengalami *failure.*

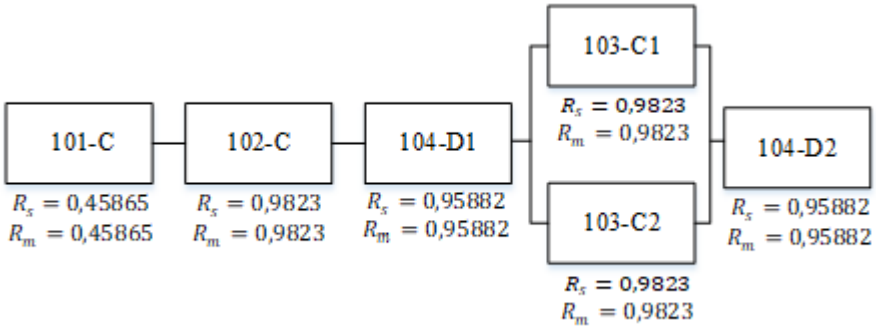
Representasi *phase-type distribution* dari subsistem kemudian dihitung dengan pendekatan Persamaan (42) dan (47). Selanjutnya dilakukan perhitungan MTTF, CVTFF, VTTF $R(8.760)$, dan penentuan kategori *failure rate* dari subsistem desulfurisasi dan *reforming.* Tabel 4.9 menunjukkan rekapitulasi perhitungan keempat parameter tersebut.

Tabel 4. 9 Rekapitulasi Perhitungan MTTF, CVTFF, VTTF, $R(8.760)$, dan Tipe *Failure Rate* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming*

Variabel	Hasil Perhitungan
MTTF	447,57
CVTTF	1,5036
VTTF	$4{,}52 \times 10^{5}$
Tipe	DFR
$R(8.760)$	$2{,}33 \times 10^{-5}$

4.3.2 Perhitungan Reliability Subsistem CO Shift Conversion

Reliability block diagram (RBD) subsistem CO *shift conversion* digambarkan pada Gambar 4.9. Penentuan struktur dari *reliability block diagram* didasarkan pada hubungan antar *equipment* dalam subsistem.



Gambar 4. 9 RBD Subsistem CO *Shift Conversion*

Berdasarkan Gambar 4.9, didapatkan bahwa struktur dari subsistem CO *shift conversion* terdiri atas dua *equipment* yang tersusun secara paralel yaitu *equipment* 103-C1 dan 103-C2 serta empat *equipment* yang tersusun secara seri. Penetapan struktur RBD tersebut didasarkan pada kondisi keseluruhan subsistem CO *shift conversion* yang akan mengalami *failure* jika kedua *equipment* 103-C1 dan 103-C2 mengalami *failure* atau jika terdapat satu dari empat *equipment* lainnya yang mengalami *failure.*

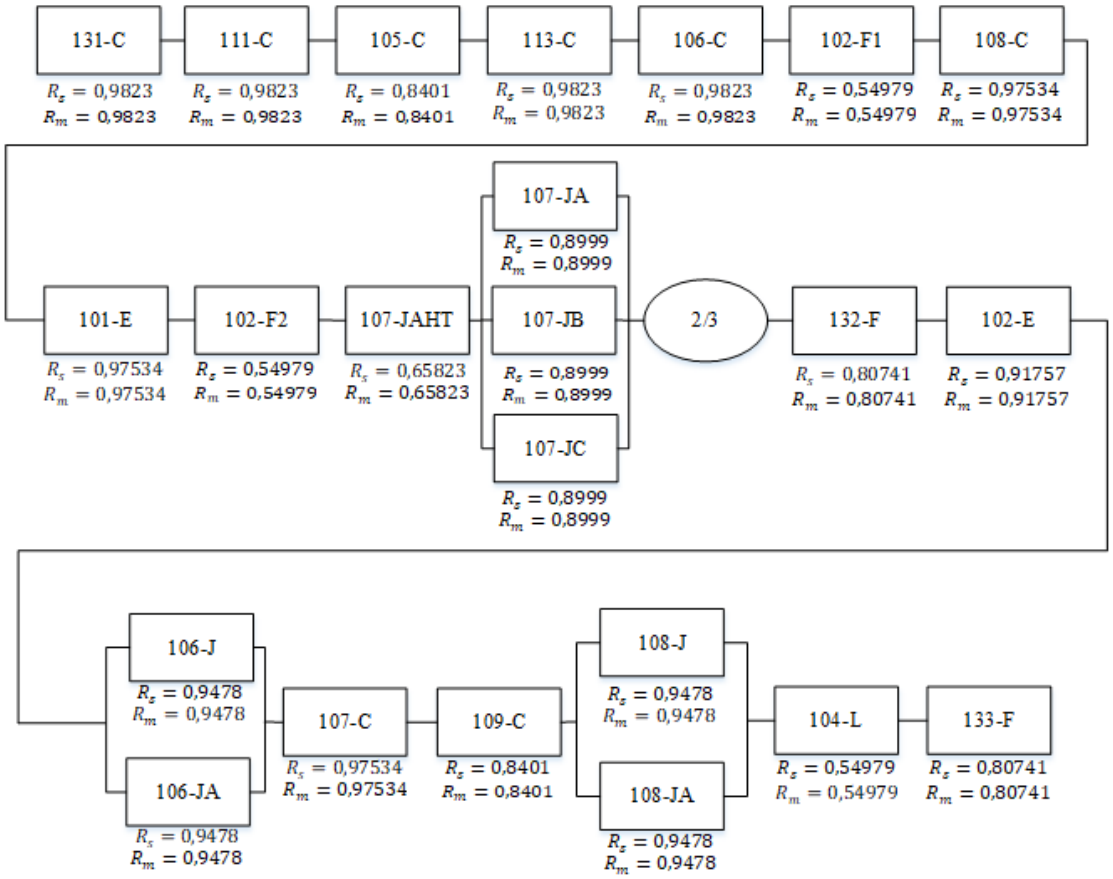
Representasi *phase-type distribution* dari subsistem kemudian dihitung dengan pendekatan Persamaan (42) dan (47). Selanjutnya dilakukan perhitungan MTTF, CVTFF, VTTF, $R(8.760)$, dan penentuan kategori *failure rate* dari subsistem CO *shift conversion* secara skalar dan matriks *phase-type.* Tabel 4.10 menunjukkan rekapitulasi perhitungan keempat parameter tersebut.

Tabel 4. 10 Rekapitulasi Perhitungan MTTF, CVTFF, VTTF, R(8.760), dan Tipe *Failure Rate* Subsistem CO *Shift Conversion*

Variabel	Hasil Perhitungan
MTTF	$9{,}93 \times 10^{3}$
CVTTF	0,9993
VTTF	$9{,}84 \times 10^{7}$
Tipe	IFR
$R(8.760)$	0,41406

4.3.3 Perhitungan Reliability Subsistem CO_2 Removal

Reliability block diagram (RBD) subsistem CO_2 *removal* digambarkan pada Gambar 4.10. Penentuan struktur dari *reliability block diagram* didasarkan pada hubungan antar *equipment* dalam subsistem.



Gambar 4. 10 RBD Subsistem CO_2 *Removal*

Berdasarkan Gambar 4.10, didapatkan bahwa struktur dari subsistem CO_2 *removal* memiliki dua struktur 68arallel terdiri atas dua *equipment* yaitu *equipment* 106-J/JA dan 108-J/JA serta satu struktur 2-*out-f-3* yang terdiri dari *equipment* 107-JA, 107-JB, dan 107-JC. Penetapan struktur RBD tersebut didasarkan pada kondisi

keseluruhan subsistem CO_2 *removal* yang akan mengalami *failure* jika mengalami satu dari empat kondisi berikut:

a. Kedua *equipment* 106-J dan 106-JA mengalami *failure.*
b. Kedua *equipment* 108-J dan 108-JA mengalami *failure.*
c. Ketiga *equipment* 107-JA, 107-JB, dan 107-JC mengalami *failure.*
d. Satu dari 15 *equipment* selain 106-J, 106-JA, 107-JA, 107-JB, 107-JC, 108-J, dan 108-JA mengalami *failure.*

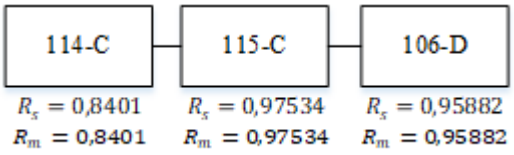
Representasi *phase-type distribution* dari subsistem kemudian dihitung dengan pendekatan Persamaan (42), (47), dan (58). Selanjutnya dilakukan perhitungan MTTF, CVTFF, $R(8.760)$, dan penentuan kategori *failure rate* dari subsistem CO_2 *removal* secara skalar dan matriks *phase-type.* Tabel 4.11 menunjukkan rekapitulasi perhitungan keempat parameter tersebut.

Tabel 4. 11 Rekapitulasi Perhitungan MTTF, CVTFF, $R(8.760)$, dan Tipe *Failure Rate* Subsistem CO_2 *Removal*

Variabel	Hasil Perhitungan
MTTF	$2{,}69 \times 10^3$
CVTTF	0,9931
VTTF	$7{,}17 \times 10^6$
Tipe	IFR
$R(8.760)$	0,03828

4.3.4 Perhitungan Reliability Subsistem Metanasi

Reliability block diagram (RBD) subsistem metanasi digambarkan pada Gambar 4.11. Penentuan struktur dari *reliability block diagram* didasarkan pada hubungan antar *equipment* dalam subsistem.



Gambar 4. 11 RBD Subsistem Metanasi

Berdasarkan Gambar 4.11, didapatkan bahwa struktur dari subsistem metanasi terdiri atas tiga *equipment* yang tersusun secara seri. Penetapan struktur RBD tersebut didasarkan pada kondisi keseluruhan subsistem metanasi yang akan mengalami *failure* jika satu dari ketiga *equipment* tersebut mengalami *failure.*

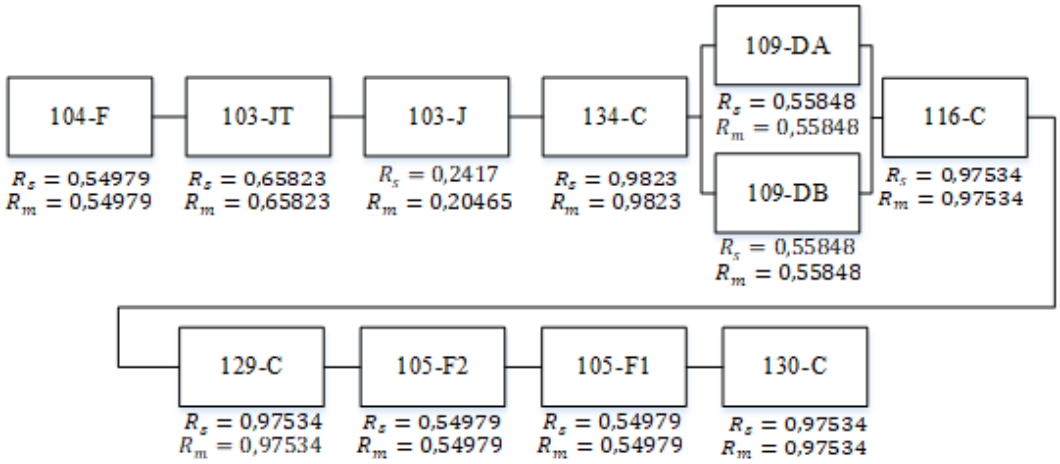
Representasi *phase-type distribution* dari subsistem kemudian dihitung dengan pendekatan Persamaan (42). Selanjutnya dilakukan perhitungan MTTF, CVTFF, $R(8.760)$, dan penentuan kategori *failure rate* dari subsistem metanasi secara skalar dan matriks *phase-type*. Tabel 4.12 menunjukkan rekapitulasi perhitungan keempat parameter tersebut.

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Perhitungan MTTF, CVTFF, $R(8.760)$, dan Tipe *Failure Rate* Subsistem Metanasi

Variabel	Hasil Perhitungan
MTTF	$3{,}63 \times 10^4$
CVTTF	1
VTTF	$1{,}31 \times 10^9$
Tipe	CFR
$R(8.760)$	0,78564

4.3.5 Perhitungan Reliability Subsistem Kompresi Gas Sintesis

Reliability block diagram (RBD) subsistem kompresi gas sintesis digambarkan pada Gambar 4.12. Penentuan struktur dari *reliability block diagram* didasarkan pada hubungan antar *equipment* dalam subsistem.



Gambar 4. 12 RBD Subsistem Kompresi Gas Sintesis

Berdasarkan Gambar 4.12, didapatkan bahwa struktur dari subsistem kompresi gas sintesis terdiri atas dua *equipment* yang tersusun secara 70embilan yaitu *equipment* 109-DA dan 109-DB serta 70embilan *equipment* yang tersusun secara seri. Penetapan struktur RBD tersebut didasarkan pada kondisi keseluruhan subsistem kompresi gas sintesis yang akan mengalami *failure* jika kedua *equipment* 109-DA dan 109-DB mengalami *failure* atau jika terdapat satu dari 70embilan *equipment* lainnya yang mengalami *failure*.

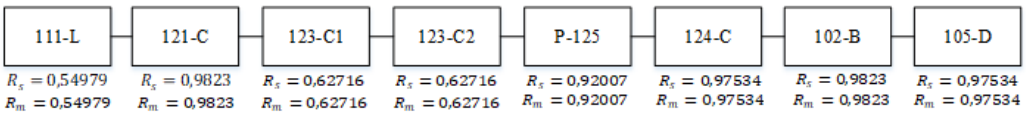
Representasi *phase-type distribution* dari subsistem kemudian dihitung dengan pendekatan Persamaan (42) dan (47). Selanjutnya dilakukan perhitungan MTTF, CVTFF, $R(8.760)$, dan penentuan kategori *failure rate* dari subsistem kompresi gas sintesis secara skalar dan matriks *phase-type*. Tabel 4.10 menunjukkan rekapitulasi perhitungan keempat parameter tersebut.

Tabel 4. 13 Rekapitulasi Perhitungan MTTF, CVTFF, $R(8.760)$, dan Tipe *Failure Rate* Subsistem Kompresi Gas Sintesis

Variabel	Hasil Perhitungan
MTTF	$1{,}91 \times 10^3$
CVTTF	1,117
VTTF	$4{,}57 \times 10^6$.
Tipe	DFR
$R(8.760)$	0,0164

4.3.6 Perhitungan Reliability Subsistem Konversi Amonia

Reliability block diagram (RBD) subsistem konversi amonia digambarkan pada Gambar 4.13. Penentuan struktur dari *reliability block diagram* didasarkan pada hubungan antar *equipment* dalam subsistem



Gambar 4. 13 RBD Subsistem Konversi Amonia

Berdasarkan Gambar 4.13, didapatkan bahwa struktur dari subsistem konversi amonia terdiri atas delapan *equipment* yang tersusun secara seri. Penetapan struktur RBD tersebut didasarkan pada kondisi keseluruhan subsistem yang akan mengalami *failure* jika satu dari delapan *equipment* di dalam subsistem mengalami *failure.*

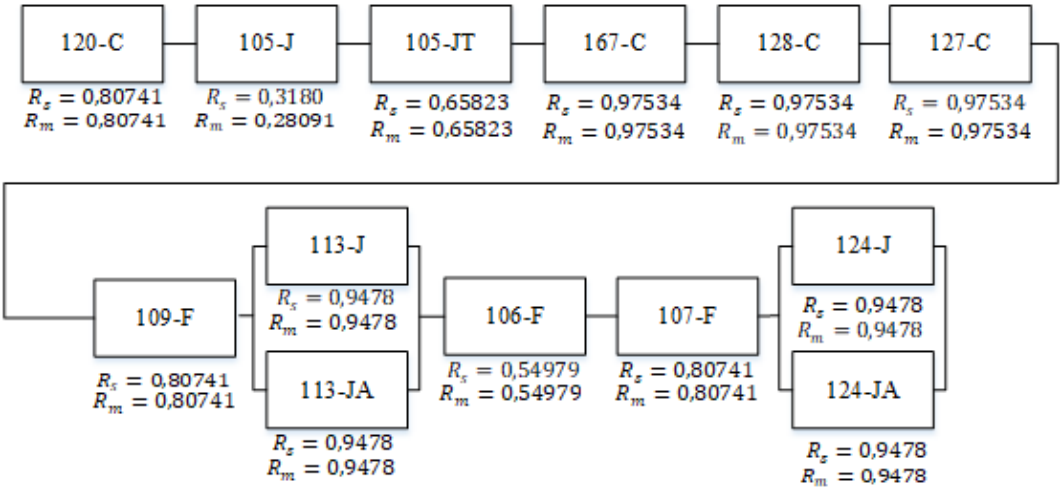
Representasi *phase-type distribution* dari subsistem kemudian dihitung dengan pendekatan Persamaan (42). Selanjutnya dilakukan perhitungan MTTF, CVTFF, $R(8.760)$, dan penentuan kategori *failure rate* dari subsistem konversi amonia secara skalar dan matriks *phase-type.* Tabel 4.14 menunjukkan rekapitulasi perhitungan keempat parameter tersebut.

Tabel 4. 14 Rekapitulasi Perhitungan MTTF, CVTFF, $R(8.760)$, dan Tipe *Failure Rate* Subsistem Konversi Amonia

Variabel	Hasil Perhitungan
MTTF	$5{,}15 \times 10^3$
CVTTF	1
VTTF	$2{,}65 \times 10^7$
Tipe	CFR
$R(8.760)$	0,18263

4.3.7 Perhitungan Reliability Subsistem Refrigerasi

Reliability block diagram (RBD) subsistem metanasi digambarkan pada Gambar 4.14. Penentuan struktur dari *reliability block diagram* didasarkan pada hubungan antar *equipment* dalam subsistem



Gambar 4. 14 RBD Subsistem Refrigerasi

Berdasarkan Gambar 4.14, didapatkan bahwa struktur dari subsistem refrigerasi memiliki dua struktur paralel terdiri atas dua *equipment* yaitu *equipment* 113-J/JA dan 124-J/JA. Penetapan struktur RBD tersebut didasarkan pada kondisi keseluruhan subsistem refrigerasi yang akan mengalami *failure* jika mengalami satu dari tiga kondisi berikut:

a. Kedua *equipment* 113-J dan 113-JA mengalami *failure.*
b. Kedua *equipment* 124-J dan 124-JA mengalami *failure.*
c. Satu dari sembilan *equipment* selain 113-J, 113-JA, 124-J, dan 124-JA mengalami *failure.*

Representasi *phase-type distribution* dari subsistem kemudian dihitung dengan pendekatan Persamaan (42) dan (47). Selanjutnya dilakukan perhitungan MTTF, CVTFF, $R(8.760)$, dan penentuan kategori *failure rate* dari subsistem

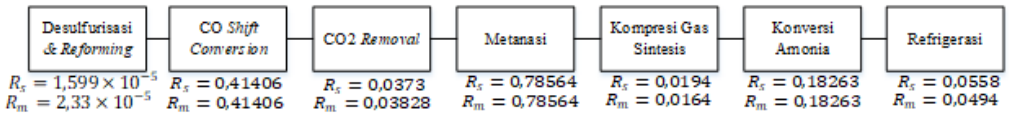
refrigerasi secara skalar dan matriks *phase-type.* Tabel 4.15 menunjukkan rekapitulasi perhitungan keempat parameter tersebut.

Tabel 4. 15 Rekapitulasi Perhitungan MTTF, CVTFF, $R(8.760)$, dan Tipe *Failure Rate* Subsistem Refrigerasi

Variabel	Hasil Perhitungan
MTTF	$2{,}725 \times 10^{3}$
CVTTF	1,0992
VTTF	$8{,}97 \times 10^{6}$
Tipe	DFR
$R(8.760)$	0,0494

4.3.8 Perhitungan Reliability Sistem Produksi Amonia

Perhitungan *reliability* sistem produksi amonia dilakukan setelah mendapatkan representasi matriks *phase-type* dari *equipment* dan struktur hubungan antar *equipment* dalam subsistem produksi. *Relibility block diagram* dari sistem produksi amonia secara umum digambarkan dalam Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 RBD Sistem Prduksi Amonia

Hasil perhitungan fungsi *reliability* dengan *phase-type distribution* menghasilkan matriks *phase-type* berdistribusi hipo-eksponensial dengan orde 393.660. Rekapitulasi perhitungan *reliability* sistem dengan matriks *phase-type* ditampilkan dalam Tabel 4.16.

Tabel 4. 16 Rekapitulasi Perhitungan *Reliability* Sistem Produksi Amonia

Waktu (jam) t	Reliability $R(t)$	Hazard $h(t)$
0	0,99999	0,2244300
438	0,14134	0,0033173
876	0,03566	0,0030037
1314	0,00998	0,0028292
1752	0,00296	0,0027306
2190	0,00091	0,0026750
2628	0,00028	0,0026422
3066	$8{,}9\times10^{-5}$	0,0026211
3504	$2{,}8\times10^{-5}$	0,0026059
3942	$9{,}1\times10^{-5}$	0,0025936
4380	$2{,}9\times10^{-6}$	0,0025830
4818	$9{,}4\times10^{-7}$	0,0025732

Waktu (jam) t	Reliability $R(t)$	Hazard $h(t)$
5256	$3{,}1\times10^{-7}$	0,0025641
5694	$1{,}0\times10^{-7}$	0,0025555
6132	$3{,}3\times10^{-8}$	0,0025472
6570	$1{,}1\times10^{-8}$	0,0025393
7008	$3{,}6\times10^{-9}$	0,0025318
7446	$1{,}2\times10^{-9}$	0,0025246
7884	$3{,}9\times10^{-10}$	0,0025177
8322	$1{,}3\times10^{-10}$	0,0025111
8760	$4{,}3\times10^{-11}$	0,0025048

Kemudian dilakukan perhitungan MTTF, CVTTF, dan $R(8.760)$ secara skalar dan matriks. Tabel 4.17 merupakan rekapitulasi perhitungan MTTF, CVTTF, dan $R(8.760)$ secara skalar dan matriks.

Tabel 4. 17 Rekapitulasi Perhitungan MTTF, CVTFF, R(8.760), dan Tipe *Failure Rate* Sistem Produksi Amonia

Variabel	Hasil Perhitungan
MTTF	201,9622
CVTTF	1,3921
VTTF	$7{,}9 \times 10^{4}$
Tipe	DFR
$R(8.760)$	$4{,}31\times10^{-11}$

BAB 5
ANALISIS HASIL PEMODELAN DAN PERANCANGAN SKENARIO PERBAIKAN

Setelah hasil perhitungan *reliability* dari *equipment*, subsistem, dan sistem didapatkan, selanjutnya dilakukan analisis terkait hasil perhitungan tersebut. Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan pemahaman lebih mendalam terkait kondisi *reliability* dari sistem produksi amonia. Pada bab ini akan dipaparkan hasil analisis *reliability* sistem produksi amonia

5.1 Analisis Penggunaan Metode *Phase-type Distribution* dalam Pemodelan *Reliability* Sistem Produksi Amonia

Dalam proses memodelkan *reliability* sistem dengan *phase-type* distribution dengan *software* MATLAB R2015a, dihasilkan perhitungan fungsi *reliability* sistem produksi yang terdiri dari 90 *equipment* dengan waktu kalkulasi selama 20 menit. Lama waktu kalkulasi ini tergolong jauh lebih cepat apabila dibandingkan dengan lama kalkulasi metode skalar yang memakan waktu lebih dari 24 jam setelah dilakukan uji coba perhitungan *reliability* sistem. Selain dilakukan perhitungan fungsi *reliability*, dilakukan juga perhitungan *mean time to failure* (MTTF), *variance of time to failure* (VTTF), *coeffiecient of variance time to failure* (CVTTF), dan nilai *reliability* pada $t = 8.760$ jam.

Perhitungan MTTF berguna sebagai landasan dalam perhitungan VTTF dan CVTTF. Perhitungan VTTF dilakukan untuk mengetahui tingkat persebaran data *time to failure* dari MTTF. Nilai CVTTF berguna untuk membandingkan dua distribusi data yang memiliki satuan berbeda, dalam hal ini yaitu distribusi data *time to failure* yang memiliki satuan jam dan distribusi *hazard function* yang memiliki satuan laju kerusakan per jam. Hasil perbandingan ini kemudian berguna dalam menentukan tipe *hazard rate* dari distribusi *time to failure equipment*, subsistem, dan sistem. Sedangkan nilai *reliability* pada $t = 8.760$ jam akan berguna sebagai landasan dalam upaya peningkatan *reliability* sistem. Walaupun telah dilakukan perhitungan pada keempat parameter tersebut, perhitungan ini masih belum konkrit untuk mendeskripsikan *behavior* dari sistem. Untuk itu, selanjutnya dilakukan *plotting* fungsi *reliability* terhadap waktu dalam bentuk grafik.

Pemodelan *reliability* ini dapat digunakan untuk memprediksi besarnya probabilitas kegagalan dari *equipment,* subsitem, dan sistem dalam interval waktu operasi tertentu. Perhitungan MTTF dapat digunakan sebagai prediksi terjadinya kerusakan pada *equipment* apabila nilai SDTTF relatif rendah. Jika nilai SDTTF tinggi, besar kemungkinan akan terdapat penyimpangan terjadinya kerusakan pada *equipment* dari hasil perhitungan MTTF. Penyimpangan ini dapat terjadi pada kerusakan berulang *equipment* setelah digunakan dalam rentang waktu t. Dengan digunakannya asumsi *as good as new* maka penyimpanan interval kerusakan dari MTTF tidak terjadi walaupun pada kondisi nyata, jika dilakukan *repair* atau *replace* maka $R(t)$ tidak kembali ke kondisi awal.

