



TUGAS AKHIR – TI 141501

**ANALISIS AVAILABILITAS DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN INVENTORI *SPARE PART* DAN
PENYANGGA MENGGUNAKAN PENDEKATAN SIMULASI
(STUDI KASUS: PT PETROWIDADA)**

NABILA YURAI SYAH SALSABILA
NRP 024 1144 0000048

Dosen Pembimbing
Nurhadi Siswanto, ST, MSIE., Ph.D
NIP. 197005231996011001

DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



FINAL PROJECT – TI 141501

**AVAILABILITY ANALYSIS BY CONSIDERING *SPARE PART*
AND BUFFER INVENTORY USING DISCRETE EVENT
SIMULATION
(CASE STUDY: PT PETROWIDADA)**

NABILA YURAI SYAH SALSABILA
NRP 02411440000048

Supervisor
Nurhadi Siswanto, ST, MSIE., Ph.D
NIP. 197005231996011001

DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS AVAILABILITAS DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN INVENTORI *SPARE PART* DAN
PENYANGGA MENGGUNAKAN PENDEKATAN SIMULASI
(STUDI KASUS: PT PETROWIDADA)**

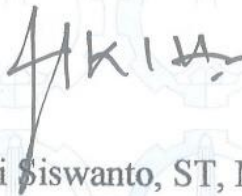
TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi S-1 Departemen Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

NABILA YURAI SYAH SALSABILA
NRP: 024 1144 0000048

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:



Nurhadi Siswanto, ST, MSIE., Ph.D

NIP. 197005231996011001



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS AVAILABILITAS DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN INVENTORI *SPARE PART* DAN
PENYANGGA MENGGUNAKAN PENDEKATAN SIMULASI
(STUDI KASUS: PT PETROWIDADA)**

Nama : Nabila Yuraisyah Salsabila
NRP : 0241144000048
Pembimbing : Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D

ABSTRAK

PT Petrowidada merupakan satu-satunya perusahaan yang memproduksi Pythalic Anhydride di Indonesia. Konsumen PT Petrowidada mencakup 45 konsumen yang terdiri atas perusahaan cat dan plastik domestik maupun manca negara. Kapasitas produksi PT Petrowidada pada saat ini adalah 70000 MTPY atau kurang lebih sebanyak 240 Ton per hari. Pada saat ini, kapasitas produksi pada Pabrik PA PT Petrowidada berkurang, hal ini disebabkan karena availabilitas produksi yang menurun. Availabilitas produksi ini dipengaruhi oleh availabilitas *spare part* pada PT Petrowidada. Availabilitas juga dapat mempengaruhi *calendar day*. *Calendar day* adalah salah satu parameter utama dalam proses produksi karena dapat mempengaruhi *customer service level* perusahaan. Untuk melakukan efisiensi *calendar day*, dapat dilakukan dengan mengadakan inventori penyangga pada awal periode produksi. Inventori penyangga dapat mengatasi permasalahan *starving* dan *blocking* pada saat terjadi *down time*. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan analisis availabilitas dengan mempertimbangkan inventori *spare part* dan inventori penyangga. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi sistem diskrit karena simulasi sistem diskrit dapat mengakomodasi perilaku acak dan ketergantungan antar variabel. Berdasarkan hasil simulasi, dapat ditunjukkan bahwa perbaikan kebijakan inventori *spare part* dan penambahan inventori penyangga dapat meningkatkan availabilitas dan *calendar day*. Pada kondisi eksisting, availabilitas produksi 88,43% dan *calendar day* 6716,7 jam atau 23 hari pada setiap bulan. Kedua parameter ini masih kurang dari target. Untuk mengatasi permasalahan ini, dilakukan eksperimentasi dengan skenario inventori penyangga dengan kapasitas penuh pada awal periode serta kebijakan inventori pada tiga *spare part*. Skenario ini menghasilkan peningkatan availabilitas menjadi 90% dan *calendar day* 6483,9 jam atau 22,5 hari pada setiap bulannya.

Kata kunci: availabilitas, *calendar day*, inventori *spare part*, inventori penyangga, simulasi kejadian diskrit

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**AVAILABILITY ANALYSIS BY CONSIDERING *SPARE PART*
AND BUFFER INVENTORY USING DISCRETE EVENT
SIMULATION
(CASE STUDY: PT PETROWIDADA)**

Name : Nabila Yuraisyah Salsabila
NRP : 024 1144 0000048
Supervisor : Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D

ABSTRACT

PT Petrowidada is the only company producing Pythalic Anhydride in Indonesia. The customers of PT Petrowidada include 45 companies consisting of domestic and foreign paints and plastics companies. PT Petrowidada's current production is 70.000 MTPY or approximately 240 Ton per day. At present, the production capacity of PT Petrowidada PA factory is decreased due to decreased production availability. Availability of this production is influenced by the availability of spare parts at PT Petrowidada. Availability can also affect calendar