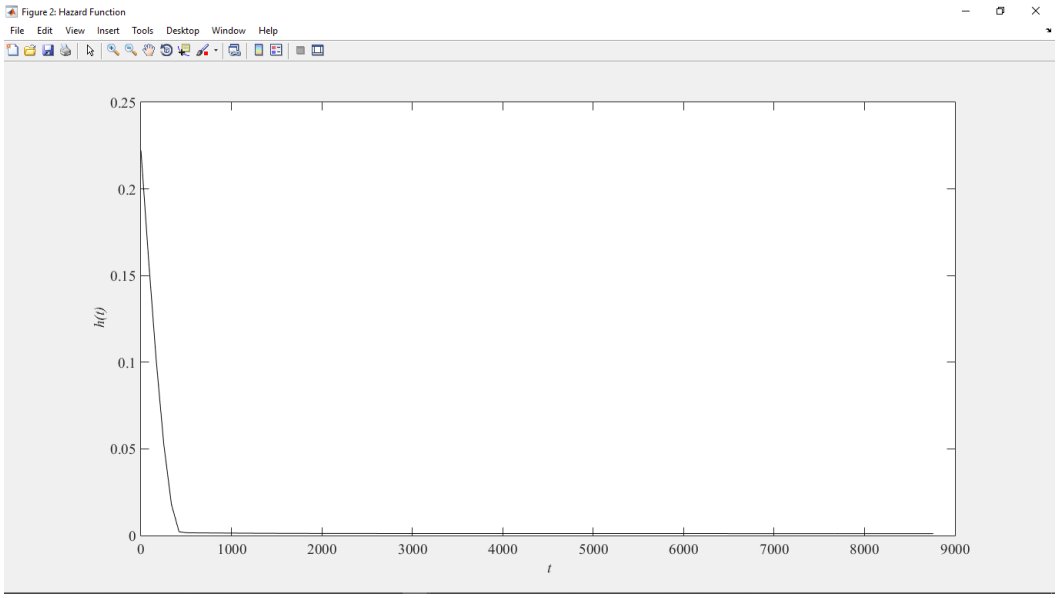
Distribusi eksponensial yang merupakan distribusi sebagian besar *equipment* memiliki karakter dimana nilai SDTTF sama dengan MTTF. Dalam perencanaan *maintenance*, nilai MTTF tetap dapat dipertimbangkan karena nilai MTTF adalah satu-satunya nilai yang dapat membantu dalam perencanaan. Pada distribusi Weibull dua parameter terdapat parameter α yaitu parameter skala dari distribusi dan parameter β yang merupakan parameter bentuk. Pertambahan nilai parameter α pada distribusi Weibull memiliki efek melandaikan grafik *probability density function* (PDF) dari data *time to failure*, sedangkan perubahan pada parameter β akan memiliki efek pada *behavior* dari *failure rate equipment*. Nilai parameter $\beta = 1$ dapat diinterpretasikan bahwa distribusi *time to falure* akan berubah menjadi distribusi eksponensial yang memiliki *behavior* CFR. Nilai parameter $\beta < 1$ dapat diartikan bahwa *equipment* memiliki *behavior* DFR dimana *failure rate* akan menurun seiring berjalannya waktu dan *failure* kemungkinan besar akan terjadi pada waktu awal pemakaian. Nilai parameter $\beta > 1$ dapat diartikan bahwa *equipment* memiliki *behavior* IFR dimana *failure rate* akan mengalami kenaikan seiring berjalannya waktu dan probabilitas terjadinya *failure* akan menjadi semakin besar seiring berjalannya waktu pemakaian *equipment*. Hal ini juga menandakan bahwa *equipment* telah memasuki fase *wear out.*

5.2 Analisis Pemodelan *Reliability* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming*

5.2.1 *Analisis Perhitungan MTTF, CVTTF, VTTF, $R(t)$ dan Penentuan Tipe Hazard Function*

Perhitungan nilai MTTF subsistem diperoleh sebesar 447,57 jam dengan VTTF sebesar $4{,}52 \times 10^5$. Nilai CVTTF sebesar 1,5036 menandakan bahwa *failure rate* dari subsistem desulfurisasi dan reforming tergolong ke dalam *decreasing failure rate* dan dibuktikan dengan grafik *hazard function* pada Gambar 5.1.

Dari hasil VTTF kemudian dapat dilakukan perhitungan *standar deviation of time to failure* (SDTTF) yaitu sebesar 672,3. Hal ini menandakan bahwa data *time to failure* sangat bervariasi dikarenakan nilai SDTTF yang besar dan melebihi nilai MTTF. Nilai SDTTF yang lebih besar daripada MTTF ini menandakan bahwa data *lifetime* dari subsistem tidak dapat hanya direpresentasikan dengan nilai MTTF. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis terkait grafik fungsi *reliability* subsistem untuk lebih memahami *behavior* dari *reliability.*



Gambar 5. 1 Grafik Hazard Function Subsistem Desulfurisasi dan Reforming

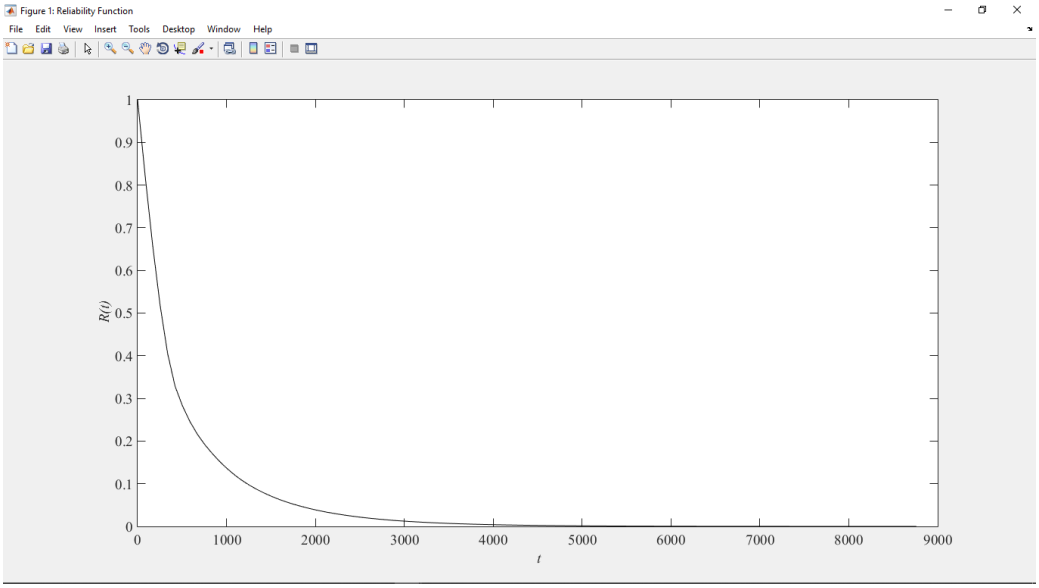
Nilai *reliability* subsistem desulfurisasi pada $t = 8.760$ sebesar $2{,}33 \times 10^{-5}$ diartikan bahwa dalam waktu 8.760 jam atau setara dengan satu tahun produksi non stop, probabilitas sistem akan bekerja sesuai dengan fungsinya adalah sebesar $2{,}33 \times 10^{-5}$ atau 0,0023%. Nilai *reliability* ini juga dapat diartikan dalam waktu operasi selama 8.760 jam, jika subsistem melakukan *running* proses produksi

sebanyak 100.000 kali dengan asumsi satu proses produksi dimulai dengan bahan baku memasuki *knockout drum* 144-F dan keluar dari *secondary reformer* 103-D maka hanya akan ada 2,33 proses yang berhasil dilakukan tanpa mengalami *failure* dalam pelaksanaannya. Sedangkan sisanya akan mengalami *failure* dalam prosesnya.

Rendahnya nilai *reliability* subsistem dikarenakan tingkat kerusakan masing-masing *equipment* yang tinggi. Sebagai contoh *equipment* 101-B memiliki nilai reliability 0,117 artinya bahwa *equipment* ini memiliki probabilitas bekerja sesuai dengan fungsinya sebesar 11,7%. Di samping itu, subsistem ini didominasi oleh struktur seri sehingga jika terjadi kerusakan pada salah satu *equipment* yang menyebabkan *equipment* lainnya akan ikut terhenti. Selain itu, jika dilihat dari formula perhitungan *reliability* susunan seri pada Persamaan (3) yang merupakan hasil perkalian dari $R_1, R_2, \ldots . R_n$ maka apabila terus dikalikan dengan semakin banyak nilai R maka hasil dari R_s itu sendiri akan semakin kecil. Lain halnya dengan persamaan susunan paralel di mana R sistem merupakan nilai dari $1 - ((1 - R_1) \ldots (1 - R_n))$ yang berarti satu dikurangi suatu nilai bilangan yang kecil sehingga dapat menghasilkan nilai R_s yang besar. Dalam kondisi nyata, tidak terdapat pabrik yang tidak rusak dalam masa operasi selama 1 tahun, sehingga masuk akal jika nilai $R(8760)$ sangat rendah. Lebih jelasnya akan dilakukan analisis terkait nilai $R(400)$ pada Subsubbab 5.2.2.

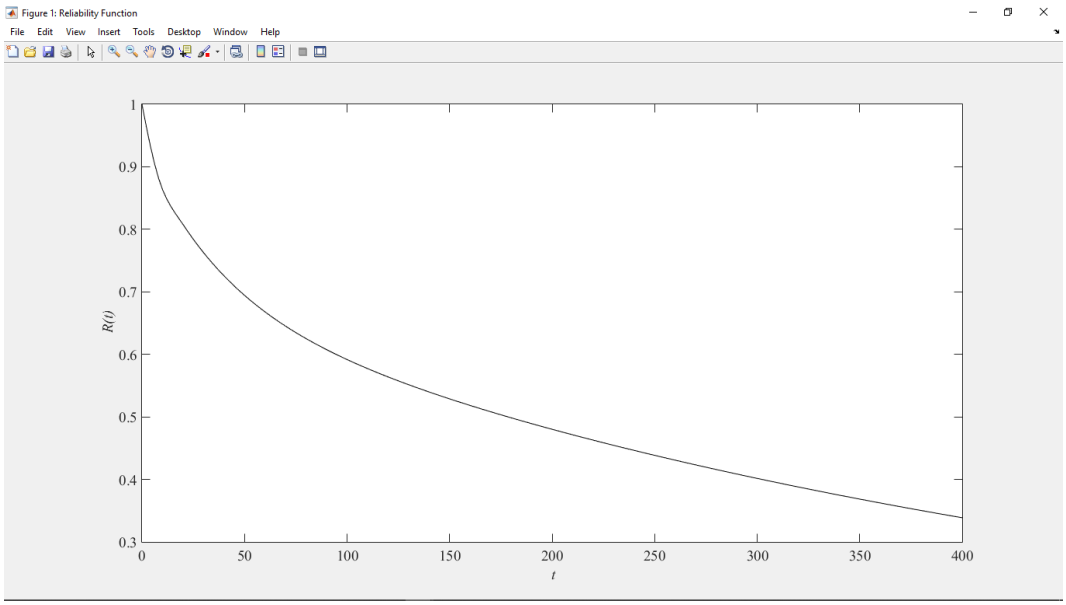
5.2.2 *Analisis Grafik Fungsi Reliability Subsistem Desulfurisasi dan Reforming*

Berdasarkan perhitungan fungsi *reliability* dari *equipment* dan subsistem desulfurisasi dan *reforming*, maka selanjutnya dapat dilakukan *plotting* fungsi *reliability* terhadap waktu dengan $t = 8.760$. Grafik hasil *plotting* fungsi *reliability* subsistem desulfurisasi dan *reforming* ditampilkan dalam Gambar 5.2.



Gambar 5. 2 Grafik Fungsi *Reliability* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming* dengan Waktu Operasi Selama 8.760 jam

Berdasarkan Gambar 5.2 dapat terlihat bahwa *reliability* subsistem desulfurisasi mengalami penurunan yang sangat curam dalam 400 jam pertama atau setara kurang lebih dengan 16 hari operasi non-stop. Oleh karena itu selanjutnya dilakukan *plotting* grafik *reliability* dengan $t = 400$ jam untuk mengetahui *behavior reliability* sistem lebih detail. Gambar 5.2 merupakan grafik fungsi *reliability* subsistem desulfurisasi dan *reforming* pada 400 jam pertama waktu operasi.



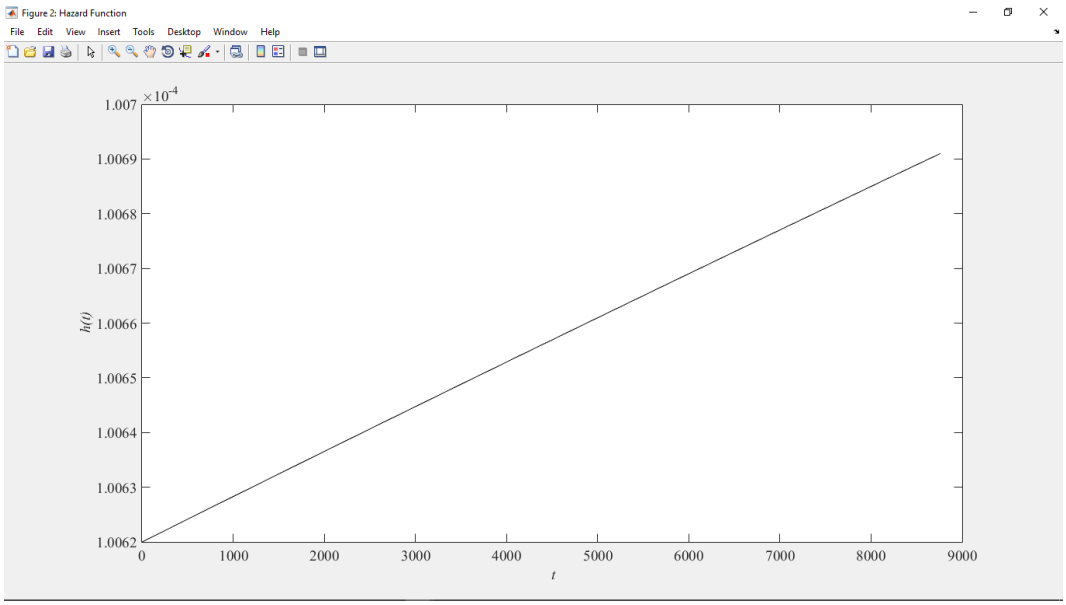
Gambar 5. 3 Grafik Fungsi *Reliability* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming* dengan Waktu Operasi Selama 400 jam

Dari Gambar 5.3 dapat diperoleh informasi bahwa *reliability* dari subsistem desulfurisasi dan *reforming* dalam waktu 400 jam pertama waktu produksi adalah berkisar sebesar 0,3. Nilai *reliability* subsistem desulfurisasi pada $t = 400$ sebesar 0,3 diartikan bahwa dalam 400 jam atau setara dengan 16 hari operasi non-stop, probabilitas sistem akan bekerja sesuai dengan fungsinya adalah sebesar 0,3 atau 30%. Nilai *reliability* ini juga dapat diartikan dalam waktu operasi selama 400 jam, jika subsistem melakukan *running* proses produksi sebanyak 100 kali dengan asumsi satu proses produksi dimulai dengan bahan baku memasuki *knockout drum* 144-F dan keluar dari *secondary reformer* 103-D maka hanya akan ada 30 proses yang berhasil dilakukan tanpa mengalami *failure* dalam pelaksanaannya, sedangkan sisanya akan mengalami *failure.* Kondisi tersebut dapat menjadi pertimbangan untuk melakukan *preventive maintenance* sebelum waktu operasi mencapai 400 jam. Namun, adanya *preventive maintenance* ini akan berdampak pada availibilitas sistem yang akan menurun dari kondisi awal tanpa *preventive maintenance* sebesar satu menjadi 0,78 dengan asumsi MTTR selama lima hari didasarkan pada rata-rata waktu perbaikan pada Pabrik Amonia 1A.

5.3 Analisis Pemodelan *Reliability* Subsistem CO *Shift Conversion*

5.3.1 Analisis Perhitungan MTTF, CVTTF, VTTF, $R(t)$ dan Penentuan Tipe Hazard Function

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai MTTF subsistem adalah sebesar 9930,7 jam dengan VTTF sebesar $9{,}84 \times 10^7$. Nilai CVTTF sebesar 0,9993 menandakan bahwa *failure rate* dari subsistem tergolong ke dalam *increasing failure rate* dan dibuktikan dengan grafik *hazard function* pada Gambar 5.4. Dari hasil VTTF kemudian dapat dilakukan perhitungan *standar deviation of time to failure* (SDTTF) yaitu sebesar 9919,7. Hal ini menandakan bahwa data *time to failure* sangat bervariasi dikarenakan nilai SDTTF yang besar dan mendekati nilai MTTF dan data *lifetime* dari subsistem tidak dapat hanya direpresentasikan dengan nilai MTTF. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis terkait grafik fungsi *reliability* subsistem untuk lebih memahami *behavior* dari *reliability.*



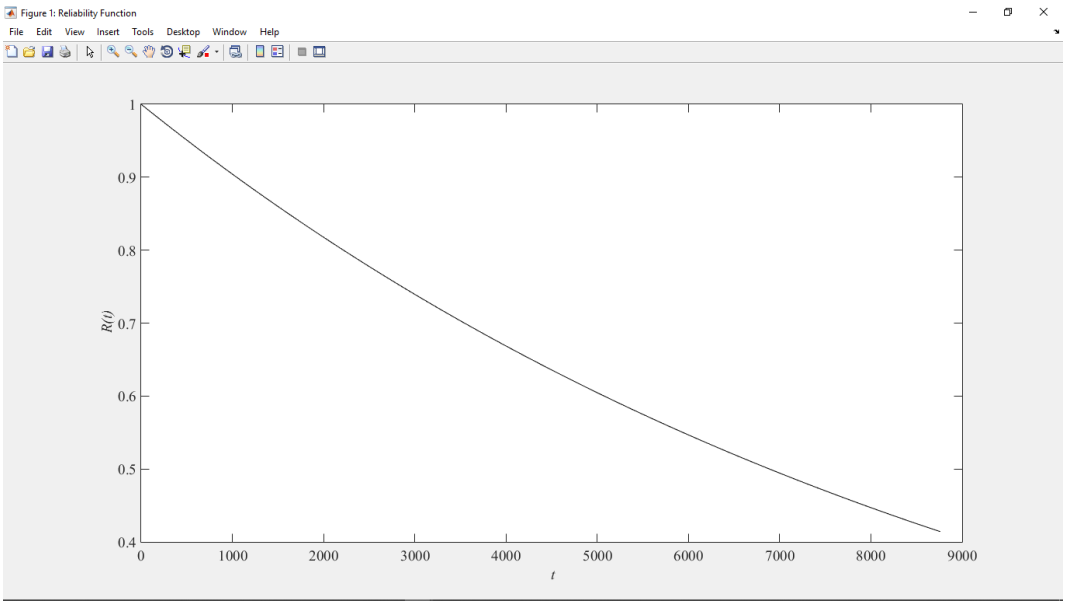
Gambar 5. 4 Grafik *Hazard Function* Subsistem CO *Shift Conversion*

Nilai *reliability* subsistem pada $t = 8.760$ sebesar 0,41406 diartikan bahwa dalam waktu 8.760 jam atau setara dengan satu tahun produksi non stop, probabilitas sistem akan bekerja sesuai dengan fungsinya adalah sebesar 0,41406 atau 41,4%. Nilai *reliability* ini juga dapat diartikan dalam waktu operasi selama 8.760 jam, jika subsistem melakukan *running* proses produksi sebanyak 100.000 kali dengan asumsi satu proses produksi dimulai dengan bahan baku memasuki *Secondary Reformer Waste Heat Boiler* 101-C dan keluar dari *Low Temperature Shift Converter* 104-D2 maka ada 41.406 proses yang berhasil dilakukan tanpa mengalami *failure* dalam pelaksanaannya. Sedangkan sisanya yaitu sebanyak 58.594 proses akan mengalami *failure*

Rendahnya nilai *reliability* subsistem dikarenakan formula perhitungan *reliability* susunan seri pada Persamaan (3) yang merupakan hasil perkalian dari $R_1, R_2, \ldots . R_n$ dan apabila terus dikalikan dengan semakin banyak nilai R maka hasil dari R_s itu sendiri akan semakin kecil. Lain halnya dengan persamaan susunan paralel di mana R sistem merupakan nilai dari $1 - ((1 - R_1) \ldots (1 - R_n))$ yang berarti satu dikurangi suatu nilai bilangan yang kecil sehingga dapat menghasilkan nilai R_s yang besar.

5.3.2 *Analisis Grafik Fungsi Reliability Subsistem CO Shift Conversion*

Berdasarkan perhitungan fungsi *reliability* dari *equipment* dan subsistem CO *shift conversion*, maka selanjutnya dapat dilakukan *plotting* fungsi *reliability* terhadap waktu dengan $t = 8.760$. Grafik hasil *plotting* fungsi *reliability* subsistem ditampilkan dalam Gambar 5.5.



Gambar 5. 5 Grafik Fungsi *Reliability* Subsistem CO *Shift Conversion* dengan Waktu Operasi Selama 8.760 jam

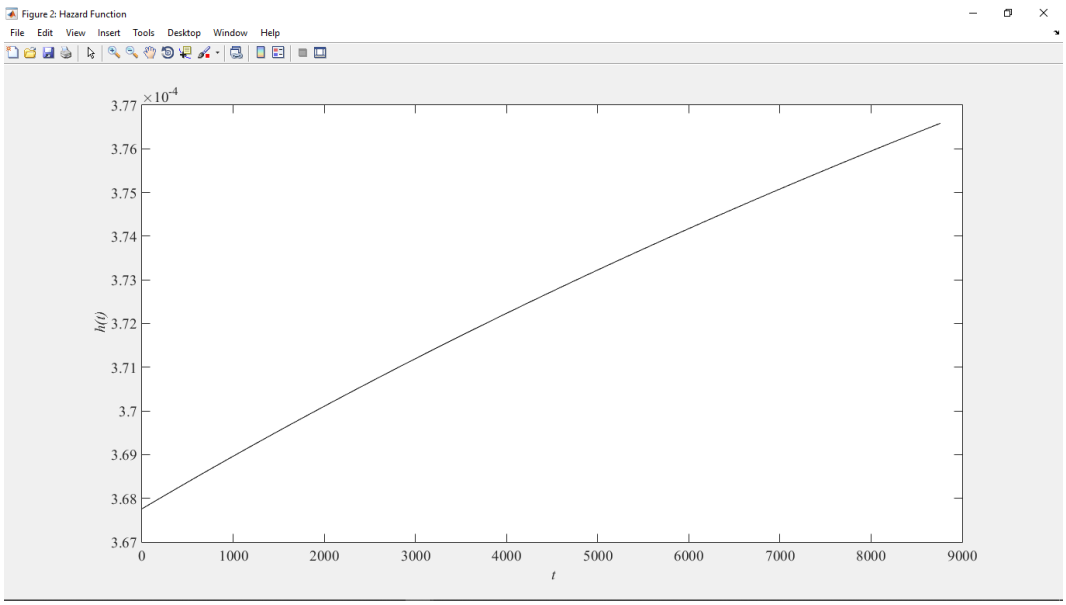
Dari Gambar 5.5 dapat terlihat bahwa *reliability* subsistem tidak mengalami penurunan yang curam dalam dalam kurun waktu 8.760 jam waktu operasi. Namun sebaiknya tetap dilakukan *preventive maintenance* pada subsistem untuk mencegah semakin turunnya nilai *reliability* subsistem

5.4 Analisis Pemodelan *Reliability* Subsistem CO_2 *Removal*

5.4.1 *Analisis Perhitungan MTTF, CVTTF, VTTF, $R(t)$ dan Penentuan Tipe Hazard Function*

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai MTTF subsistem adalah sebesar 2697,7 jam dengan VTTF sebesar $7{,}17 \times 10^6$. Nilai CVTTF sebesar 0,993 menandakan bahwa *failure rate* dari subsistem tergolong ke dalam *decreasing failure rate* dan dibuktikan dengan grafik *hazard function* pada Gambar 5.6. Dari hasil VTTF kemudian dapat dilakukan perhitungan *standar deviation of time to*

failure (SDTTF) yaitu 2677,7. Nilai SDTTF ini menandakan bahwa data *time to failure* sangat bervariasi dikarenakan nilai SDTTF yang besar dan mendekati nilai MTTF. Hal ini dapat diartikan bahwa *lifetime* dari subsistem tidak dapat hanya direpresentasikan dengan nilai MTTF. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis terkait grafik fungsi *reliability* subsistem untuk lebih memahami *behavior* dari *reliability.*



Gambar 5. 6 Grafik *Hazard Function* Subsistem CO_2 *Removal*

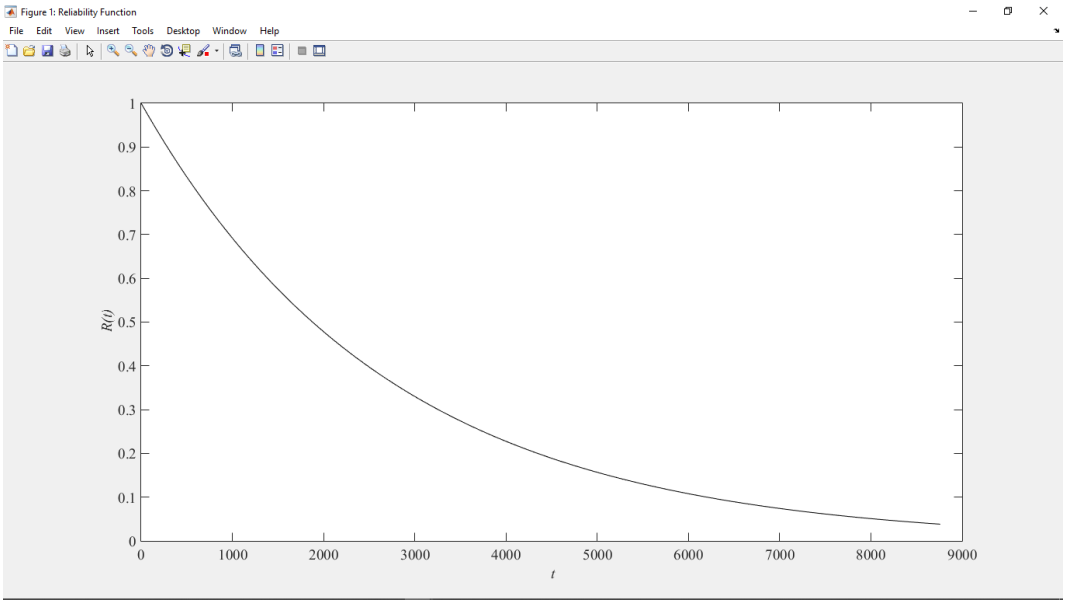
Nilai *reliability* subsistem pada $t = 8.760$ sebesar 0,0373 diartikan bahwa dalam waktu 8.760 jam atau setara dengan satu tahun produksi non stop, probabilitas sistem akan bekerja sesuai dengan fungsinya adalah sebesar 0,0373 atau 3,73%. Nilai *reliability* ini juga dapat diartikan dalam waktu operasi selama 8760, jika subsistem melakukan *running* proses produksi sebanyak 100.000 kali dengan asumsi satu proses produksi dimulai dengan bahan baku memasuki *LTS Effluent Boiled Feed Water Exchanger* 131-C dan keluar dari CO_2 *Absorber Overhead Knockout Drum* 102-F2 maka hanya akan ada 3.730 proses yang berhasil dilakukan tanpa mengalami *failure* dalam pelaksanaannya. Sedangkan sisanya akan mengalami *failure* dalam prosesnya.

Rendahnya nilai *reliability* subsistem dikarenakan subsistem ini didominasi oleh struktur seri sehingga jika terjadi kerusakan pada salah satu *equipment* yang menyebabkan *equipment* lainnya akan ikut terhenti. Selain itu, jika dilihat dari

formula perhitungan *reliability* susunan seri pada Persamaan (3) yang merupakan hasil perkalian dari $R_1, R_2, \ldots . R_n$ maka apabila terus dikalikan dengan semakin banyak nilai R maka hasil dari R_s itu sendiri akan semakin kecil. Lain halnya dengan persamaan susunan paralel di mana R sistem merupakan nilai dari $1 - ((1 - R_1) \ldots (1 - R_n))$ yang berarti satu dikurangi suatu nilai bilangan yang kecil sehingga dapat menghasilkan nilai R_s yang besar.

5.4.2 Analisis Grafik Fungsi Reliability Subsistem CO_2 Removal

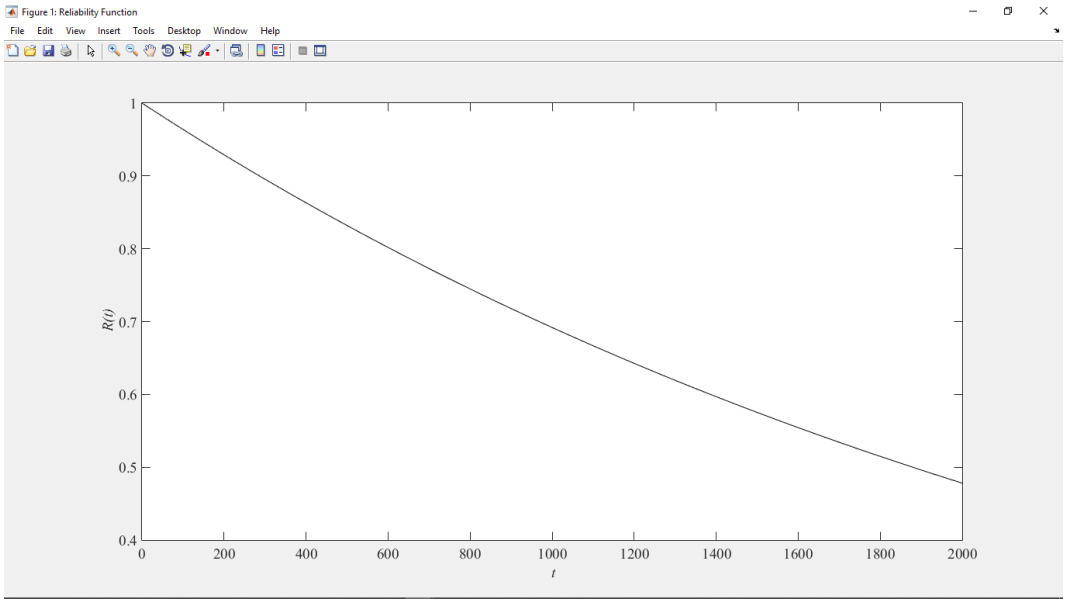
Berdasarkan perhitungan fungsi *reliability* dari *equipment* dan subsistem CO_2 *removal*, maka selanjutnya dapat dilakukan *plotting* fungsi *reliability* terhadap waktu dengan $t = 8.760$. Grafik hasil *plotting* fungsi *reliability* subsistem ditampilkan dalam Gambar 5.7.



Gambar 5. 7 Grafik Fungsi *Reliability* Subsistem CO_2 *Removal* dengan Waktu Operasi Selama 8.760 jam

Dari Gambar 5.7 dapat terlihat bahwa *reliability* subsistem mengalami penurunan nilai *reliability* secara signifikan dalam kurun waktu operasi 2.000 jam atau kurang lebih setara dengan 83 hari operasi. Oleh karena itu selanjutnya dilakukan *plotting* grafik *reliability* dengan $t = 2.000$ jam untuk mengetahui *behavior reliability* sistem lebih detail. Gambar 5.8 merupakan grafik fungsi

reliability subsistem desulfurisasi dan *reforming* pada 2.000 jam pertama waktu operasi.



Gambar 5. 8 Grafik Fungsi *Reliability* Subsistem CO_2 *Removal* dengan Waktu Operasi Selama 2.000 jam

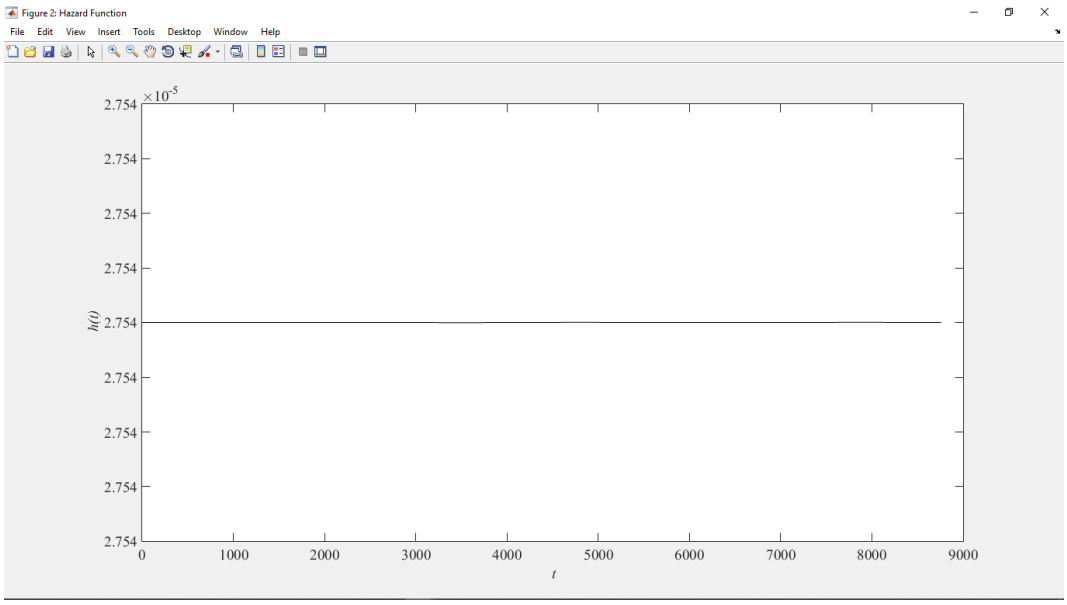
Dari Gambar 5.8 dapat diperoleh informasi bahwa *reliability* dari subsistem CO_2 *Removal* dalam waktu 2.000 jam pertama waktu produksi adalah berkisar sebesar 0,47. Nilai *reliability* subsistem CO_2 *Removal* pada $t = 2.000$ sebesar 0,47 diartikan bahwa dalam waktu 2.000 jam atau setara dengan 83 hari operasi non-stop, probabilitas sistem akan bekerja sesuai dengan fungsinya adalah sebesar 0,47 atau 47%. Nilai *reliability* ini juga dapat diartikan dalam waktu operasi selama 2.000 jam, jika subsistem melakukan *running* proses produksi sebanyak 100 kali dengan asumsi satu proses produksi dimulai dengan bahan baku memasuki *LTS Effluent Boiled Feed Water Exchanger* 131-C dan keluar dari CO_2 *Absorber Overhead Knockout Drum* 102-F2 maka hanya akan ada 30 proses yang berhasil dilakukan tanpa mengalami *failure* dalam pelaksanaannya, sedangkan sisanya akan mengalami *failure.* Kondisi tersebut dapat menjadi pertimbangan untuk melakukan *preventive maintenance* sebelum waktu operasi mencapai 2.000 jam.

Namun, adanya *preventive maintenance* ini akan berdampak pada availibilitas sistem yang akan menurun dari kondisi awal tanpa *preventive maintenance* sebesar satu menjadi 0,95 dengan asumsi MTTR selama lima hari didasarkan pada rata-rata waktu perbaikan pada Pabrik Amonia 1A.

5.5 Analisis Pemodelan *Reliability* Subsistem Metanasi

5.5.1 Analisis Perhitungan MTTF, CVTTF, VTTF, $R(t)$ dan Penentuan Tipe Hazard Function

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai MTTF subsistem adalah sebesar $3{,}63 \times 10^4$ jam dengan VTTF sebesar $1{,}31 \times 10^9$. Nilai CVTTF sebesar 1 menandakan bahwa *failure rate* dari subsistem tergolong ke dalam *constant failure rate* dan dibuktikan dengan grafik *hazard function* pada Gambar 5.9. Dari hasil VTTF kemudian dapat dilakukan perhitungan *standar deviation of time to failure* (SDTTF) yaitu sebesar $3{,}61 \times 10^4$. Hal ini menandakan bahwa data *time to failure* sangat bervariasi dikarenakan nilai SDTTF yang besar dan mendekati nilai MTTF. Kondisi ini dapat menandakan bahwa *lifetime* dari subsistem tidak dapat hanya direpresentasikan dengan nilai MTTF. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis terkait grafik fungsi *reliability* subsistem untuk lebih memahami *behavior* dari *reliability.*



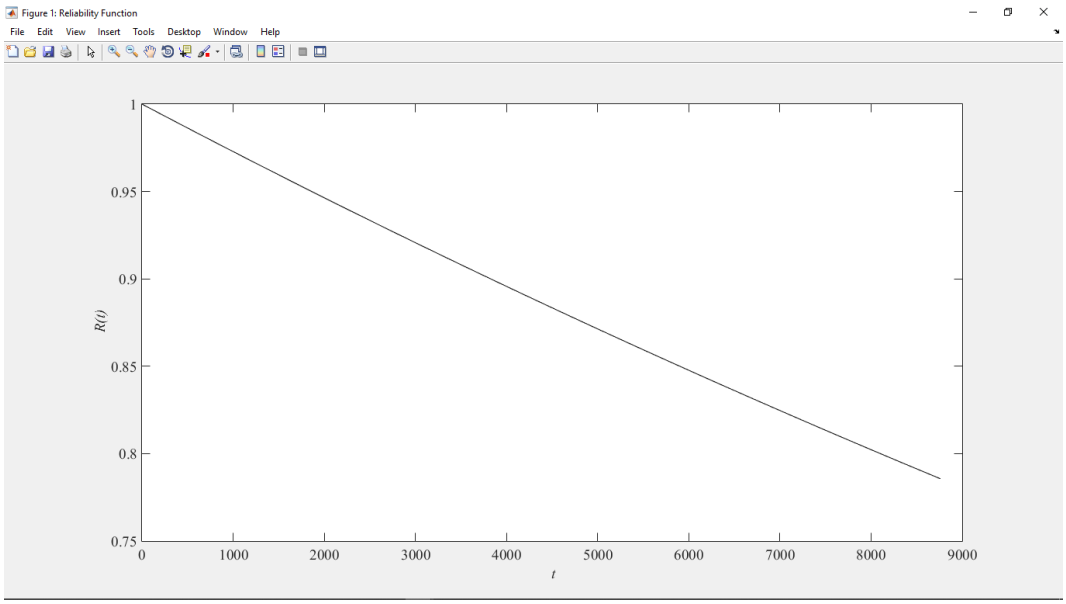
Gambar 5. 9 Grafik *Hazard Function* Subsistem Metanasi

Nilai *reliability* subsistem pada $t = 8.760$ sebesar 0,78564 diartikan bahwa dalam waktu 8.760 jam atau setara dengan satu tahun produksi non stop, probabilitas sistem akan bekerja sesuai dengan fungsinya adalah sebesar 0,78564 atau 78,5%. Nilai *reliability* ini juga dapat diartikan dalam waktu operasi selama 8760, jika subsistem melakukan *running* proses produksi sebanyak 100.000

kali dengan asumsi satu proses produksi dimulai dengan bahan baku memasuki *Methanator Feed Effluent Exchanger* 114-C dan keluar dari *Methanator Effluent Cooler* 115-C maka akan ada 78.564 proses yang berhasil dilakukan tanpa mengalami *failure* dalam pelaksanaannya. Sedangkan sisanya akan mengalami *failure* dalam prosesnya.

5.5.2 Analisis Grafik Fungsi Reliability Subsistem Metanasi

Berdasarkan perhitungan fungsi *reliability* dari *equipment* dan subsistem Metanasi, maka selanjutnya dapat dilakukan *plotting* fungsi *reliability* terhadap waktu dengan $t = 8.760$. Grafik hasil *plotting* fungsi *reliability* subsistem ditampilkan dalam Gambar 5.8.



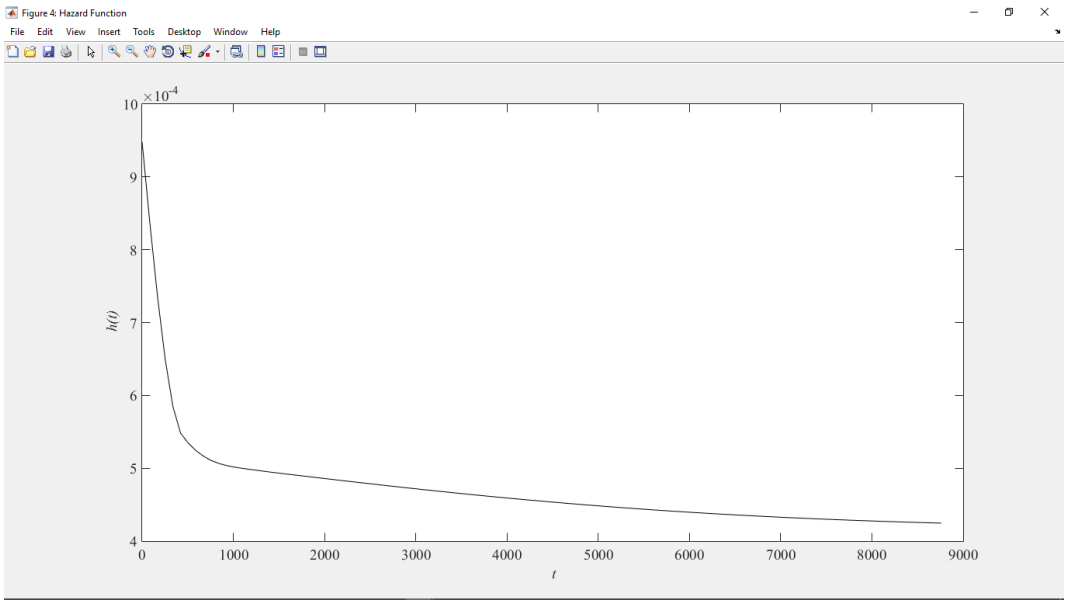
Gambar 5. 10 Grafik Fungsi *Reliability* Subsistem Metanasi dengan Waktu Operasi Selama 8.760 jam

Dari Gambar 5.8 dapat terlihat bahwa *reliability* subsistem mengalami penurunan yang cenderung linear dan tidak mengalami penurunan curam dalam dalam kurun waktu 8.760 jam waktu operasi. Hal ini dikarenakan subsistem memiliki *hazard function* dengan tipe CFR.

5.6 Analisis Pemodelan *Reliability* Subsistem Kompresi Gas Sintesis

5.6.1 Analisis Perhitungan MTTF, CVTTF, VTTF, $R(t)$ dan Penentuan Tipe Hazard Function

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai MTTF subsistem adalah sebesar 1.941,8 jam dengan VTTF sebesar $4{,}57 \times 10^{6}$. Nilai CVTTF sebesar 1,17 menandakan bahwa *failure rate* dari subsistem tergolong ke dalam *decreasing failure rate* dan dibuktikan dengan grafik *hazard function* pada Gambar 5.11. Dari hasil VTTF kemudian dapat dilakukan perhitungan *standar deviation of time to failure* (SDTTF) yaitu sebesar 2.137,8 Hal ini menandakan bahwa data *time to failure* sangat bervariasi dikarenakan nilai SDTTF yang besar dan melebihi nilai MTTF. Kondisi ini dapat menandakan bahwa *lifetime* dari subsistem tidak dapat hanya direpresentasikan dengan nilai MTTF. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis terkait grafik fungsi *reliability* subsistem untuk lebih memahami *behavior* dari *reliability.*



Gambar 5. 11 Grafik *Hazard Function* Subsistem Kompresi Gas Sintesis

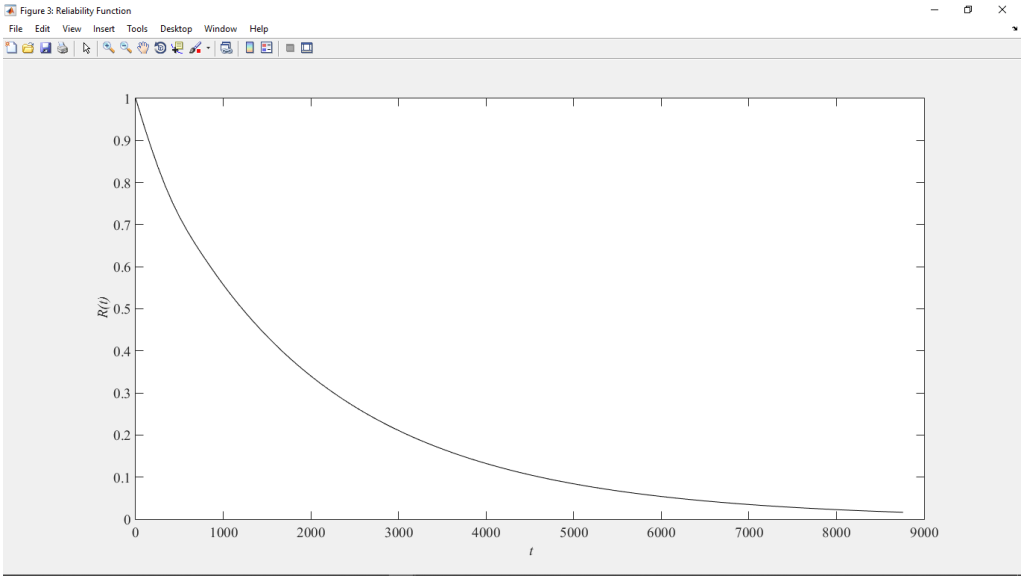
Berdasarkan perhitungan fungsi *reliability* dari *equipment* dan subsistem kompresi gas sintesis didapatkan nilai $R(8.760)$ dari subsistem adalah sebesar 0,0164. Nilai *reliability* subsistem pada $t = 8.760$ sebesar 0,0164 diartikan bahwa dalam waktu 8.760 jam atau setara dengan satu tahun produksi non stop, probabilitas sistem akan bekerja sesuai dengan fungsinya adalah sebesar

0,0164 atau 1,64%. Nilai *reliability* ini juga dapat diartikan dalam waktu operasi selama 8760 jam, jika subsistem melakukan *running* proses produksi sebanyak 100.000 kali dengan asumsi satu proses produksi dimulai dengan bahan baku memasuki *Synthesis Gas Compressor Suction Drum* 104-F dan keluar dari proses kompresi terakhir pada Kompresor 103-J maka akan ada 1.640 proses yang berhasil dilakukan tanpa mengalami *failure* dalam pelaksanaannya. Sedangkan sisanya akan mengalami *failure* dalam prosesnya.

Rendahnya nilai *reliability* subsistem dikarenakan terdapat tingkat kerusakan yang tinggi yaitu *equipment* 103-J. Nilai reliability 0,20465 artinya bahwa *equipment* ini memiliki probabilitas bekerja sesuai dengan fungsinya pada $t = 8.760$ sebesar 20,4%. Di samping itu, subsistem ini didominasi oleh struktur seri sehingga jika terjadi kerusakan pada salah satu *equipment* yang menyebabkan *equipment* lainnya akan ikut terhenti. Selain itu, jika dilihat dari formula perhitungan *reliability* susunan seri pada Persamaan (3) yang merupakan hasil perkalian dari $R_1, R_2, \ldots . R_n$ maka apabila terus dikalikan dengan semakin banyak nilai R maka hasil dari R_s itu sendiri akan semakin kecil. Lain halnya dengan persamaan susunan paralel di mana R sistem merupakan nilai dari $1 - ((1 - R_1) \ldots (1 - R_n))$ yang berarti satu dikurangi suatu nilai bilangan yang kecil sehingga dapat menghasilkan nilai R_s yang besar.

5.6.2 Analisis Grafik Fungsi Reliability Subsistem Kompresi Gas Sintesis

Berdasarkan perhitungan fungsi *reliability* dari *equipment* dan subsistem kompresi gas sintesis, maka selanjutnya dapat dilakukan *plotting* fungsi *reliability* terhadap waktu dengan $t = 8.760$. Grafik hasil *plotting* fungsi *reliability* subsistem ditampilkan dalam Gambar 5.12



Gambar 5. 12 Grafik Fungsi *Reliability* Subsistem Kompresi Gas Sintesis dengan Waktu Operasi Selama 8.760 jam

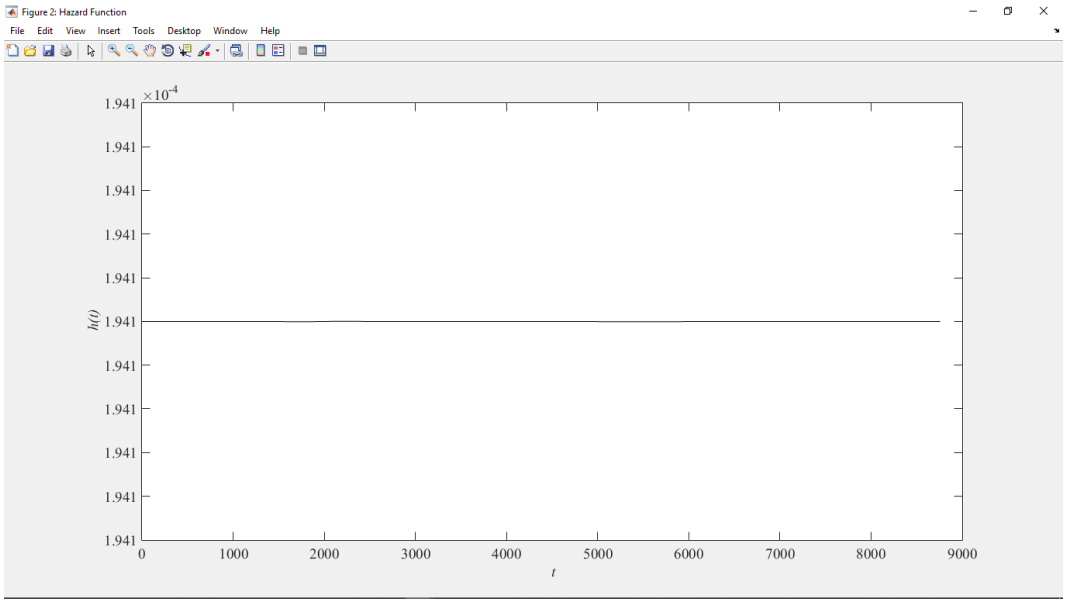
Dari Gambar 5.12 dapat terlihat bahwa *reliability* subsistem mengalami penurunan secara signifikan sampai dengan waktu operasi ke-400 jam dan kemudian melandai setelahnya. Hal ini dikarenakan subsistem memiliki *hazard function* dengan tipe DFR dengan pnurunan signifikan terjadi dalam rentang waktu 400 jam waktu operasi seperti pada Gambar 5.11.

5.7 Analisis Pemodelan *Reliability* Subsistem Konversi Amonia

5.7.1 Analisis Perhitungan MTTF, CVTTF, VTTF, $R(t)$, dan Penentuan Tipe Hazard Function

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai MTTF subsistem adalah sebesar 5.152 jam dengan VTTF sebesar $2{,}65 \times 10^7$. Nilai CVTTF sebesar 1 menandakan bahwa *failure rate* dari subsistem tergolong ke dalam *constant failure rate* dan dibuktikan dengan grafik *hazard function* pada Gambar 5.13. Dari hasil VTTF kemudian dapat dilakukan perhitungan *standar deviation of time to failure* (SDTTF) yaitu sebesar 5.152 Hal ini menandakan bahwa data *time to failure* sangat bervariasi dikarenakan nilai SDTTF yang besar dan sama dengan nilai MTTF. Kondisi ini dapat menandakan bahwa *lifetime* dari subsistem tidak dapat hanya direpresentasikan dengan nilai MTTF. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis

terkait grafik fungsi *reliability* subsistem untuk lebih memahami *behavior* dari *reliability*.



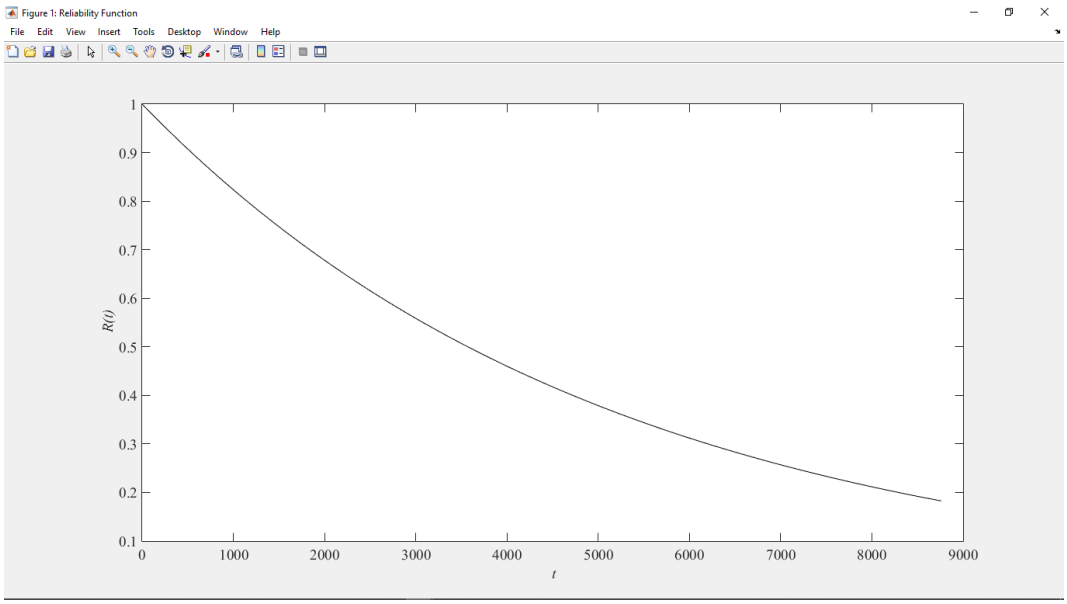
Gambar 5. 13 Grafik *Hazard Function* Subsistem Konversi Amonia

Nilai *reliability* subsistem pada $t = 8.760$ sebesar 0,18263 diartikan bahwa dalam waktu 8.760 jam atau setara dengan satu tahun produksi non stop, probabilitas sistem akan bekerja sesuai dengan fungsinya adalah sebesar 0,18263 atau 18,26%. Nilai *reliability* ini juga dapat diartikan dalam waktu operasi selama 8.760 jam, jika subsistem melakukan *running* proses produksi sebanyak 100.000 kali dengan asumsi satu proses produksi dimulai dengan bahan baku memasuki *Discharge Seal Oil Separator* 111-L dan keluar dari *Ammonia Converter Effluent Cooler* 124-C maka ada 18.263 proses yang berhasil dilakukan tanpa mengalami *failure* dalam pelaksanaannya. Sedangkan sisanya akan mengalami *failure*

Rendahnya nilai *reliability* subsistem dikarenakan formula perhitungan *reliability* susunan seri pada Persamaan (3) yang merupakan hasil perkalian dari $R_1, R_2, \ldots . R_n$ maka apabila terus dikalikan dengan semakin banyak nilai R maka hasil dari R_s itu sendiri akan semakin kecil. Lain halnya dengan persamaan susunan paralel di mana R sistem merupakan nilai dari $1 - ((1 - R_1) \ldots (1 - R_n))$ yang berarti satu dikurangi suatu nilai bilangan yang kecil sehingga dapat menghasilkan nilai R_s yang besar.

5.7.2 Analisis Grafik Fungsi Reliability Subsistem Konversi Amonia

Berdasarkan perhitungan fungsi *reliability* dari *equipment* dan subsistem, maka selanjutnya dapat dilakukan *plotting* fungsi *reliability* terhadap waktu dengan $t = 8.760$. Grafik hasil *plotting* fungsi *reliability* subsistem ditampilkan dalam Gambar 5.14.



Gambar 5. 14 Grafik Fungsi *Reliability* Subsistem Konversi Amonia dengan Waktu Operasi Selama 8.760 jam

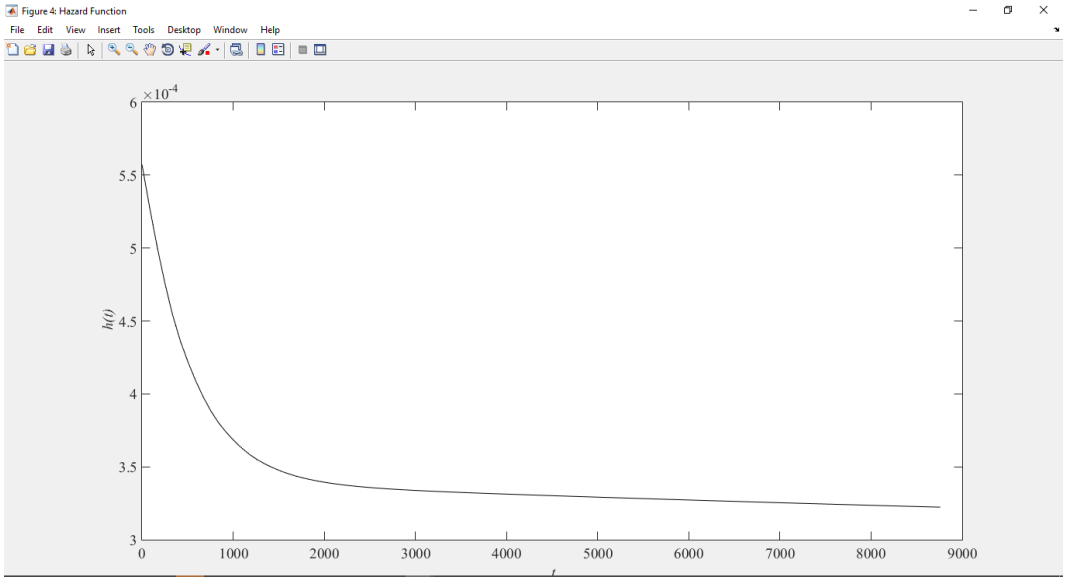
Dari Gambar 5.14 dapat terlihat bahwa *reliability* subsistem mengalami penurunan yang cenderung konstan dalam dalam kurun waktu 8.760 jam waktu operasi. Hal ini dikarenakan subsistem memiliki *hazard function* dengan tipe CFR.

5.8 Analisis Pemodelan *Reliability* Subsistem Refrigerasi

5.8.1 Analisis Perhitungan MTTF, CVTTF, VTTF, $R(t)$ dan Penentuan Tipe Hazard Function

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai MTTF subsistem adalah sebesar 2 725 jam dengan VTTF sebesar $8{,}97 \times 10^6$. Nilai CVTTF sebesar 1,0992 menandakan bahwa *failure rate* dari subsistem tergolong ke dalam *decreasing failure rate* dan dibuktikan dengan grafik *hazard function* pada Gambar 5.15. Dari hasil VTTF kemudian dapat dilakukan perhitungan *standar deviation of time to failure* (SDTTF) yaitu sebesar 2.995. Hal ini menandakan bahwa data *time to*

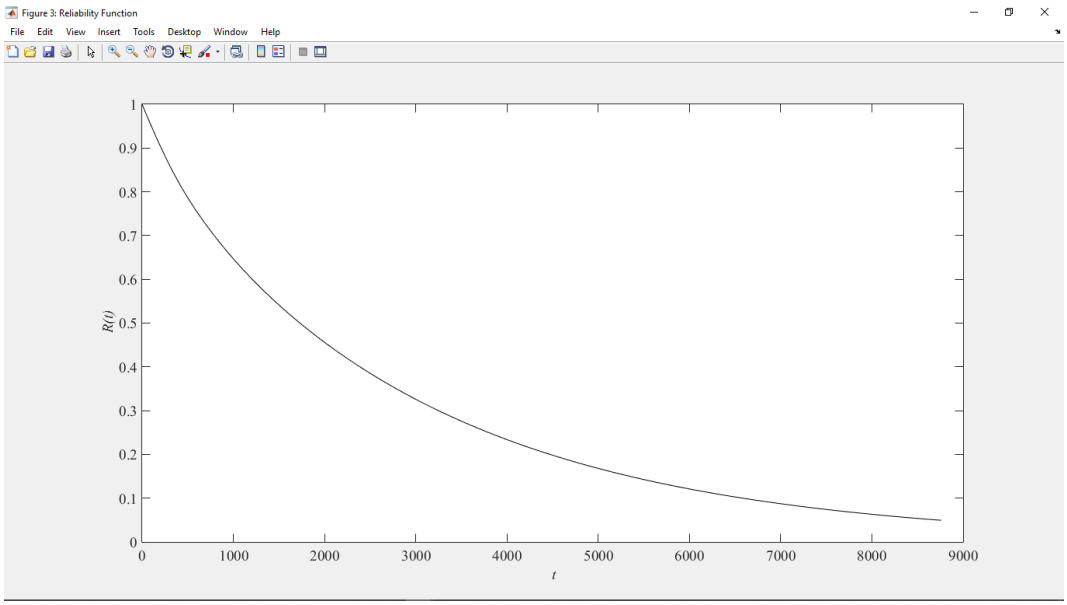
failure sangat bervariasi dikarenakan nilai SDTTF yang besar dan melebihi nilai MTTF. Kondisi ini dapat menandakan bahwa *lifetime* dari subsistem tidak dapat hanya direpresentasikan dengan nilai MTTF. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis terkait grafik fungsi *reliability* subsistem untuk lebih memahami *behavior* dari *reliability.*



Gambar 5. 15 Grafik *Hazard Function* Subsistem Refrigerasi

5.8.2 Analisis Grafik Fungsi Reliability Subsistem Konversi Amonia

Berdasarkan perhitungan fungsi *reliability* dari *equipment* dan subsistem, maka selanjutnya dapat dilakukan *plotting* fungsi *reliability* terhadap waktu dengan $t = 8.760$. Grafik hasil *plotting* fungsi *reliability* subsistem ditampilkan dalam Gambar 5.16. Dari Gambar 5.16 dapat terlihat bahwa *reliability* subsistem mengalami penurunan yang cenderung signifikan dalam dalam kurun waktu 8.760 jam waktu operasi.

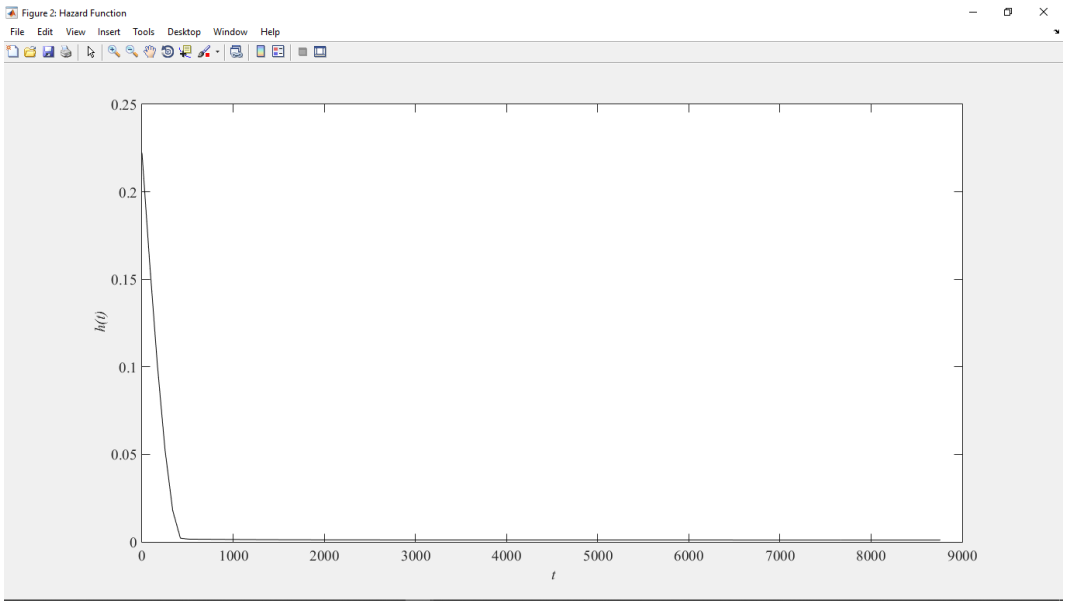


Gambar 5. 16 Grafik Fungsi *Reliability* Subsistem Refrigerasi dengan Waktu Operasi Selama 8.760 jam

5.9 Analisis Pemodelan *Reliability* Sistem Produksi Amonia

5.9.1 Analisis Perhitungan MTTF, CVTTF, VTTF, $R(t)$ dan Penentuan Tipe Hazard Function

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai MTTF sistem adalah sebesar 201,96 jam dengan VTTF sebesar $7{,}9 \times 10^4$. Nilai CVTTF sebesar 1,3921 menandakan bahwa *failure rate* dari subsistem tergolong ke dalam *decreasing failure rate* dan dibuktikan dengan grafik *hazard function* pada Gambar 5.1. Dari hasil VTTF kemudian dapat dilakukan perhitungan *standar deviation of time to failure* (SDTTF) yaitu sebesar 281,15. Hal ini menandakan bahwa data *time to failure* sangat bervariasi dikarenakan nilai SDTTF yang besar dan melebihi nilai MTTF. Kondisi ini dapat menandakan bahwa *lifetime* dari subsistem tidak dapat hanya direpresentasikan dengan nilai MTTF. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis terkait grafik fungsi *reliability* subsistem untuk lebih memahami *behavior* dari *reliability.*



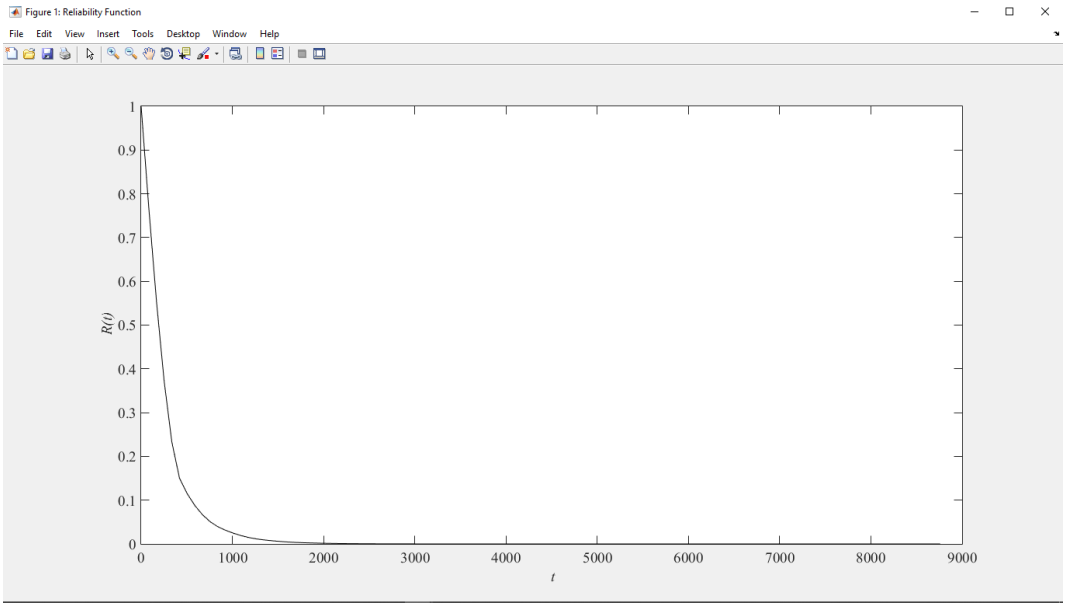
Gambar 5. 17. Grafik *Hazard Function* Sistem Produksi Amonia

Nilai $R(8.760)$ dari sistem produksi amonia adalah sebesar $4{,}31\times10^{-11}$. Nilai *reliability* subsistem pada $t = 8.760$ sebesar $4{,}31\times10^{-11}$ diartikan bahwa dalam waktu 8.760 jam atau setara dengan satu tahun produksi non stop, probabilitas sistem akan bekerja sesuai dengan fungsinya adalah sebesar $4{,}31\times10^{-11}$. Nilai *reliability* ini juga dapat diartikan dalam waktu operasi selama 8.760 jam, jika subsistem melakukan *running* proses produksi sebanyak 100.000.000.000 kali dengan asumsi satu proses produksi dimulai dengan bahan baku memasuki *Knockout Drum* 144-F dan keluar dari *Product Pump* maka ada hanya akan ada 4,32 proses yang berhasil dilakukan tanpa mengalami *failure* dalam pelaksanaannya. Sedangkan sisanya akan mengalami *failure*

Rendahnya nilai *reliability* sistem ini dikarenakan oleh rendahnya nilai *reliability* enam subsistemnya dan struktur dari *reliability block diagram* sistem yang merupakan struktur seri. Formula perhitungan *reliability* susunan seri pada Persamaan (3) yang merupakan hasil perkalian dari $R_1, R_2, \ldots . R_n$ apabila terus dikalikan dengan semakin banyak nilai R maka hasil dari R_s itu sendiri akan semakin kecil. Lain halnya dengan persamaan susunan paralel di mana R sistem merupakan nilai dari $1 - ((1 - R_1) \ldots (1 - R_n))$ yang berarti satu dikurangi suatu nilai bilangan yang kecil sehingga dapat menghasilkan nilai R_s yang besar.

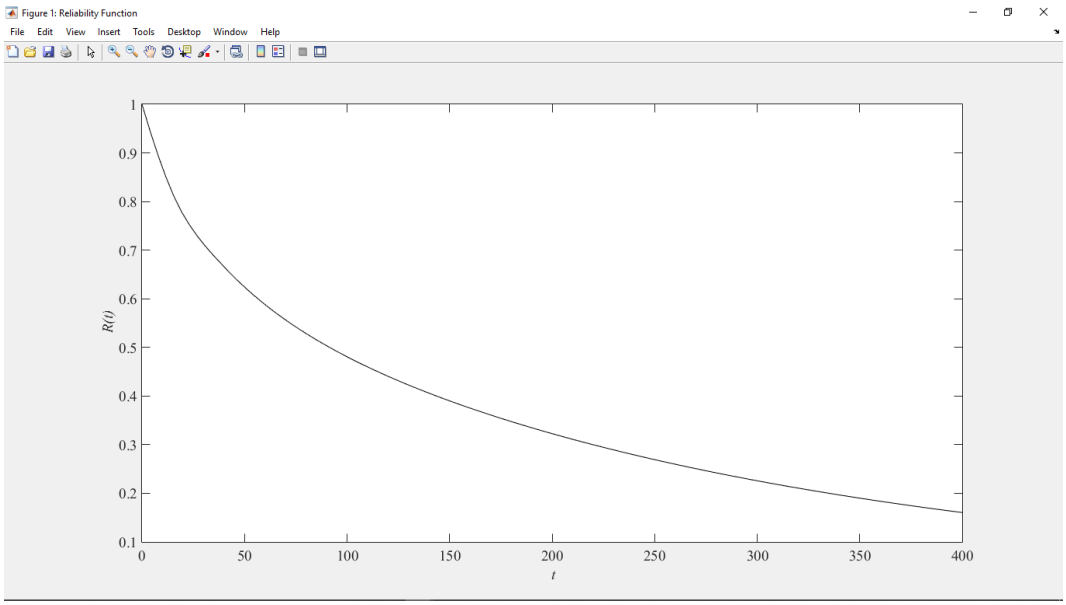
5.9.2 Analisis Grafik Fungsi Reliability Sistem Produksi Amonia

Berdasarkan perhitungan fungsi *reliability* dari *equipment* dan subsistem desulfurisasi dan *reforming*, maka selanjutnya dapat dilakukan *plotting* fungsi *reliability* terhadap waktu dengan $t = 8.760$. Grafik hasil *plotting* fungsi *reliability* subsistem desulfurisasi dan *reforming* ditampilkan dalam Gambar 5.18.



Gambar 5. 18 Grafik Fungsi *Reliability* Sistem Produksi Amonia dengan Waktu Operasi Selama 8.760 jam

Berdasarkan Gambar 5.18 dapat terlihat bahwa *reliability* subsistem desulfurisasi mengalami penurunan yang sangat curam dalam 400 jam pertama atau setara kurang lebih dengan 16 hari operasi non-stop. Oleh karena itu selanjutnya dilakukan *plotting* grafik *reliability* dengan $t = 400$ jam untuk mengetahui *behavior reliability* sistem lebih detail. Gambar 5.19 merupakan grafik fungsi *reliability* subsistem desulfurisasi dan *reforming* pada 400 jam pertama waktu operasi.



Gambar 5. 19 Grafik Fungsi Sistem Produksi Amonia dengan Waktu Operasi Selama 400 jam

Dari Gambar 5.19 dapat diperoleh informasi bahwa *reliability* dari subsistem desulfurisasi dan *reforming* dalam waktu 400 jam pertama waktu produksi adalah berkisar sebesar 0,18. Nilai *reliability* subsistem desulfurisasi pada $t = 400$ sebesar 0,18 diartikan bahwa dalam 400 jam atau setara dengan 16 hari operasi non-stop, probabilitas sistem akan bekerja sesuai dengan fungsinya adalah sebesar 0,18 atau 18%. Nilai *reliability* ini juga dapat diartikan dalam waktu operasi selama 400 jam, jika subsistem melakukan *running* proses produksi sebanyak 100 kali dengan asumsi satu proses produksi dimulai dengan bahan baku memasuki *knockout drum* 144-F dan keluar dari *Ammonia Product Pump* maka hanya akan ada 18 proses yang berhasil dilakukan tanpa mengalami *failure* dalam pelaksanaannya, sedangkan sisanya akan mengalami *failure.* Kondisi tersebut dapat menjadi pertimbangan untuk melakukan *preventive maintenance* sebelum waktu operasi mencapai 400 jam. Namun, adanya *preventive maintenance* ini akan berdampak pada availibilitas sistem yang akan menurun dari kondisi awal tanpa *preventive maintenance* sebesar satu menjadi 0,627 atau setara dengan 228 hari operasi dengan asumsi waktu *setup equipment* merupakan bagian dari *mean time to repair* (MTTR) selama lima hari didasarkan pada rata-rata waktu perbaikan pada Pabrik Amonia 1A.

5.10 Penentuan Subsistem dan *Equipment* Kritis

Dalam upaya peningkatan reliability sistem, maka perlu diketahui subsistem dan *equipment* mana yang paling berpengaruh terhadap reliability sistem. Penentuan subsitem dan *equipment* kritis ini merupakan bentuk analisis sensitivitas dari pemodelan *reliability* yang telah dilakukan (Trivedi & Bobbio, 2017).

Perhitungan *importance index* dilakukan untuk mengukur derajat kepentingan dari sebuah subsistem maupun *equipment.* Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui subsistem dan/atau *equipment* dari sistem produksi yang paling mempengaruhi *reliability* dari sistem produksi. Perhitungan *importance index* dilakukan menggunakan pendekatan *Birnbaun Index* pada $R(8.760)$. Tabel 5.1 menampilkan hasil rekapitulasi perhitungan *importance index* dari subsistem produksi amonia.

Tabel 5. 1 Rekapitulasi *Importance Index* Subsistem Produksi Amonia

Subsistem	*Importance Index*
Desulfurisasi & *Reforming*	$1{,}85 \times 10^{-6}$
CO *Shift Conversion*	$1{,}04 \times 10^{-10}$
CO2 *Removal*	$1{,}13 \times 10^{-9}$
Metanasi	$5{,}49 \times 10^{-11}$
Konversi Gas Sintesis	$2{,}63 \times 10^{-9}$
Konversi Ammonia	$2{,}36 \times 10^{-10}$
Refrigerasi	$8{,}73 \times 10^{-10}$

Berdasarkan hasil perhitungan *importance index* pada Tabel 4.18, maka selanjutnya dilakukan perhitungan *importance index equipment* dari subsistem dengan nilai *importance index* terbesar yaitu subsistem desulfurisasi dan *reforming.* Tabel 5.2 merupakan hasil rekapitulasi perhitungan *importance index equipment* subsistem desulfurisasi dan *reforming.*

Tabel 5. 2 Rekapitulasi *Importance Index Equipment* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming* pada $t = 8.760$

No	Kode *Equipment*	*Importance Index*
1	101-B	$3{,}69 \times 10^{-10}$
2	101-BBA	$4{,}39 \times 10^{-11}$
3	101-BBS	$4{,}39 \times 10^{-11}$
4	101-BCA1	$5{,}13 \times 10^{-11}$

No	Kode *Equipment*	*Importance Index*
5	101-BCA2	$9{,}40 \times 10^{-11}$
6	101-BCF	$4{,}39 \times 10^{-11}$
7	101-BCG	$4{,}39 \times 10^{-11}$
8	101-BCS	$4{,}50 \times 10^{-11}$
9	101-BCX	$4{,}39 \times 10^{-11}$
10	101-BJ1	$1{,}02 \times 10^{-10}$
11	101-BJ1T	$6{,}55 \times 10^{-11}$
12	101-BJ2	$1{,}02 \times 10^{-10}$
13	101-BJ2T	$6{,}55 \times 10^{-11}$
14	101-BL	$9{,}40 \times 10^{-11}$
15	101-J	$2{,}49 \times 10^{-10}$
16	101-JCA	$4{,}42 \times 10^{-11}$
17	101-JCB	$4{,}42 \times 10^{-11}$
18	101-JCC	$4{,}42 \times 10^{-11}$
19	101-JT	$6{,}55 \times 10^{-11}$
20	102-J	$8{,}21 \times 10^{-11}$
21	102-JT	$6{,}55 \times 10^{-11}$
22	103-D	$4{,}42 \times 10^{-11}$
23	108-DA	$1{,}78 \times 10^{-12}$
24	108-DB	$1{,}78 \times 10^{-12}$
25	133-C	$5{,}13 \times 10^{-11}$
26	144-F	$7{,}84 \times 10^{-11}$

Berdasarkan hasil perhitungan *importance index* pada Tabel 4.18 didapatkan bahwa subsistem dengan nilai *importance index* tertinggi adalah subsistem desulfurisasi dan reforming. Subsistem ini unuk selanjutnya disebut sebagai subsistem kritis. Kemudian berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.19 didapatkan bahwa dua equipment dengan *importance index* tertinggi dan merupakan equipment kritis adalah *Primary Reformer* 101-B dan *Air Compressor* 101-J.

Perhitungan *importance index* ini dipengaruhi oleh besar *running time* atau t. Oleh sebab itu, dilakukan perhitungan *importance index* pada $t = 300$ jam untuk memastikan apabila terjadi perbedaan perhitungan *importance index.* Tabel 5.3 merupakan hasil rekapitulasi perhitungan *importance index equipment* subsistem desulfurisasi dan *reforming* pada $t = 300$ jam.

Tabel 5. 3 Rekapitulasi *Importance Index Equipment* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming* pada $t = 300$ jam

No	Kode *Equipment*	*Importance Index*
1	101-B	$8{,}02 \times 10^{-11}$
2	101-BBA	$4{,}31 \times 10^{-11}$
3	101-BBS	$4{,}31 \times 10^{-11}$
4	101-BCA1	$4{,}34 \times 10^{-11}$
5	101-BCA2	$4{,}43 \times 10^{-11}$
6	101-BCF	$4{,}31 \times 10^{-11}$
7	101-BCG	$4{,}31 \times 10^{-11}$
8	101-BCS	$4{,}32 \times 10^{-11}$
9	101-BCX	$4{,}31 \times 10^{-11}$
10	101-BJ1	$4{,}44 \times 10^{-11}$
11	101-BJ1T	$4{,}37 \times 10^{-11}$
12	101-BJ2	$4{,}44 \times 10^{-11}$
13	101-BJ2T	$4{,}37 \times 10^{-11}$
14	101-BL	$4{,}43 \times 10^{-11}$
15	101-J	$4{,}58 \times 10^{-11}$
16	101-JCA	$4{,}32 \times 10^{-11}$
17	101-JCB	$4{,}32 \times 10^{-11}$
18	101-JCC	$4{,}32 \times 10^{-11}$
19	101-JT	$4{,}37 \times 10^{-11}$
20	102-J	$4{,}41 \times 10^{-11}$
21	102-JT	$4{,}37 \times 10^{-11}$
22	103-D	$4{,}32 \times 10^{-11}$
23	108-DA	$6{,}21 \times 10^{-14}$
24	108-DB	$6{,}21 \times 10^{-14}$
25	133-C	$4{,}34 \times 10^{-11}$
26	144-F	$4{,}40 \times 10^{-11}$

Berdasrkan Tabel 5.3 didapatkan bahwa nilai *importance index* untuk *equipment* 101-B dan 101-J menjadi lebih kecil namun masih merupakan *equipment* dengan *importance index* yang terbesar. Hal ini merupakan bukti bahwa perhitungan *importance index* dengan *birnbaun index* dipengaruhi oleh nilai t,

namun pada subsistem desulfurisasi ini tidak samapi mengakibakan perubahan *equipment* kritis.

5.11 Perancangan Skenario Perbaikan

Berdasarkan hasil penentuan *equipment* kritis didapatkan dua buah *equipment* yang tergolong sebagai *equipment* kritis pada sistem produksi amonia yaitu *Primary Reformer* 101-B dan *Air Compressor* 101-J. Kemudian berdasarkan nilai *reliability* sistem dan *equipment* pada $t = 8.760$ maka dipertimbangkan untuk melakukan penambahan redundansi pada salah satu dan/atau kedua *equipment* tersebut.

5.12 Analisis Pengaruh Pertambahan Redundansi

5.12.1 Pengaruh Pertambahan Redundansi Skenario 1

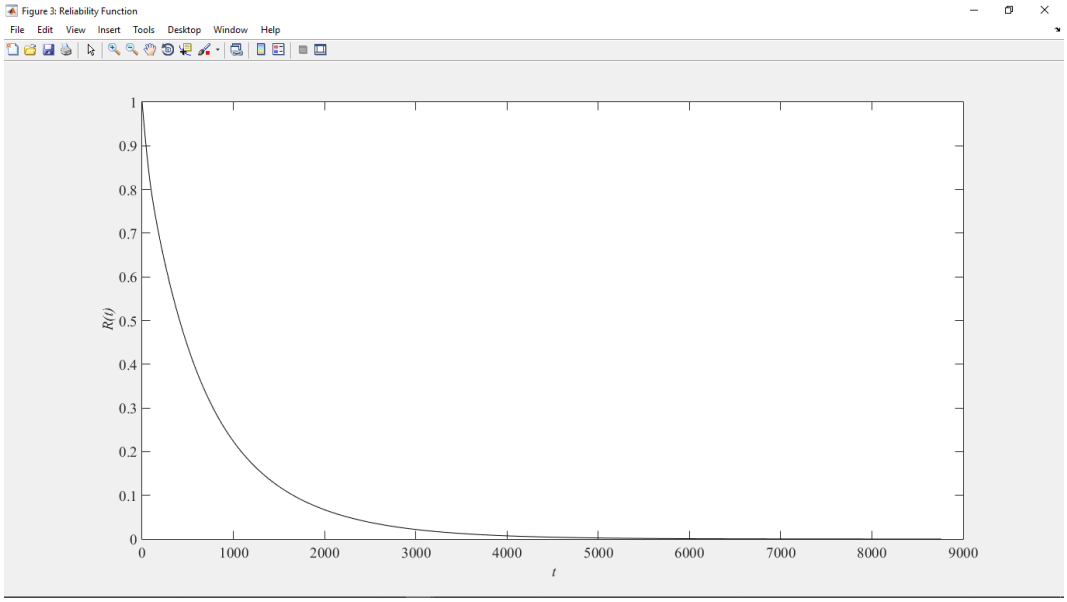
. Dalam skenario ini dilakukan percobaan dengan menambah jumlah redundansi dari *equipment* 101-B sebanyak satu buah dan melihat pengaruhnya terhadap perubahan fungsi *reliability* dan peningkatan nilai *reliability* sistem produksi pada $t = 8.760$ jam. Redundasi ini diasumsikan tergolong sebagai redundansi parallel dimana redundansi akan digunakan secara bersamaa dengan *equipment* lama dalam berjalannya proses produksi. Tabel 5.4 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan *reliability* subsistem, *reliability* sistem, MTTF subsistem, MTTF sistem, CVTTF subsistem, dan CVTTF sistem dari adanya penambahan redundansi *equipment* 101-B sebanyak satu buah dan sebelum adanya redundansi.

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Perhitungan Skenario 1

Jumlah Redundansi	*Reliability* Subsistem ($t = 8.760$)	*Reliability* Sistem ($t = 8.760$)	MTTF Subsistem	MTTF Sistem	CVTTF Subsistem	CVTTF Sistem
0	$2{,}34\times10^{-5}$	$4{,}3\times10^{-11}$	447,6	201,9	1,506	1,3921
1	$4{,}39\times10^{-5}$	$8{,}1\times10^{-11}$	675,3	358,8	1,172	1,0564

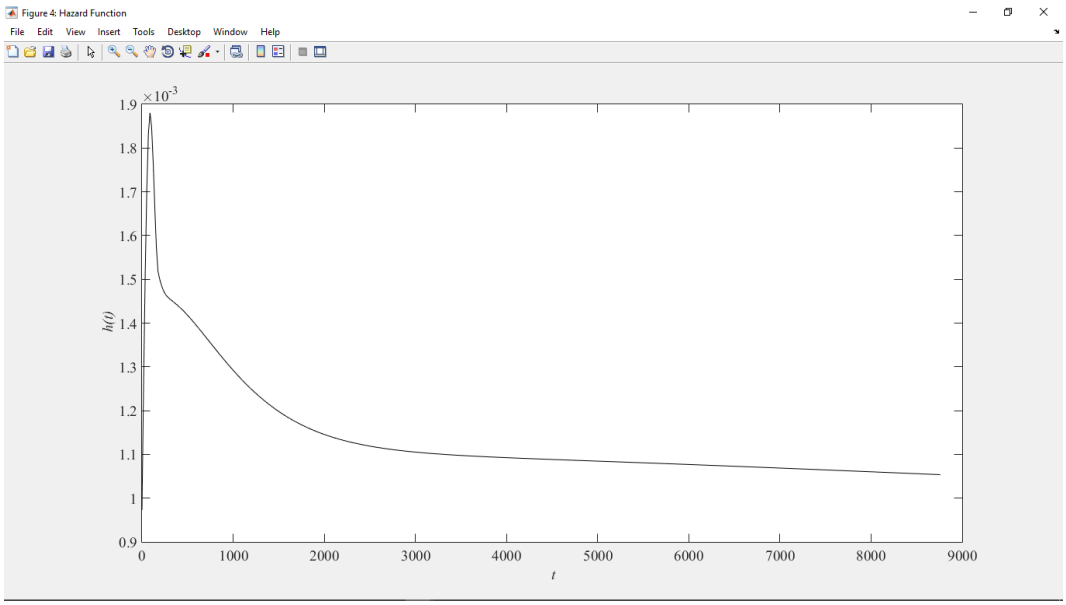
Berdasarkan Tabel 5.4 dapat disimpulkan bahwa dengan pembahan redundansi *equipment* 101-B sebanyak satu buah dapat menaikkan nilai *reliability* subsistem desulfurisasi dan *reforming* sebesar 1,88 kali lipat atau 88% dan nilai

MTTF subsistem sebesar 0,77 kali lipat atau 77%. Selanjutnya dilakuan *plotting* fungsi *reliability* subsistem dengan adanya Skenario 1. Gambar 5.20 merepresentasikan grafik fungsi *reliability* subsistem dengan rentang waktu $t = 8.760$ jam operasi.



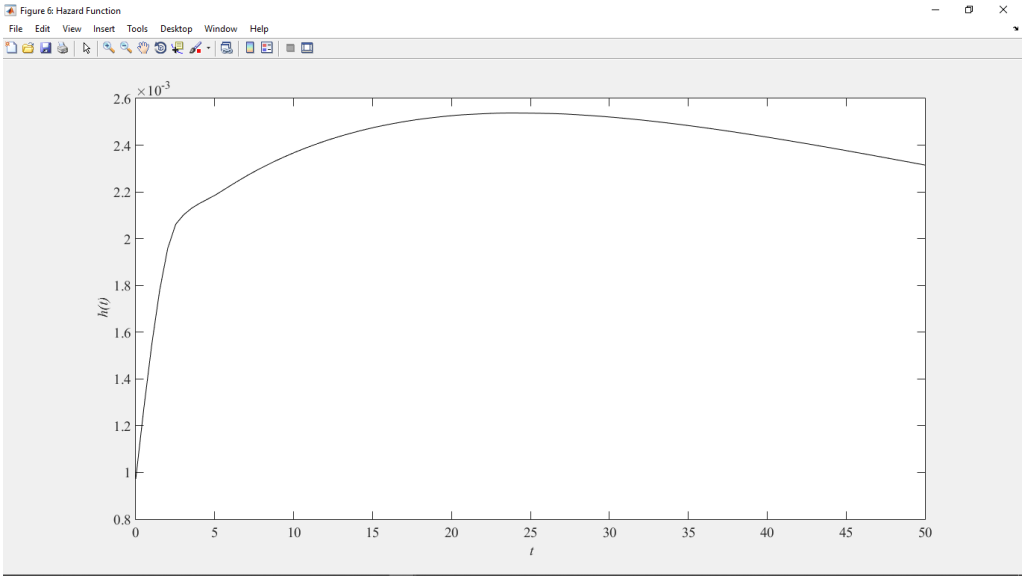
Gambar 5. 20 Grafik Fungsi *Reliability* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming* dengan Skenario 1

Berdasarkan Gambar 5.20, jika dibandingkan dengan grafik fungsi *reliability* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.2, maka dapat diamati bahwa penurunan *reliability* lebih landai. Kemudian jika diamati pada waktu $t = 400$ jam, nilai *reliability* masih berada diatas 0,5 berbeda dengan sebelumnya dimana nilai *reliability* telah berada pada angka 0,3. Selanjutnya akan ditampilkan grafik *hazard function* dengan Skenario 1 pada Gambar 5.21



Gambar 5. 21 Grafik *Hazard Function* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming* dengan Skenario 1

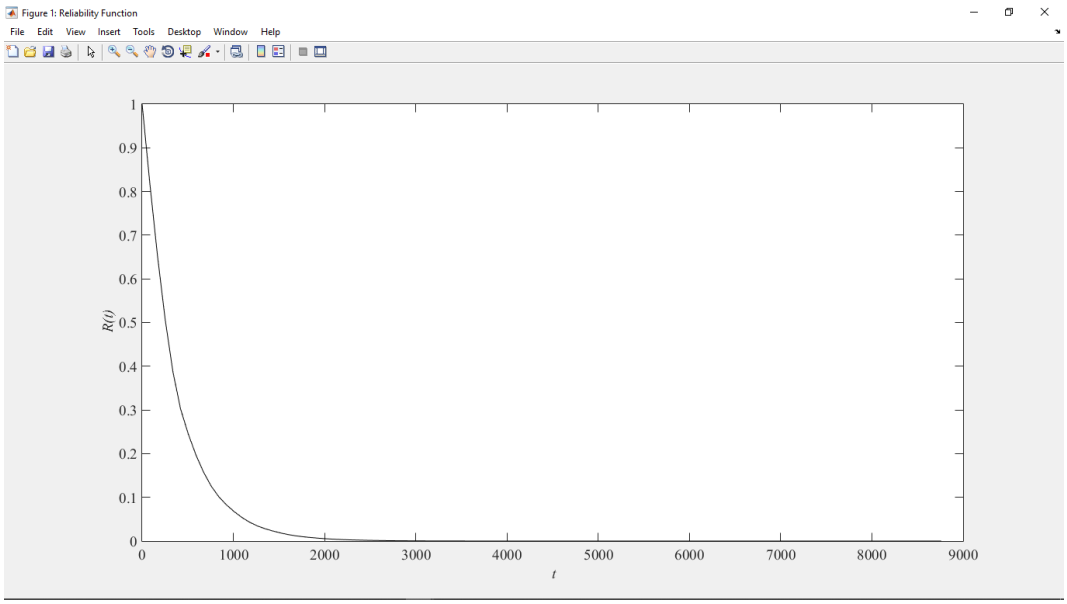
Berdasarkan Gambar 5.21, jika dibandingkan dengan grafik fungsi *reliability* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.1, maka dapat diamati bahwa *hazard function* mengalami perubahan tipe *failure rate* dari yang semula adalah *decreasing failure rate* menjadi *hazard function* dengan *increasing failure rate* pada awal waktu dan kemudian berubah menjadi *decreasing failure rate.* Perubahan *hazard function* dari *increasing failure rate* menjadi *decreasing failure rate* terjadi pada titik t sekitar 50. Untuk melihat lebih detail terkait perubahan ini maka dilakukan *plotting hazard function* pada $t = 50$ jam atau setara dengan kurang lebih dua hari operasi. Gmabar 5.22 menunjukkan grafik *hazard function* subsistem desulfurisasi dan *reforming* dengan skenario 1 pada $t = 50$ jam.



Gambar 5. 22 Grafik *Hazard Function* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming* pada $t = 50$ jam dengan Skenario 1

Dari Gambar 5.22 dapat diamati bahwa *failure rate* mengalami kenaikan pada rentang waktu $t = 0$ sampai $t = 20$. *Failure rate* dari subsistem kemudian mulai mengalami penurunan setelahnya.

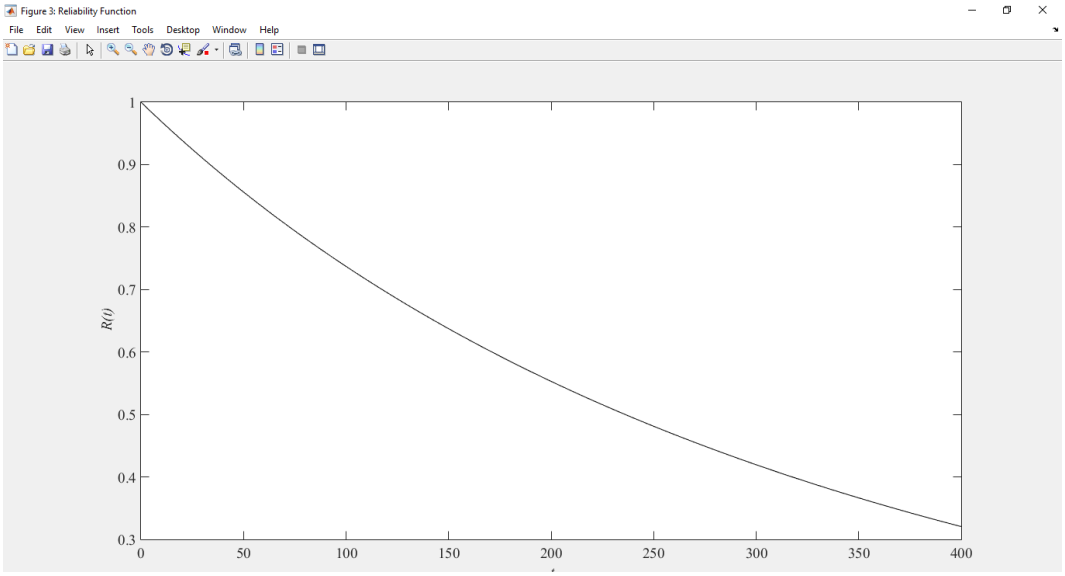
Selanjutnya dilakuan *plotting* fungsi *reliability* sistem produksi amonia dengan adanya skenario 1.



Gambar 5. 23 Grafik Fungsi *Reliability* Sistem dengan Skenario 1

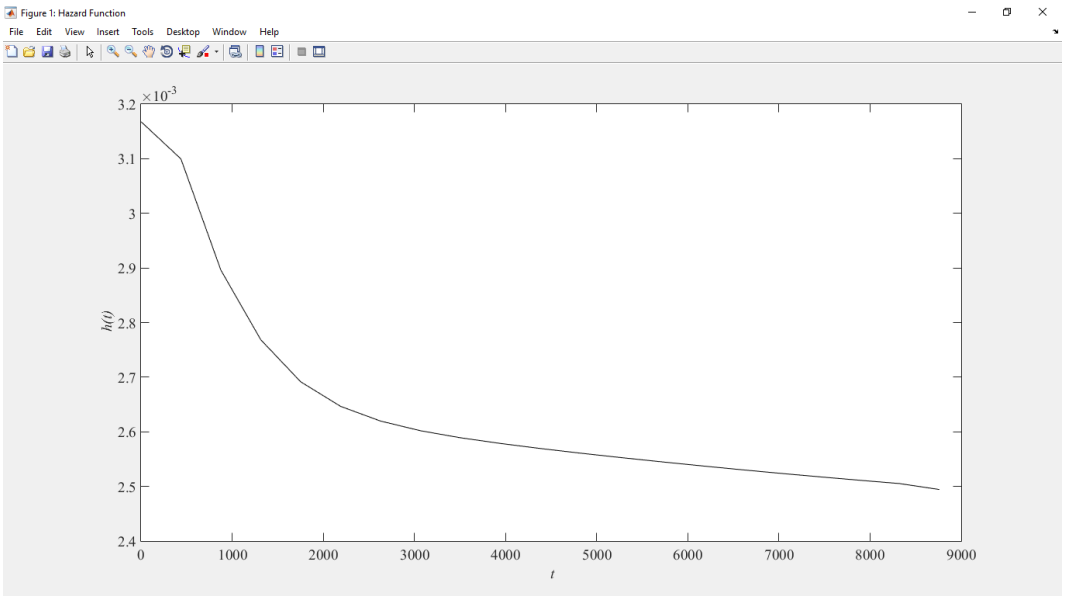
Berdasarkan Gambar 5.23, jika dibandingkan dengan grafik fungsi *reliability* sistem sebelumnya pada Gambar 5.18, maka dapat diamati bahwa

penurunan *reliability* lebih landai. Kemudian jika diamati pada waktu $t = 400$ jam, nilai *reliability* masih berada diatas 0,3 berbeda dengan sebelumnya dimana nilai *reliability* telah berada dibawah 0,2. Untuk lebih detailnya, grafik fungsi *reliability* sistem dengan Skenario 1 pada $t = 400$ jam digambarkan pada Gambar 5.24



Gambar 5. 24 Grafik Fungsi *Reliability* Sistem Skenario 1 dengan $t = 400$ jam

Selanjutnya akan ditampilkan grafik *hazard function* sistem dengan Skenario 1. Grafik *hazard function* tersebut ditampilkan pada Gambar 5.25



Gambar 5. 25 Grafik *Hazard Function* Sistem Produksi Amonia dengan Skenario 1

Berdasarkan Gambar 5.25, jika dibandingkan dengan grafik fungsi *reliability* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.17, maka dapat diamati bahwa *hazard function* tdak mengalami perubahan tipe *failure rate. Hazard function* dari sistem tetap dengan kondisi *decreasing failure rate* walaupun pada tingkat subsistem terjadi perubahan tipe *failure rate.* Sebagai bahan pertimbangan lebih lanjut, maka selanjutnya dilakukan kalkulasi *reliability* dengan penambahan redundansi sebanyak dua dan tiga buah. Tabel 5.5 menampilkan hasil perhitungan perubahan nilai *reliability* subsistem pada dan sistem pada $t = 8.760$ jam dengan adanya hal tersebut.

Tabel 5. 5 Pengaruh Pertambahan Redundansi Equipment 101-B Terhadap Reliability Sistem

Penambahan Redundansi	*Reliability* Subsistem			*Reliability* Sistem		
	$t = 8.760$	$t = 720$	$t = 300$	$t = 8.760$	$t = 720$	$t = 300$
0	$2{,}34\times10^{-5}$	0,20416	0,40160	$4{,}31\times10^{-11}$	0,05737	0,225766
1	$4{,}39\times10^{-5}$	0,32434	0,58726	$8{,}1\times10^{-11}$	0,09113	0,330139
2	$6{,}22\times10^{-5}$	0,39509	0,67308	$11{,}5\times10^{-11}$	0,11101	0,378386
3	$7{,}82\times10^{-5}$	0,43674	0,71276	$14{,}4\times10^{-11}$	0,122727	0,400690

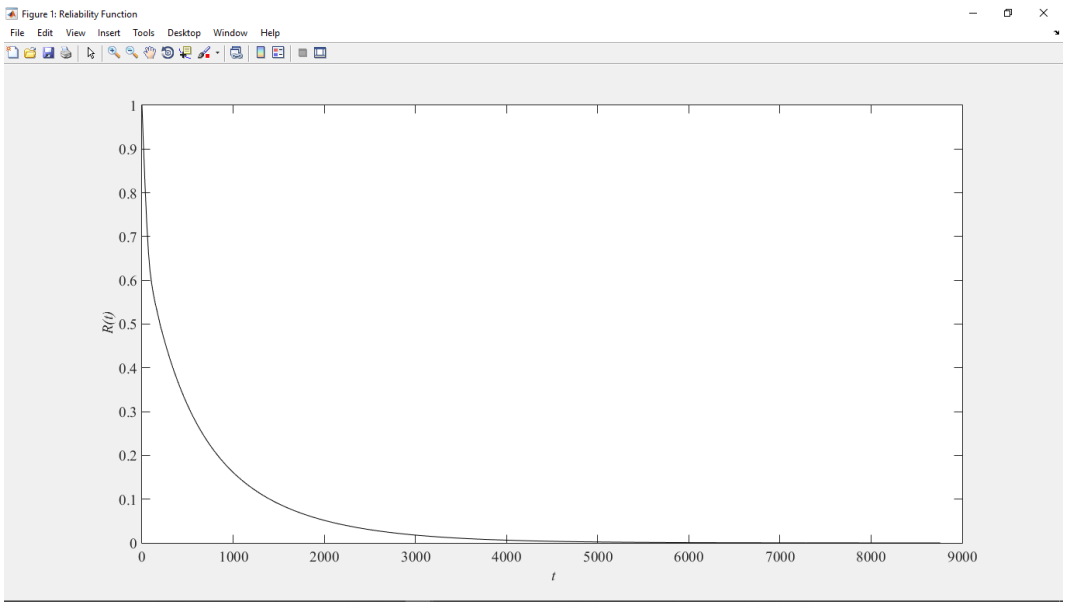
5.12.2 Pengaruh Pertambahan Redundansi Skenario 2

Dalam skenario ini dilakukan percobaan dengan menambah jumlah redundansi dari *equipment* 101-J sebanyak satu buah dan melihat pengaruhnya terhadap perubahan fungsi *reliability* dan peningkatan nilai *reliability* sistem produksi pada $t = 8.760$ jam. Redundasi ini diasumsikan tergolong sebagai redundansi parallel dimana redundansi akan digunakan secara bersamaa dengan *equipment* lama dalam berjalannya proses produksi. Tabel 5.6 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan *reliability* subsistem, *reliability* sistem, MTTF subsistem, MTTF sistem, CVTTF subsistem, dan CVTTF sistem dari adanya penambahan redundansi *equipment* 101-J sebanyak satu buah dan sebelum adanya redundansi.

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Perhitungan Skenario 2

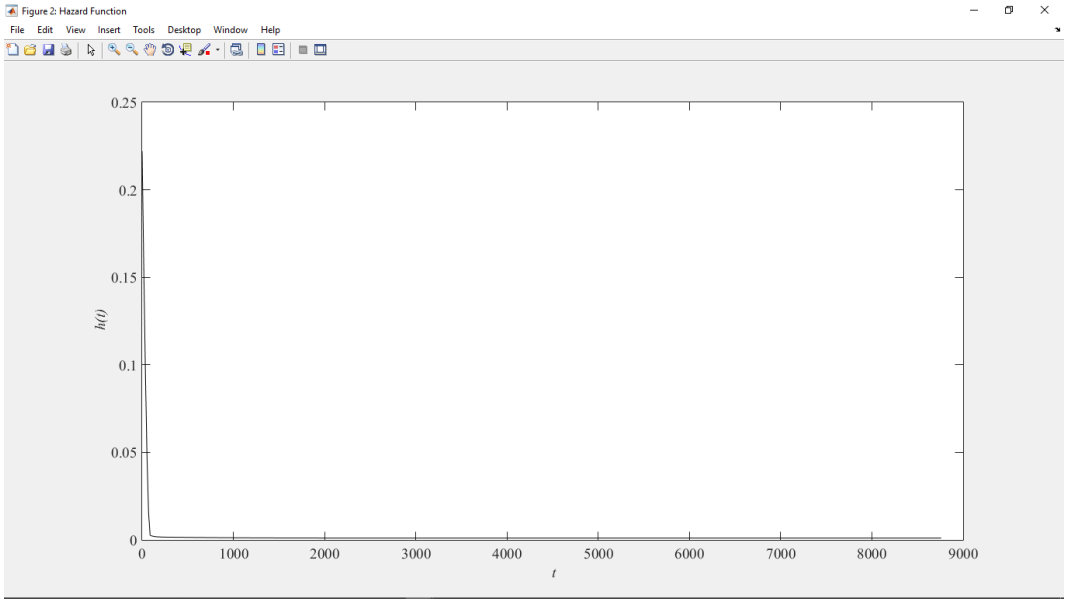
Jumlah Redundansi	*Reliability* Subsistem ($t = 8.760$)	*Reliability* Sistem ($t = 8.760$)	MTTF Subsistem	MTTF Sistem	CVTTF Subsistem	CVTTF Sistem
0	$2{,}34\times10^{-5}$	$4{,}3\times10^{-11}$	447,6	201,9	1,506	1,3921
1	$4{,}296\times10^{-5}$	$7{,}86\times10^{-11}$	503,7	370,47	1,498	1,0517

Berdasarkan Tabel 5.6 dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan redundansi *equipment* 101-J sebanyak satu buah dapat menaikkan nilai *reliability* subsistem desulfurisasi dan *reforming* sebesar 0,84 kali lipat atau 84% dan nilai MTTF subsistem sebesar 1,84 kali lipat atau 84%. Selanjutnya dilakuan *plotting* fungsi *reliability* subsistem dengan adanya skenario 2. Gambar 5.20 merepresentasikan grafik fungsi *reliability* subsistem dengan rentang waktu $t = 8.760$ jam operasi.



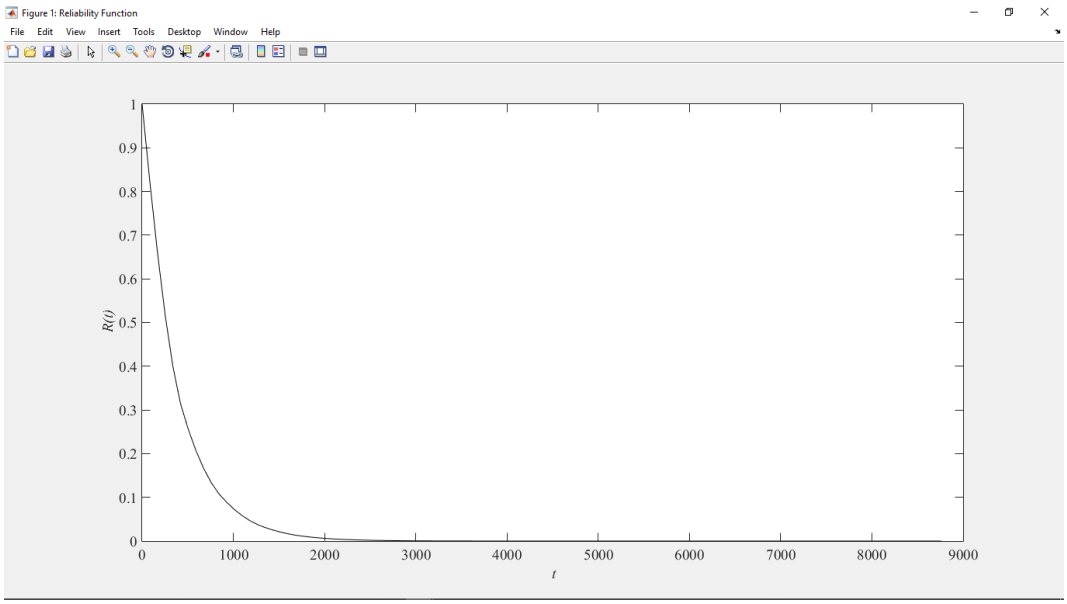
Gambar 5. 26 Grafik Fungsi Reliability Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Skenario 2

Berdasarkan Gambar 5.26, jika dibandingkan dengan grafik fungsi *reliability* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.2, maka dapat diamati bahwa penurunan *reliability* lebih landai. Kemudian jika diamati pada waktu $t = 400$ jam, nilai *reliability* masih berada diatas 0,4 berbeda dengan sebelumnya dimana nilai *reliability* telah berada pada angka 0,3. Selanjutnya akan ditampilkan grafik *hazard function* dengan Skenario 2 pada Gambar 5.27



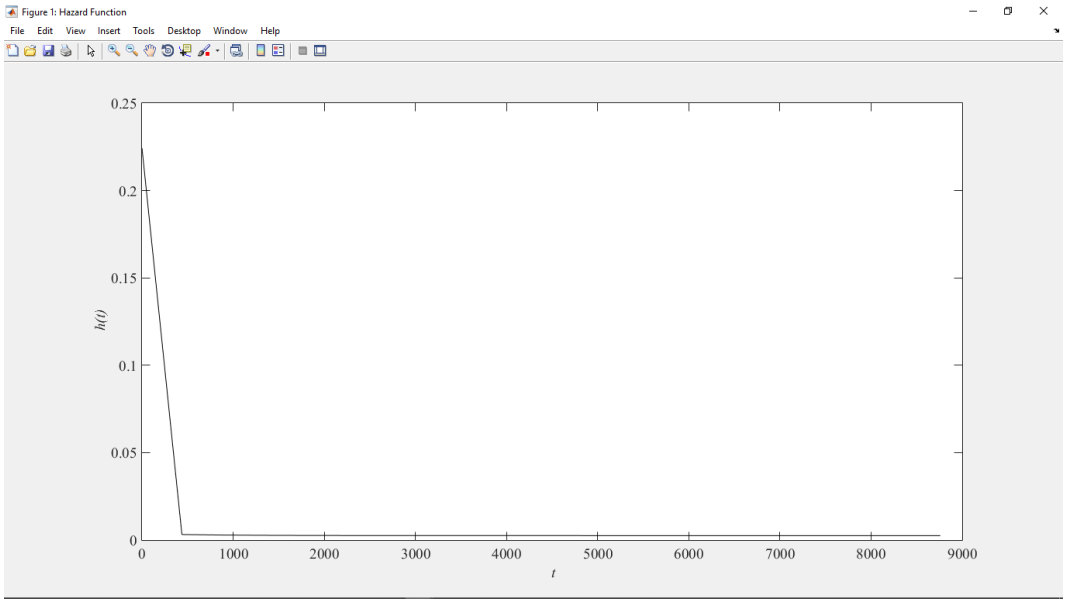
Gambar 5. 27 Grafik *Hazard Function* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming* dengan Skenario 2

Berdasarkan Gambar 5.27, jika dibandingkan dengan grafik *hazard function* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.1, maka dapat diamati bahwa *hazard function* tidak mengalami perubahan tipe *failure rate. Hazard function* dari sistem tetap sama dengan kondisi sebelumnya yang memiliki tipe *decreasing failure rate.* Selanjutnya dilakuan *plotting* fungsi *reliability* sistem produksi amonia dengan adanya Skenario 2. Grafik fungsi *reliability* sistem dengan Skenario 2 ditampilkan pada Gambar 5.28.



Gambar 5. 28 Grafik Fungsi Reliability Sistem Skenario 2

Selanjutnya akan ditampilkan grafik *hazard function* sistem dengan Skenario 2. Grafik *hazard function* tersebut ditampilkan pada Gambar 5.29



Gambar 5. 29 Grafik *Hazard Function* Sistem Produksi Amonia dengan Skenario 2

Berdasarkan Gambar 5.29, jika dibandingkan dengan grafik *hazard function* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.17, maka dapat diamati bahwa *hazard function* tdak mengalami perubahan tipe *failure rate. Hazard function* dari sistem tetap dengan kondisi *decreasing failure rate.* Sebagai bahan pertimbangan lebih lanjut, maka selanjutnya dilakukan kalkulasi *reliability* dengan penambahan redundansi sebanyak dua dan tiga buah. Tabel 5.7 menampilkan hasil perhitungan perubahan nilai *reliability* subsistem dan sistem dengan adanya hal tersebut.

Tabel 5. 7 Pengaruh Pertambahan Redundansi Equipment 101-J Terhadap *Reliability* Sistem

Penambahan Redundansi	*Reliability* Subsistem			*Reliability* Sistem		
	$t = 8.760$	$t = 720$	$t = 300$	$t = 8.760$	$t = 720$	$t = 300$
0	$2{,}34\times10^{-5}$	0,20416	0,40160	$4{,}31\times10^{-11}$	0,05737	0,225766
1	$4{,}26\times10^{-5}$	0,23154	0,42499	$7{,}86\times10^{-11}$	0,065055	0,238918
2	$5{,}87\times10^{-5}$	0,23521	0,42635	$10{,}8\times10^{-11}$	0,066087	0,239683
3	$7{,}18\times10^{-5}$	0,2357	0,42643	$13{,}2\times10^{-11}$	0,066225	0,239726

5.12.3 Pengaruh Pertambahan Redundansi Skenario 3

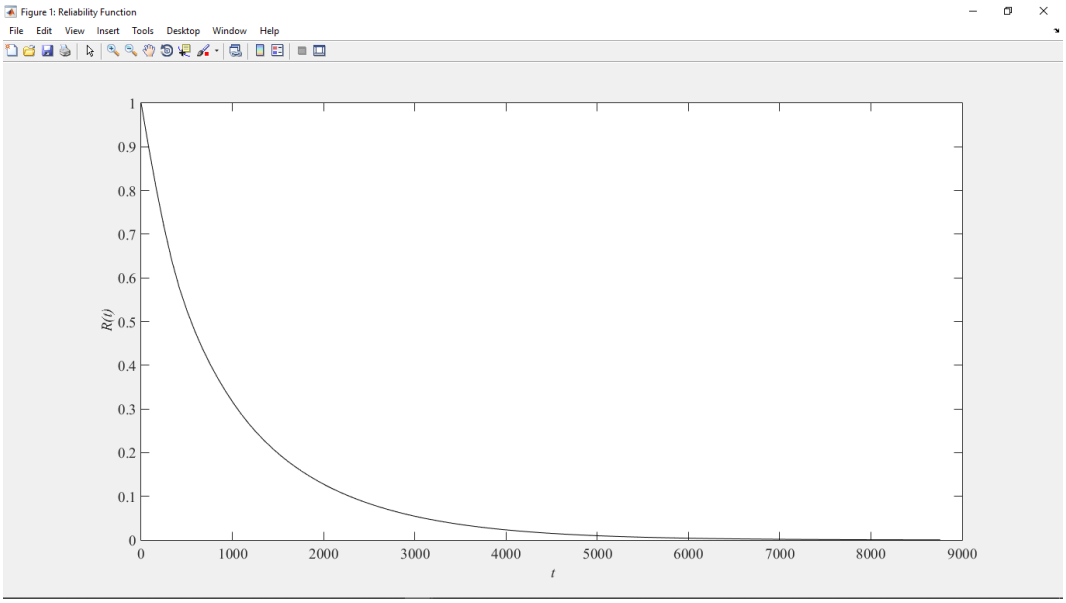
Dalam skenario ini dilakukan percobaan dengan menambah jumlah redundansi dari *equipment* 101-B dan 101-J sebanyak satu buah dan melihat

pengaruhnya terhadap perubahan fungsi *reliability* dan peningkatan nilai *reliability* sistem produksi pada $t = 8.760$ jam. Redundasi ini diasumsikan tergolong sebagai redundansi parallel dimana redundansi akan digunakan secara bersamaa dengan *equipment* lama dalam berjalannya proses produksi. Tabel 5.8 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan *reliability* subsistem, *reliability* sistem, MTTF subsistem, MTTF sistem, CVTTF subsistem, dan CVTTF sistem dari adanya penambahan redundansi *equipment* dan sebelum adanya redundansi.

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Perhitungan Skenario 3

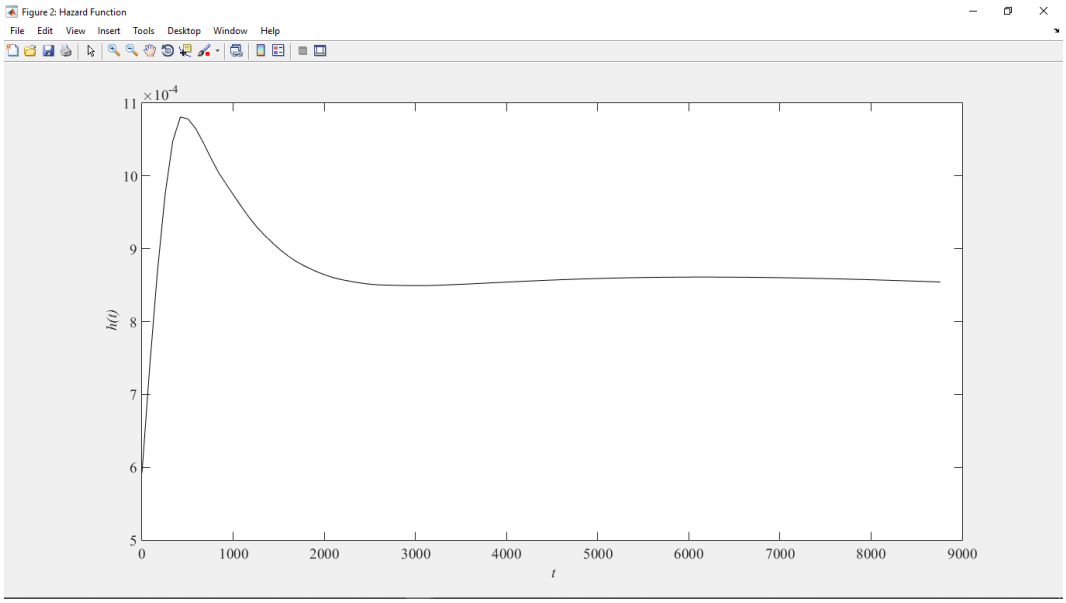
Jumlah Redundansi	*Reliability* Subsistem ($t = 8.760$)	*Reliability* Sistem ($t = 8.760$)	MTTF Subsistem	MTTF Sistem	CVTTF Subsistem	CVTTF Sistem
0	$2{,}34\times10^{-5}$	$4{,}3\times10^{-11}$	447,6	201,9	1,506	1,3921
1	$39{,}01\times10^{-5}$	$14{,}8\times10^{-11}$	917,1	402,85	1,172	1,032

Berdasarkan Tabel 5.8 dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan redundansi *equipment* 101-B dan 101-J sebanyak satu buah dapat menaikkan nilai *reliability* subsistem desulfurisasi dan *reforming* sebesar 15,67 kali lipat atau 1567,1% dan nilai MTTF subsistem sebesar 2,05 kali lipat atau 105%. Selanjutnya dilakuan *plotting* fungsi *reliability* subsistem dengan adanya skenario 3. Gambar 5.30 merepresentasikan grafik fungsi *reliability* subsistem dengan rentang waktu $t = 8.760$ jam operasi.



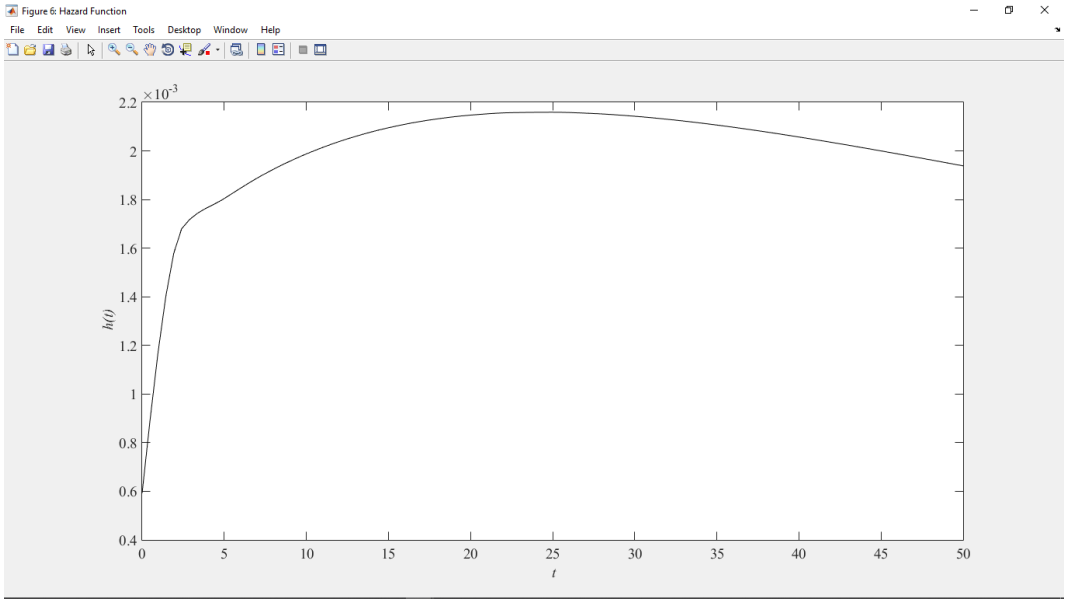
Gambar 5. 30 Grafik Fungsi *Reliability* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming* dengan Skenario 3

Berdasarkan Gambar 5.30, jika dibandingkan dengan grafik fungsi *reliability* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.2, maka dapat diamati bahwa penurunan *reliability* lebih landai. Kemudian jika diamati pada waktu $t = 400$ jam, nilai *reliability* masih berada diatas 0,5 berbeda dengan sebelumnya dimana nilai *reliability* telah berada pada angka 0,3. Selanjutnya akan ditampilkan grafik *hazard function* dengan Skenario 3 pada Gambar 5.31



Gambar 5. 31 Grafik Hazard Function Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Skenario 3

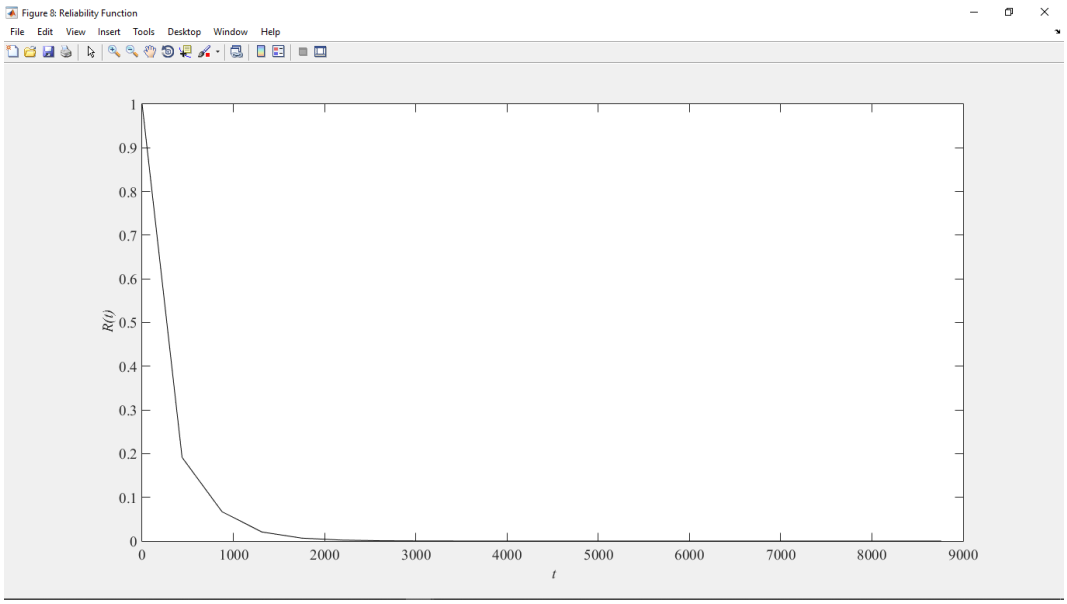
Berdasarkan Gambar 5.31, jika dibandingkan dengan grafik *hazard function* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.1, maka dapat diamati bahwa *hazard function* mengalami perubahan tipe *failure rate* dari yang semula adalah *decreasing failure rate* menjadi *hazard function* dengan *increasing failure rate* pada awal waktu dan kemudian berubah menjadi *decreasing failure rate.* Perubahan *hazard function* dari *increasing failure rate* menjadi *decreasing failure rate* terjadi pada titik t sekitar 50. Untuk melihat lebih detail terkait perubahan ini maka dilakukan *plotting hazard function* pada $t = 50$ jam atau setara dengan kurang lebih dua hari operasi. Gambar 5.32 menunjukkan grafik *hazard function* subsistem desulfurisasi dan *reforming* dengan skenario 3 pada $t = 50$ jam



Gambar 5. 32 Grafik *Hazard Function* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming* pada $t = 50$ jam dengan Skenario 3

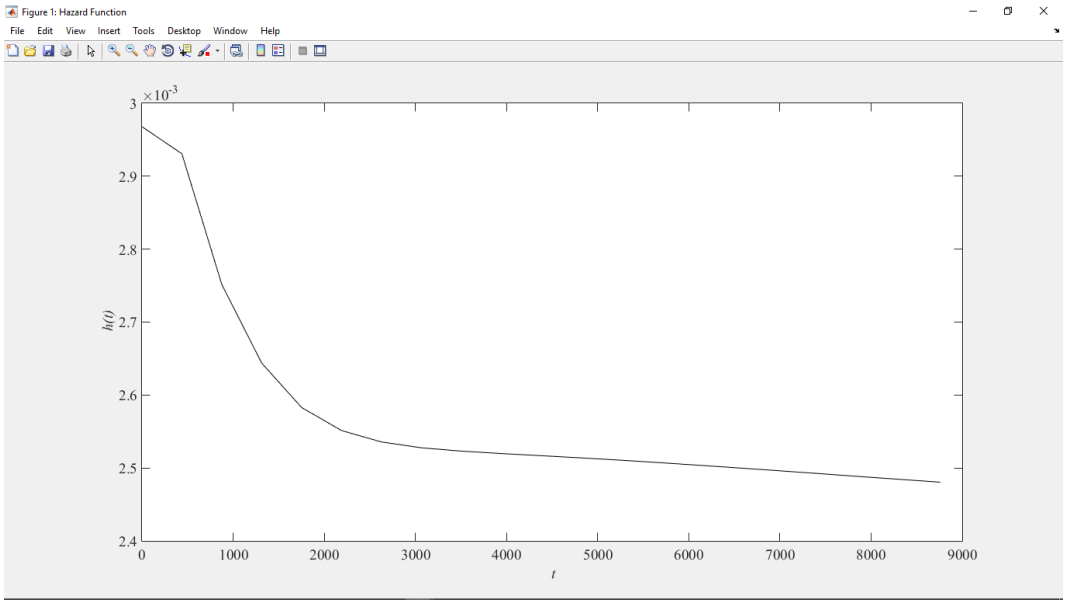
Dari Gambar 5.32 dapat diamati bahwa *failure rate* mengalami kenaikan pada rentang waktu $t = 0$ sampai $t = 20$ jam. *Failure rate* dari subsistem kemudian mulai mengalami penurunan setelahnya.

Selanjutnya dilakuan *plotting* fungsi *reliability* sistem produksi amonia dengan adanya skenario 3.



Gambar 5. 33 Grafik Fungsi *Reliability* Sistem Skenario 3

Selanjutnya akan ditampilkan grafik *hazard function* sistem dengan Skenario 3. Grafik *hazard function* tersebut ditampilkan pada Gambar 5.34



Gambar 5. 34 Grafik Hazard Function Sistem Produksi Amonia dengan Skenario 3

Berdasarkan Gambar 5.34, jika dibandingkan dengan grafik *hazard function* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.17, maka dapat diamati bahwa *hazard function* tidak mengalami perubahan tipe *failure rate. Hazard function* dari sistem tetap dengan kondisi *decreasing failure rate.* Sebagai bahan pertimbangan lebih lanjut, maka selanjutnya dilakukan kalkulasi *reliability* dengan penambahan redundansi sebanyak dua dan tiga buah. Tabel 5.9 menampilkan hasil perhitungan perubahan nilai *reliability* subsistem pada dan sistem pada $t = 8.760$ dan $t = 720$ jam dengan adanya hal tersebut.

Tabel 5. 9 Pengaruh Pertambahan Redundansi Equipment 101-B dan 101-J Terhadap Reliability Sistem

Penambahan Redundansi	*Reliability* Subsistem			*Reliability* Sistem		
	$t = 8.760$	$t = 720$	$t = 300$	$t = 8.760$	$t = 720$	$t = 300$
0	$2{,}34\times10^{-5}$	0,20416	0,4016	$4{,}31\times10^{-11}$	0,05737	0,2257
1	$4{,}39\times10^{-5}$	0.36784	0,6214	$8{,}1\times10^{-11}$	0,10334	0,4066

5.12.4 Pengaruh Pertambahan Redundansi Skenario 4

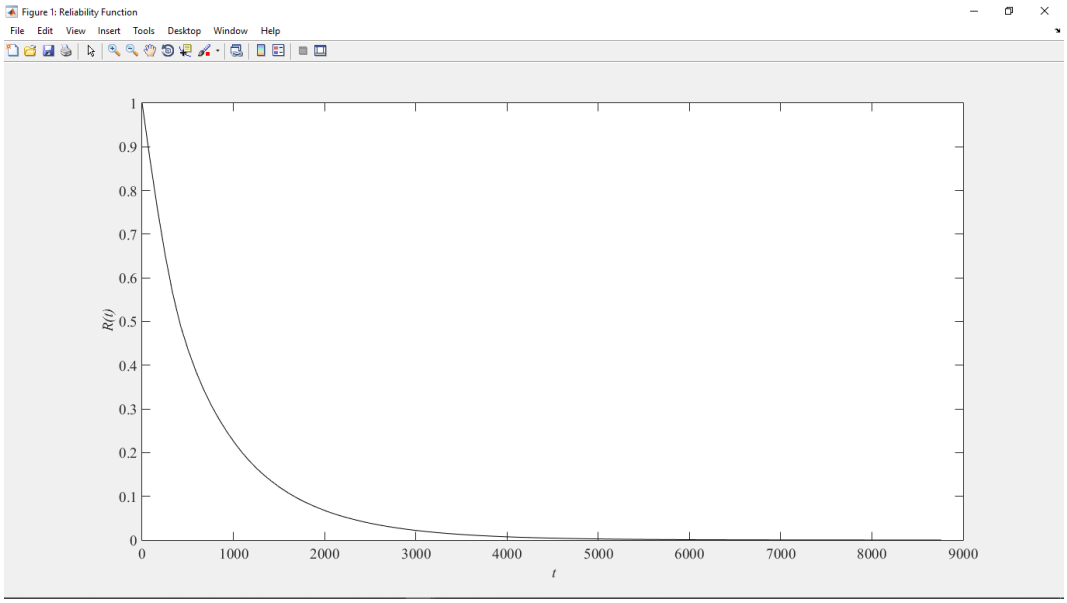
Dalam skenario ini dilakukan percobaan dengan menambah jumlah redundansi dari *equipment* 101-B sebanyak satu buah dan melihat pengaruhnya terhadap perubahan fungsi *reliability* dan peningkatan nilai *reliability* sistem

produksi pada $t = 8.760$ jam. Redundasi ini diasumsikan tergolong sebagai redundansi *cold standby* dimana redundansi akan digunakan jika *equipment* lama telah mengalami *failure*. Redundansi ini juga diasumsikan tidak mengalami kerusakan selama waktu tunggu. Tabel 5.10 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan *reliability* subsistem, *reliability* sistem, MTTF subsistem, MTTF sistem, CVTTF subsistem, dan CVTTF sistem dari adanya penambahan redundansi *equipment* dan sebelum adanya redundansi.

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Perhitungan Skenario 4

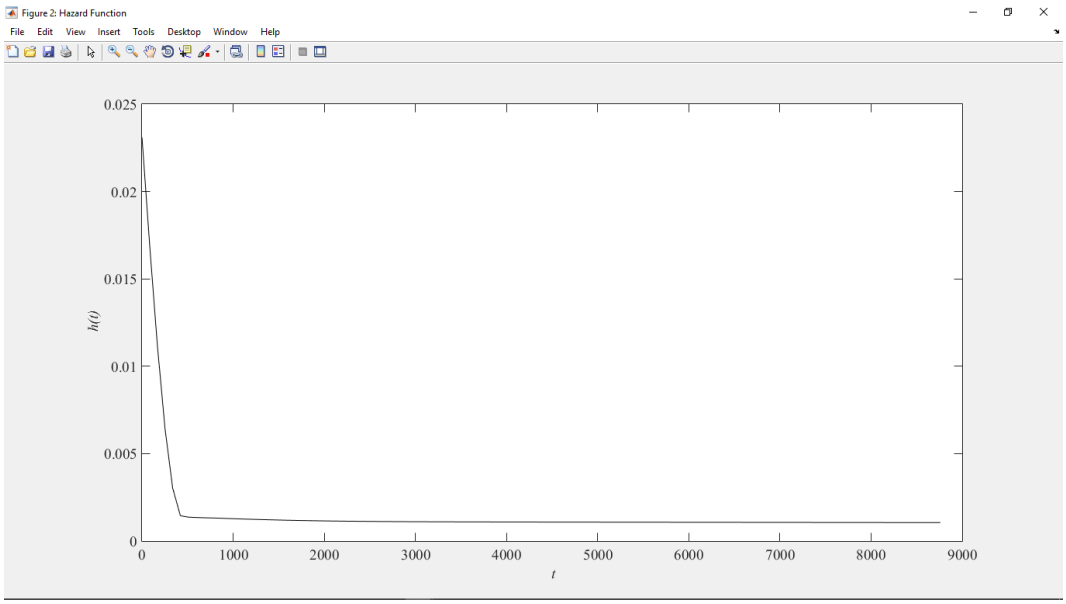
Jumlah Redundansi	*Reliability* Subsistem ($t = 8.760$)	*Reliability* Sistem ($t = 8.760$)	MTTF Subsistem	MTTF Sistem	CVTTF Subsistem	CVTTF Sistem
0	$2{,}34\times10^{-5}$	$4{,}3\times10^{-11}$	447,6	201,9	1,506	1,3921
1	$4{,}514\times10^{-5}$	$8{,}35\times10^{-11}$	674,9	338,8	1,179	1,087

Berdasarkan Tabel 5.10 dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan redundansi *equipment* 101-B sebanyak satu buah dapat menaikkan nilai *reliability* subsistem desulfurisasi dan *reforming* sebesar 1,92 kali lipat atau 92% dan nilai MTTF subsistem sebesar 1,5 kali lipat atau 50%. Selanjutnya dilakuan *plotting* fungsi *reliability* subsistem dengan adanya skenario 4. Gambar 5.35 merepresentasikan grafik fungsi *reliability* subsistem dengan rentang waktu $t = 8.760$ jam operasi.



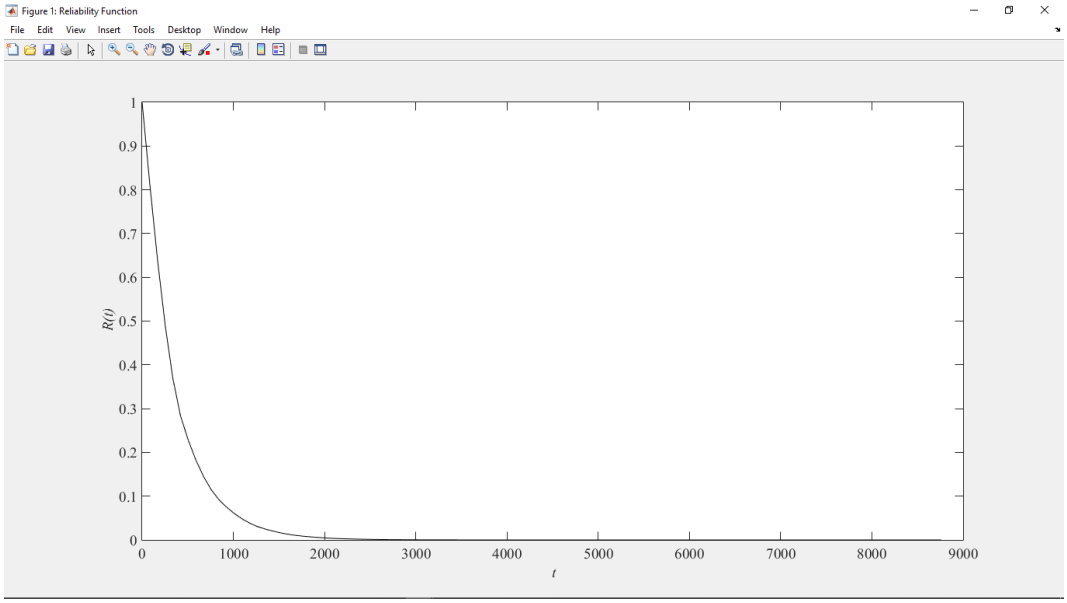
Gambar 5. 35 Grafik Fungsi Reliability Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Skenario 4

Berdasarkan Gambar 5.35, jika dibandingkan dengan grafik fungsi *reliability* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.2, maka dapat diamati bahwa penurunan *reliability* lebih landai. Kemudian jika diamati pada waktu $t = 400$ jam, nilai *reliability* masih berada diatas 0,5 berbeda dengan sebelumnya dimana nilai *reliability* telah berada pada angka 0,3. Selanjutnya akan ditampilkan grafik *hazard function* dengan Skenario 4 pada Gambar 5.36.



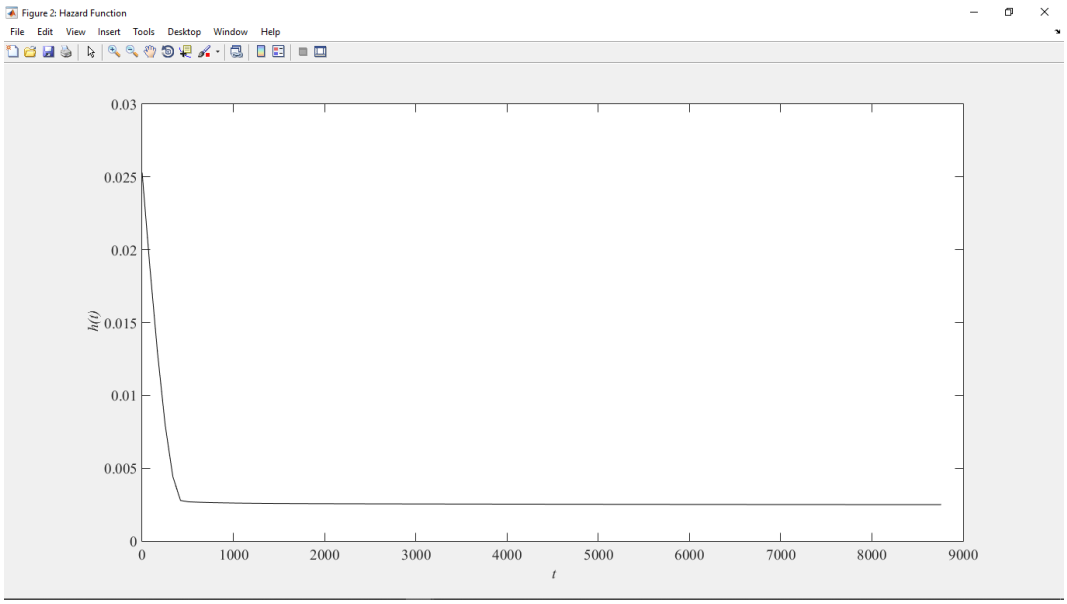
Gambar 5. 36 Grafik *Hazard Function* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming* dengan Skenario 4

Berdasarkan Gambar 5.36, jika dibandingkan dengan grafik *hazard function* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.1, maka dapat diamati bahwa *hazard function* tidak mengalami perubahan tipe *failure rate. Hazard function* dari sistem tetap sama dengan kondisi sebelumnya yang memiliki tipe *decreasing failure rate.* Selanjutnya dilakuan *plotting* fungsi *reliability* sistem produksi amonia dengan adanya Skenario 4. Grafik fungsi *reliability* sistem dengan Skenario 4 ditampilkan pada Gambar 5.37.



Gambar 5. 37 Grafik Fungsi Reliability Sistem Skenario 4

Selanjutnya akan ditampilkan grafik *hazard function* sistem dengan Skenario 4. Grafik *hazard function* tersebut ditampilkan pada Gambar 5.38



Gambar 5. 38 Grafik *Hazard Function* Sistem Produksi Amonia dengan Skenario 4

Berdasarkan Gambar 5.38, jika dibandingkan dengan grafik *hazard function* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.17, maka dapat diamati bahwa *hazard function* tdak mengalami perubahan tipe *failure rate. Hazard function* dari sistem tetap dengan kondisi *decreasing failure rate.* Sebagai bahan pertimbangan lebih lanjut, maka selanjutnya dilakukan kalkulasi *reliability* dengan penambahan

redundansi sebanyak dua dan tiga buah. Tabel 5.11 menampilkan hasil perhitungan perubahan nilai *reliability* subsistem dan sistem dengan adanya hal tersebut.

Tabel 5. 11 Pengaruh Pertambahan Redundansi Equipment 101-B Terhadap *Reliability* Sistem

Penambahan Redundansi	*Reliability* Subsistem			*Reliability* Sistem		
	$t = 8.760$	$t = 720$	$t = 300$	$t = 8.760$	$t = 720$	$t = 300$
0	$2{,}34\times10^{-5}$	0,20416	0,4016	$4{,}31\times10^{-11}$	0,05737	0,225766
1	$4{,}51\times10^{-5}$	0,32573	0,5812	$8{,}34\times10^{-11}$	0,09151	0,326737
2	$6{,}43\times10^{-5}$	0,38992	0,65298	$1{,}19\times10^{-10}$	0,10936	0,367081
3	$8{,}05\times10^{-5}$	0,41947	0,67931	$1{,}49\times10^{-11}$	0,11785	0,381892

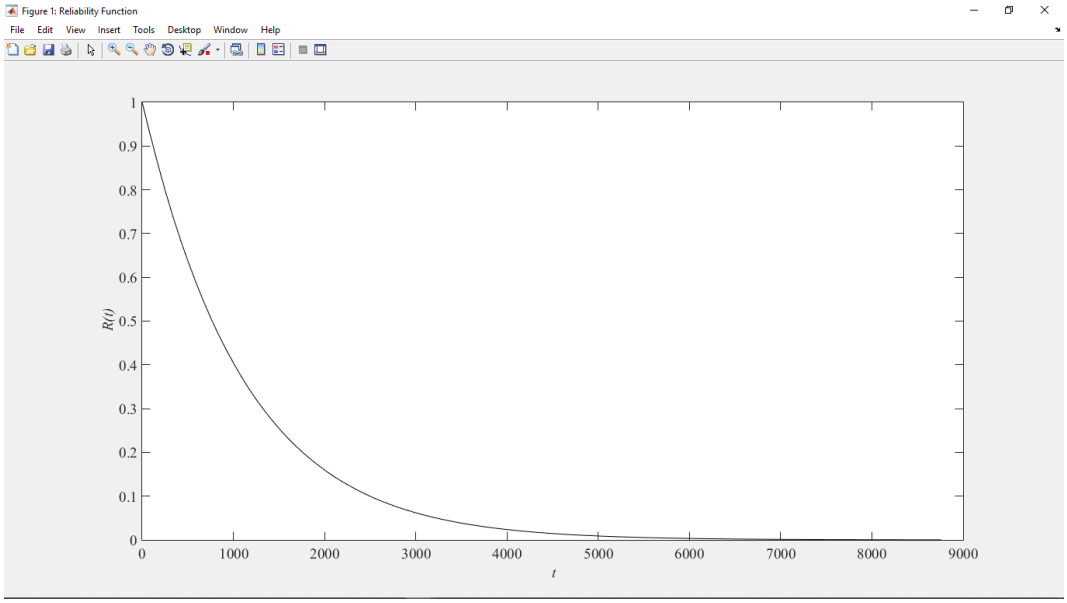
5.12.5 Pengaruh Pertambahan Redundansi Skenario 5

Dalam skenario ini dilakukan percobaan dengan menambah jumlah redundansi dari *equipment* 101-J sebanyak satu buah dan melihat pengaruhnya terhadap perubahan fungsi *reliability* dan peningkatan nilai *reliability* sistem produksi pada $t = 8.760$ jam. Redundasi ini diasumsikan tergolong sebagai redundansi *cold standby* dimana redundansi akan digunakan jika *equipment* lama telah mengalami *failure.* Redundansi ini juga diasumsikan tidak mengalami kerusakan selama waktu tunggu. Tabel 5.12 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan *reliability* subsistem, *reliability* sistem, MTTF subsistem, MTTF sistem, CVTTF subsistem, dan CVTTF sistem dari adanya penambahan redundansi *equipment* dan sebelum adanya redundansi.

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Perhitungan Skenario 5

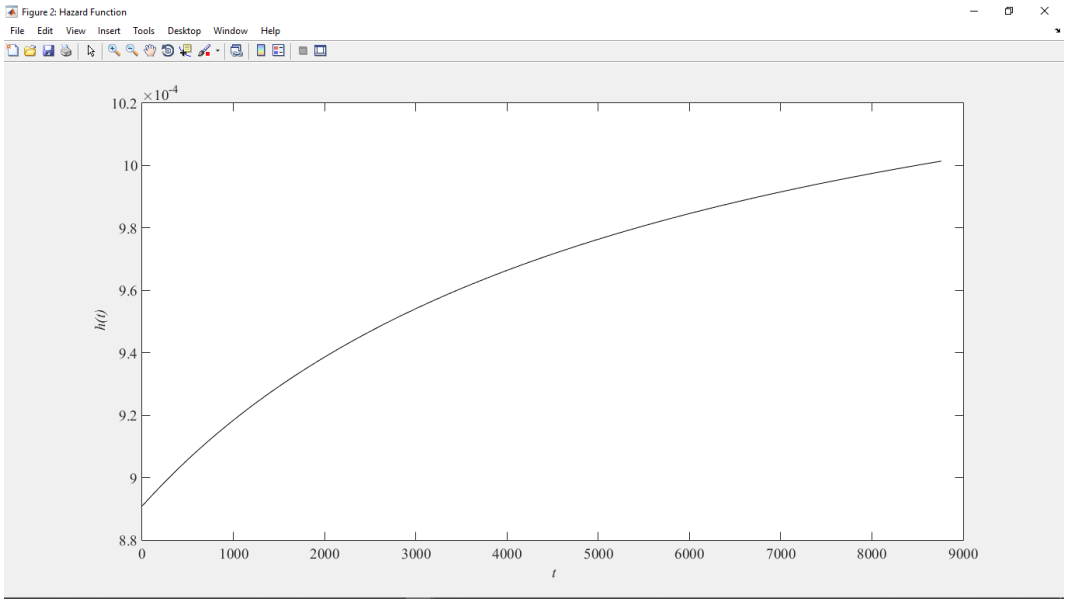
Jumlah Redundansi	*Reliability* Subsistem $(t = 8.760)$	*Reliability* Sistem $(t = 8.760)$	MTTF Subsistem	MTTF Sistem	CVTTF Subsistem	CVTTF Sistem
0	$2{,}34\times10^{-5}$	$4{,}3\times10^{-11}$	447,6	201,9	1,506	1,3921
1	$2{,}169\times10^{-4}$	$4{,}00\times10^{-10}$	1090,7	369,7	0,9790	1,0563

Berdasarkan Tabel 5.10 dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan redundansi *equipment* 101-B sebanyak satu buah dapat menaikkan nilai *reliability* subsistem desulfurisasi dan *reforming* sebesar 8,3 kali lipat atau 830% dan nilai MTTF subsistem sebesar 1,43 kali lipat atau 143%. Selanjutnya dilakuan *plotting* fungsi *reliability* subsistem dengan adanya skenario 5. Gambar 5.39 merepresentasikan grafik fungsi *reliability* subsistem dengan rentang waktu $t = 8.760$ jam operasi.



Gambar 5. 39 Grafik Fungsi Reliability Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Skenario 5

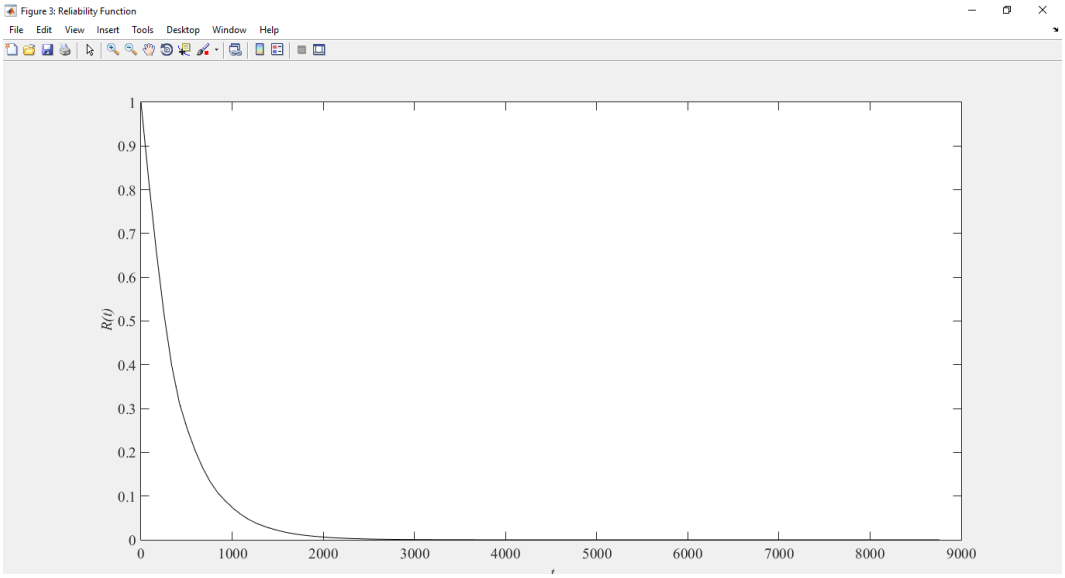
Berdasarkan Gambar 5.39, jika dibandingkan dengan grafik fungsi *reliability* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.2, maka dapat diamati bahwa penurunan *reliability* lebih landai. Selanjutnya akan ditampilkan grafik *hazard function* dengan Skenario 5 pada Gambar 5.40.



Gambar 5. 40 Grafik *Hazard Function* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming* dengan Skenario 5

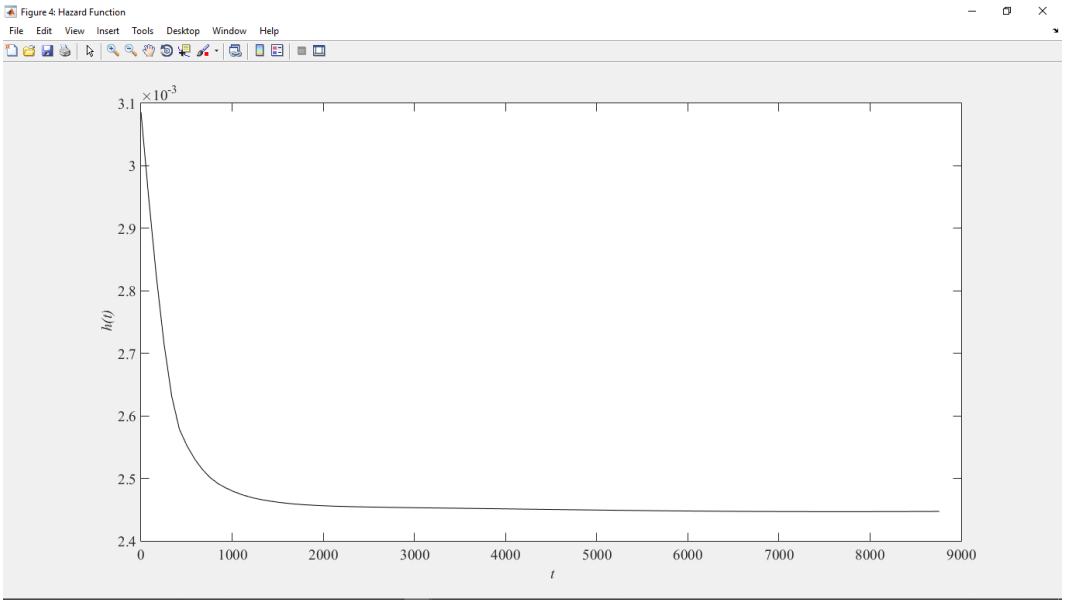
Berdasarkan Gambar 5.40, jika dibandingkan dengan grafik *hazard function* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.1, maka dapat diamati bahwa *hazard*

function mengalami perubahan tipe *failure rate. Hazard function* menjadi tergolong dalam kategori *increasing failure rate.* Selanjutnya dilakukan *plotting* fungsi *reliability* sistem produksi amonia dengan adanya Skenario 5. Grafik fungsi *reliability* sistem dengan Skenario 5 ditampilkan pada Gambar 5.41.



Gambar 5. 41 Grafik Fungsi Reliability Sistem Skenario 5

Selanjutnya akan ditampilkan grafik *hazard function* sistem dengan Skenario 5. Grafik *hazard function* tersebut ditampilkan pada Gambar 5.42



Gambar 5. 42 Grafik *Hazard Function* Sistem Produksi Amonia dengan Skenario 4

Berdasarkan Gambar 5.42, jika dibandingkan dengan grafik *hazard function* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.17, maka dapat diamati bahwa *hazard function* tdak mengalami perubahan tipe *failure rate. Hazard function* dari sistem tetap dengan kondisi *decreasing failure rate.* Sebagai bahan pertimbangan lebih lanjut, maka selanjutnya dilakukan kalkulasi *reliability* dengan penambahan redundansi sebanyak dua dan tiga buah. Tabel 5.11 menampilkan hasil perhitungan perubahan nilai *reliability* subsistem dan sistem dengan adanya hal tersebut.

Tabel 5. 13 Pengaruh Pertambahan Redundansi Equipment 101-J Terhadap *Reliability* Sistem

Penambahan Redundansi	*Reliability* Subsistem			*Reliability* Sistem		
	$t = 8.760$	$t = 720$	$t = 300$	$t = 8.760$	$t = 720$	$t = 300$
0	$2{,}34\times10^{-5}$	0,20416	0,4016	$4{,}31\times10^{-11}$	0,05737	0,225766
1	$2{,}17\times10^{-4}$	0,52247	0,76439	$4{,}00\times10^{-10}$	0,14679	0,429718
2	$3{,}22\times10^{-4}$	0,52636	0,76545	$5{,}93\times10^{-10}$	0,14789	0,430311
3	$3{,}76\times10^{-4}$	0,52653	0,76547	$6{,}95\times10^{-10}$	0,14793	0,430328

5.12.6 Pengaruh Pertambahan Redundansi Skenario 6

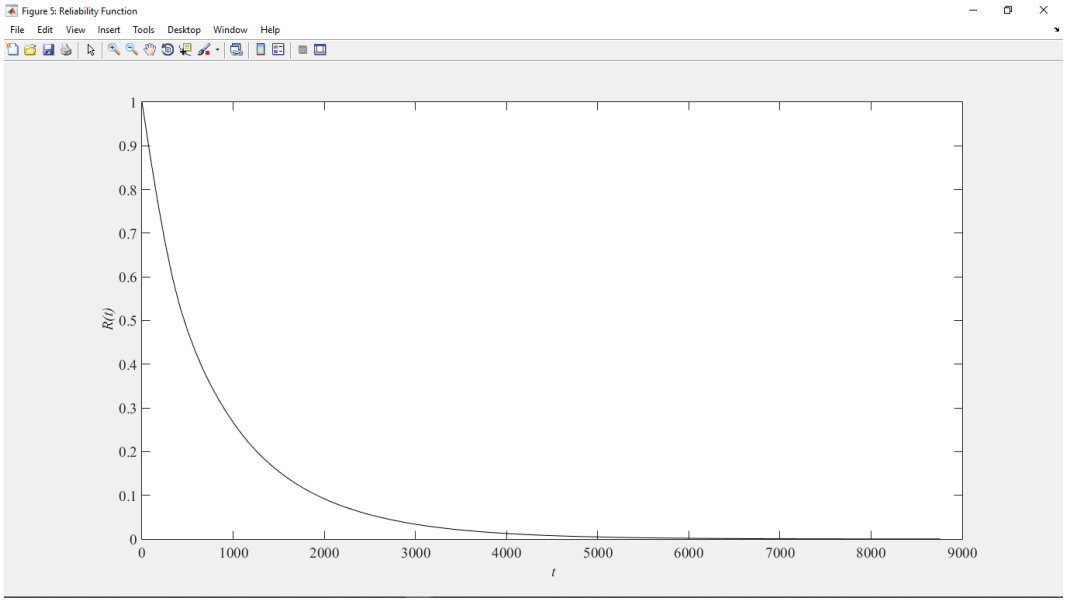
Dalam skenario ini dilakukan percobaan dengan menambah jumlah redundansi dari *equipment* 101-B dan 101-J sebanyak satu buah untuk melihat pengaruhnya terhadap perubahan fungsi *reliability* dan peningkatan nilai *reliability* sistem produksi pada $t = 8.760$ jam. Redundasi ini diasumsikan tergolong sebagai redundansi *cold standby* dimana redundansi akan digunakan jika *equipment* lama telah mengalami *failure*. Redundansi ini juga diasumsikan tidak mengalami kerusakan selama waktu tunggu. Tabel 5.14 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan *reliability* subsistem, *reliability* sistem, MTTF subsistem, MTTF sistem, CVTTF subsistem, dan CVTTF sistem dari adanya penambahan redundansi *equipment* dan sebelum adanya redundansi.

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Perhitungan Skenario 6

Jumlah Redundansi	*Reliability* Subsistem ($t = 8.760$)	*Reliability* Sistem ($t = 8.760$)	MTTF Subsistem	MTTF Sistem	CVTTF Subsistem	CVTTF Sistem
0	$2{,}34\times10^{-5}$	$4{,}3\times10^{-11}$	447,6	201,9	1,506	1,3921
1	$1{,}08\times10^{-4}$	$1{,}99\times10^{-10}$	773,04	382,4	1,178	1,0567

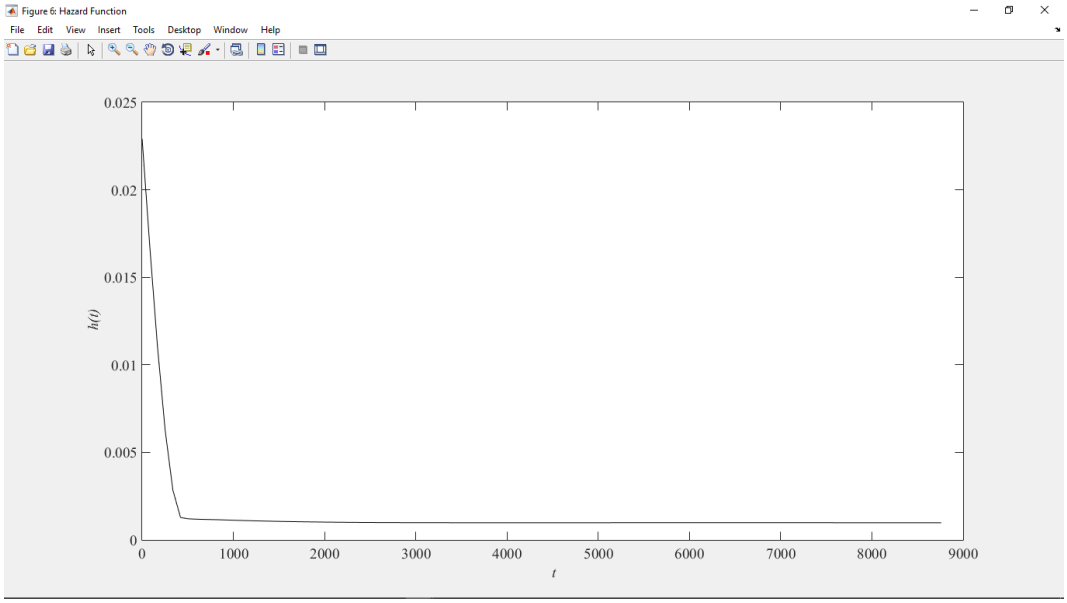
Berdasarkan Tabel 5.14 dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan redundansi *equipment* 101-B dan 101-J sebanyak satu buah dapat menaikkan nilai *reliability* subsistem desulfurisasi dan *reforming* sebesar 0,84 kali lipat atau 84% dan nilai MTTF subsistem sebesar 3,61 kali lipat atau 361%. Selanjutnya dilakukan

plotting fungsi *reliability* subsistem dengan adanya Skenario 6. Gambar 5.43 merepresentasikan grafik fungsi *reliability* subsistem dengan rentang waktu $t = 8.760$ jam operasi.



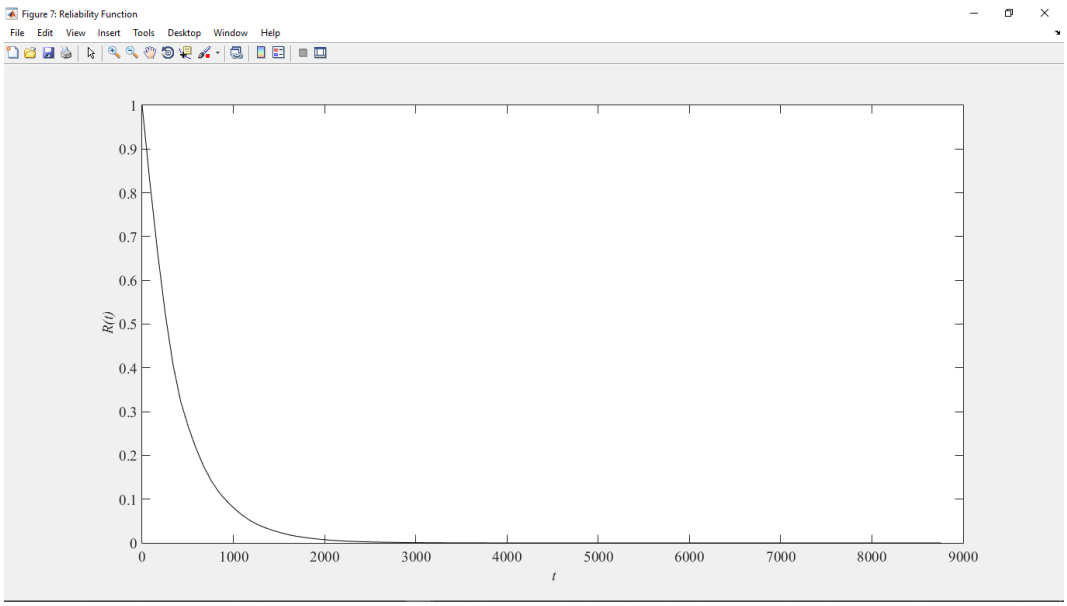
Gambar 5. 43 Grafik Fungsi Reliability Subsistem Desulfurisasi dan Reforming dengan Skenario 6

Berdasarkan Gambar 5.43, jika dibandingkan dengan grafik fungsi *reliability* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.2, maka dapat diamati bahwa penurunan *reliability* lebih landai. Kemudian jika diamati pada waktu $t = 400$ jam, nilai *reliability* masih berada diatas 0,6 berbeda dengan sebelumnya dimana nilai *reliability* telah berada pada angka 0,3. Selanjutnya akan ditampilkan grafik *hazard function* dengan Skenario 6 pada Gambar 5.44.



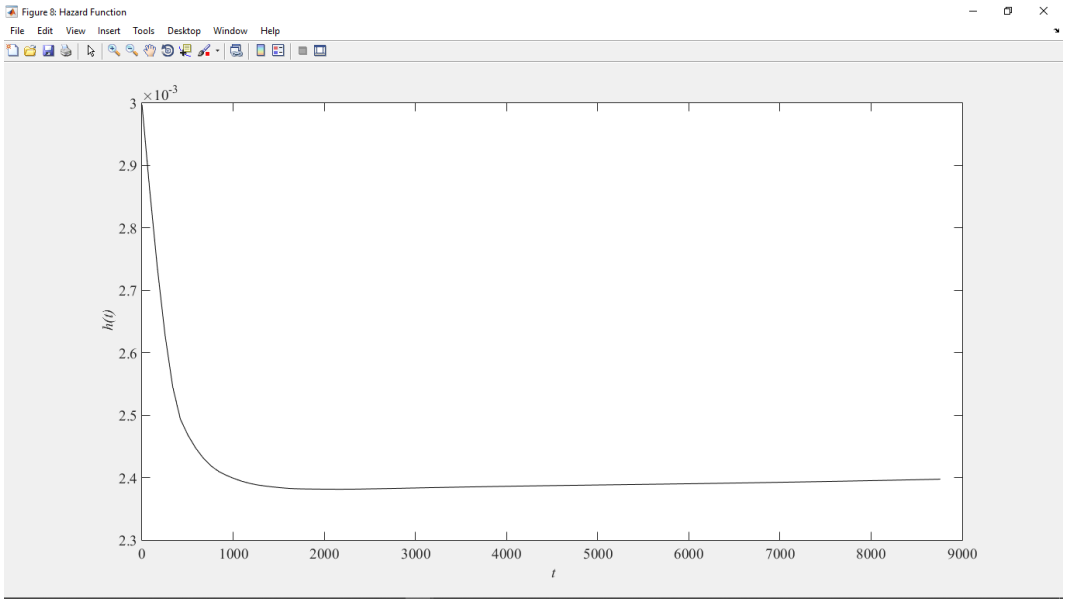
Gambar 5. 44 Grafik *Hazard Function* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming* dengan Skenario 6

Berdasarkan Gambar 5.44, jika dibandingkan dengan grafik *hazard function* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.1, maka dapat diamati bahwa *hazard function* tidak mengalami perubahan tipe *failure rate. Hazard function* dari sistem tetap sama dengan kondisi sebelumnya yang memiliki tipe *decreasing failure rate.* Selanjutnya dilakuan *plotting* fungsi *reliability* sistem produksi amonia dengan adanya Skenario 6. Grafik fungsi *reliability* sistem dengan Skenario 6 ditampilkan pada Gambar 5.45.



Gambar 5. 45 Grafik Fungsi Reliability Sistem Skenario 6

Selanjutnya akan ditampilkan grafik *hazard function* sistem dengan Skenario 6. Grafik *hazard function* tersebut ditampilkan pada Gambar 5.46



Gambar 5. 46 Grafik *Hazard Function* Sistem Produksi Amonia dengan Skenario 6

Berdasarkan Gambar 5.46, jika dibandingkan dengan grafik *hazard function* subsistem sebelumnya pada Gambar 5.17, maka dapat diamati bahwa *hazard function* mengalami perubahan tipe *failure rate. Hazard function* dari pada awalnya kondisi *decreasing failure rate,* kemudian pada titik t sekitar 2.000, *hazard function* mulai mengalami kenaikan atau dikategorikan sebagai *increasing failure rate.*. Sebagai bahan pertimbangan lebih lanjut, maka selanjutnya dilakukan kalkulasi *reliability* dengan penambahan redundansi sebanyak dua dan tiga buah. Tabel 5.15 menampilkan hasil perhitungan perubahan nilai *reliability* subsistem dan sistem dengan adanya hal tersebut.

Tabel 5. 15 Pengaruh Pertambahan Redundansi Equipment 101-B dan 101-J Terhadap *Reliability* Sistem

Penambahan Redundansi	*Reliability* Subsistem			*Reliability* Sistem		
	$t = 8.760$	$t = 720$	$t = 300$	$t = 8.760$	$t = 720$	$t = 300$
0	$2{,}34\times10^{-5}$	0,20416	0,4016	$4{,}31\times10^{-11}$	0,05737	0,225766
1	$1{,}08\times10^{-4}$	0,47691	0,7218	$1{,}99\times10^{-10}$	0,13399	0,405826

BAB 6
KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dipaparkan mengenai kesimpulan dan saran dari adanya penelitian ini. Kesimpulan berisi rangkuman untuk menjawab tujuan dari penelitian, sedangkan saran berisi rekomendasi untuk penelitian selanjutnya

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari adanya penelitian ini yaitu:

1. Penyusunan *reliability block diagram* level 1 dilakukan pada level sistem yang berisi *block diagram* dari subsistem, sedangkan penyusunan *reliability block diagram* level 2 dilakukan pada level subsistem yang berisi *block diagram* dari hubungan antar *equipment*
2. Terdapat delapan buah *reliability block diagram* yang telah disusun yaitu *reliability block diagram* subsistem desulfurisasi dan *reforming*, *reliability block diagram* subsistem CO *shift conversion, reliability block diagram* subsistem CO_2 *removal, reliability block diagram* subsistem metanasi, *reliability block diagram* subsistem kompresi gas sintesis, *reliability block diagram* subsistem konversi amonia, *reliability block diagram* subsistem refrigerasi, dan *reliability block diagram* sistem produksi amonia.
3. Dari hasil pemodelan fungsi *reliability* sistem dengan metode *phase-type distribution* didapatkan bahwa fungsi *reliability* dari sistem produksi amonia mengikuti distribusi hipo-eksponensial berorde 393.660 dengan nilai *reliability* pada $t = 8760$ adalah sebesar $4{,}31 \times 10^{-11}$ dan MTTF sebesar $201{,}9622$ jam.
4. *Equipment* yang tergolong sebagai *equipment* kritis pada sistem produksi amonia adalah *Primary Reformer* 101-B dan *Air Compressor* 103-J.
5. Penggunaan metode *phase-type distribution* pada pemodelan *reliability* memungkinkan *user* untuk dapat melakukan analisa lebih mendalam terkait *behavior* dari *reliability* sistem dengan waktu kalkulasi yang jauh lebih cepat dibandingkan dengan metode skalar.

6. Berdasarkan hasil perhitungan skenario redundansi dan wawancara dengan pihak perusahaan maka usulan yang *feasible* untuk diterapkan yaitu penambahan *standby equipment* 101-J atau Skenario 5.

6.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Melakukan analisis kelayakan biaya terkait dengan rekomendasi perbaikan.
2. Melakukan perhitungan availibilitas sistem dengan mempertimbangkan waktu *turn around* pabrik.
3. Melakukan pemodelan *reliability* yang dapat memprediksi waktu terjadinya kegagalan pada *equipment,* subsitem, dan sistem secara eksak.
4. Dengan digunakannya asumsi *as good as new* pada semua perlatan baik yang sedang diamati maupun yang nantinya akan ditambahkan, maka sebaiknya perlu dilakukan telaah lebih mendetail terkait lama penggunaan *equipment*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

A, K. J., 1998. *Maintenance, Replacement and Reliability*. Ontario, Canada: Preney Print and Litho Inc.

Alkaff, A. & Qomarudin, M. N., 2020. Modeling and analysis of system reliability using phase-type distribution closure properties. *Applied Stochastic Model in Business and Industry*, pp. 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 Enginering International*, Volume 33, pp. 1641 - 1654.

Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia, 2020. *Supply and Demand 2014 - 2019*, s.l.: Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia.

Assaf, D. & Levikson, B., 1982. Closure of phase type distributions under operations arising in reliability theory. *The Annals of Probability,*, Volume 10, pp. 265-269.

Assauri, S., 2008. *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Sofjan Assauri (2008 : 42).

Bellman, R., 1997. *Introduction to Matrix Analysis, Society for Industrial and Applied Mathematics.* Philadelphia: s.n.

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, C. D. & Dye, S., 2012. *Management Science Decision Making Through System Thinking.* London: PALGRAVE MACMILLAN.

Daellenbach, H. G. & McNickle, D. C., 2005. *Management science: Decision making through systems thinking.* 1st ed. New York: Palgrave Macmillan.

Deighton, M. G., 2016. *Facility Integrity Management : Effective Principles and Practices for the Oil, Gas and Petrochemical Industries.* s.l.:s.n.

Dhillon, B. S., 2006. *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers.* Boca Raton: Taylor & Francis Group.

Forsthoffer, W. B., 2005. *Rotating equipment overview. Forsthoffer's Rotating Equipment Handbooks.* s.l.:s.n.

Gagniuc, P. A., 2017. *Markov Chains : From Theory to Implementation and Experimentation.* USA: NJ : John Wiley and Sons.

Jardine, A. K. S., 1998. *Maintenance, Replacement and Reliability.* Ontario, Canada: Preney Print and Litho Inc.

Kemendag, 2013. *MARKET BRIEF : PENETRASI PASAR AMMONIA (NH3) DI FILIPINA,* s.l.: Kemendag Indonesia.

Kim, H. & Kim, P., 2017. Reliability models for a nonrepairable system with heterogeneous components having a phase-type time-to-failure distribution. *Reliability Engineering and System Safety.*

Kim, H. & Kim, P., 2017. Reliability models for a nonrepairable system with heterogeneous components having a phase-type time-to-failure distribution. *Reliability Engineering and System Safety,* pp. 37 - 46.

Neuts, M. F., 1981. *Matrix-Geometric Solutions in Stochastic Models : An Algorithm Approach.* New York: General Publishing Company, Ltd.

Neuts, M. F., 1994. *Matrix-Geometric Solutions in Stochastic Models - An Algorithmic Approach.* New York: s.n.

Trivedi, K. S. & Bobbio, A., 2017. *Reliability and Availability Engineering : Modelling, Analysis, and Applications.* Cambridge: Cambridge University Press.

Visser, K. & Jordaan, J., 2012. A Maintenance Strategy Model for Static Equipment using Inspection Methodologies and Risk Management. *The South Afican Journal.*

Wan, R. & Kuo, W., 2007. *Recent andvances in optimal reliability allocation.* Berlin: s.n.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Perhitungan Fungsi *Reliability* Subsistem Desulfurisasi dan *Reforming*

Waktu (jam) t	Reliability $R(t)$	Hazard $h(t)$
0	1.000000	0.2222400
438	0.317990	0,0016490
876	0,162480	0,0014302
1314	0,089820	0,0012883
1752	0,052102	0,0012064
2190	0,031050	0,0011616
2628	0,018878	0,0011371
3066	0,011450	0,0011231
3504	0,007000	0,0011143
3942	0,004312	0,0011080
4380	0,002657	0,0011028
4818	0,001641	0,0010982
5256	0,001015	0,0010938
5694	0,000630	0,0010894
6132	0,000391	0,0010851
6570	0,000243	0,0010807
7008	0,000151	0,0010764
7446	$9{,}48\times10^{-5}$	0,0010720
7884	$5{,}93\times10^{-5}$	0,0010677
8322	$3{,}72\times10^{-5}$	0,0010633
8760	$2{,}33\times10^{-5}$	0,0010590

Lampiran 2 Hasil Perhitungan Fungsi *Reliability* Subsistem CO *Shift Conversion*

Waktu (jam) t	Reliability $R(t)$	Hazard $h(t)$
0	1,00000	0.00010062
438	0,95688	0.00010062
876	0,91563	0.00010063
1314	0,87615	0.00010063
1752	0,83837	0.00010063
2190	0,80222	0.00010064
2628	0,76762	0.00010064
3066	0.73452	0.00010065
3504	0.70284	0.00010065
3942	0.67253	0.00010065
4380	0.64352	0.00010066
4818	0.61577	0.00010066
5256	0.58921	0.00010066
5694	0.56380	0.00010067
6132	0.53948	0.00010067
6570	0.51621	0.00010067
7008	0.49394	0.00010068
7446	0.47263	0.00010068
7884	0.45224	0.00010068
8322	0.43273	0.00010069

Waktu (jam) t	Reliability $R(t)$	Hazard $h(t)$
8760	0.41406	0.00010069

Lampiran 3 Hasil Perhitungan Fungsi *Reliability* Subsistem CO_2 *Removal*

Waktu (jam) t	Reliability $R(t)$	Hazard $h(t)$
0	1	0.00036776
438	0,85112	0.00036829
876	0,72425	0.00036882
1314	0.61614	0.00036933
1752	0.52406	0.00036983
2190	0.44564	0.00037032
2628	0.37887	0.00037080
3066	0.32204	0.00037127
3504	0.27368	0.00037173
3942	0.23254	0.00037218
4380	0.19754	0.00037262
4818	0.16778	0.00037305
5256	0.14247	0.00037347
5694	0.12096	0.00037389
6132	0.10268	0.00037430
6570	0.08715	0.00037469
7008	0.07395	0.00037509
7446	0.06274	0.00037547
7884	0.05322	0.00037585
8322	0,04514	0.00037622
8760	0.03828	0.00037658

Lampiran 4 Hasil Perhitungan Fungsi *Reliability* Subsistem Metanasi

Waktu (jam) t	Reliability $R(t)$	Hazard $h(t)$
0	1,00000	$2{,}75\times10^{-5}$
438	0.98801	$2{,}75\times10^{-5}$
876	0.97616	$2{,}75\times10^{-5}$
1314	0.96446	$2{,}75\times10^{-5}$
1752	0.95290	$2{,}75\times10^{-5}$
2190	0.94147	$2{,}75\times10^{-5}$
2628	0.93018	$2{,}75\times10^{-5}$
3066	0.91903	$2{,}75\times10^{-5}$
3504	0.90801	$2{,}75\times10^{-5}$
3942	0.89712	$2{,}75\times10^{-5}$
4380	0.88637	$2{,}75\times10^{-5}$
4818	0.87574	$2{,}75\times10^{-5}$
5256	0.86524	$2{,}75\times10^{-5}$
5694	0.85486	$2{,}75\times10^{-5}$
6132	0.84461	$2{,}75\times10^{-5}$
6570	0.83449	$2{,}75\times10^{-5}$
7008	0.82448	$2{,}75\times10^{-5}$
7446	0.81460	$2{,}75\times10^{-5}$
7884	0.80483	$2{,}75\times10^{-5}$
8322	0.79518	$2{,}75\times10^{-5}$
8760	0.78564	$2{,}75\times10^{-5}$

Lampiran 5 Hasil Perhitungan Fungsi *Reliability* Subsistem Kompresi Gas Sintesis

Waktu (jam) t	Reliability $R(t)$	Hazard $h(t)$
0	1,00000	0.00094772
438	0.74456	0.00054465
876	0.59328	0.00050522
1314	0.47655	0.00049618
1752	0.38403	0.00048950
2190	0.31036	0.00048308
2628	0.25152	0.00047684
3066	0.20438	0.00047084
3504	0.16650	0.00046514
3942	0.13598	0.00045976
4380	0.11130	0.00045475
4818	0.09129	0.00045012
5256	0.07503	0.00044587
5694	0.06177	0.00044201
6132	0.05094	0.00043853
6570	0.04207	0.00043541
7008	0.03478	0.00043264
7446	0.02879	0.00043020
7884	0.02386	0.00042806
8322	0.01979	0.00042619
8760	0.01642	0.00042459

Lampiran 6 Hasil Perhitungan Fungsi *Reliability* Subsistem Konversi Amonia

Waktu (jam) t	Reliability $R(t)$	Hazard $h(t)$
0	1,00000	0.0001941
438	0.91850	0.0001941
876	0.84364	0.0001941
1314	0.77488	0.0001941
1752	0.71173	0.0001941
2190	0.65372	0.0001941
2628	0.60044	0.0001941
3066	0.55150	0.0001941
3504	0.50655	0.0001941
3942	0.46527	0.0001941
4380	0.42735	0.0001941
4818	0.39252	0.0001941
5256	0.36053	0.0001941
5694	0.33114	0.0001941
6132	0.30415	0.0001941
6570	0.27936	0.0001941
7008	0.25660	0.0001941
7446	0.23568	0.0001941
7884	0.21647	0.0001941
8322	0.19883	0.0001941
8760	0.18263	0.0001941

Lampiran 7 Hasil Perhitungan Fungsi *Reliability* Subsistem Refrigerasi

Waktu (jam) t	Reliability $R(t)$	Hazard $h(t)$
0	0.99999	0.00055729
438	0.80769	0.00043313
876	0.67748	0.00037726
1314	0.57776	0.00035311
1752	0.49627	0.00034258
2190	0.42763	0.00033771
2628	0.36905	0.00033518
3066	0.31878	0.00033359
3504	0.27552	0.00033241
3942	0.23824	0.00033139
4380	0.20610	0.00033045
4818	0.17836	0.00032955
5256	0.15442	0.00032867
5694	0.13374	0.00032781
6132	0.11587	0.00032697
6570	0.10043	0.00032615
7008	0.08708	0.00032535
7446	0.07552	0.00032456
7884	0.06553	0.00032379
8322	0.05688	0.00032304
8760	0.04938	0.00032231

BIOGRAFI PENYUSUN

Penyusun dari laporan ini adalah Shafa Amelia Rahma Putri yang lahir di Tuban pada tanggal 23 Januari 2001. Penyusun menempuh pendidikan dasar di SD Muhammadiyah 3 Denpasar dan SDN Prunggahan 1. Selanjutnya penyusun menempuh pendidikan menengah pertama dan menengah atas di SMPN 1 TUBAN dan SMAN 1 TUBAN. Penyusun kemudian melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Sistem dan Industri ITS pada tahun 2016.

Selama menjalani perkuliahan, penyusun mendapatkan banyak pelajaran berharga tidak hanya dari hal akademik namun juga pada hal non akademik seperti dengan menjadi panitia kegiatan, pemandu LKMM, dan menjadi bagian dari Lembaga Dakwah Departemen Teknik Sistem dan Industri. Di akhir tahun perkuliahan penyusun juga aktif bergabung dalam Kementerian Sosial Masyarakat BEM ITS.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Unit *Outbond Inventory* pada bulan Juli-Agustus 2018. Saat menjalani kerja praktek, penulis melakukan studi kasus terkait upaya reduksi waktu antrian dan waktu proses pemuatan semen zak dengan penguranga *non value added activities* dan evaluasi jumlah *packer machine*. Di akhir tahun perkuliahan, penyusun juga bergabung sebagai *business development intern* di PT. Ojek Syari Indonesia atau yang lebih dikenal sebagai SyariHub.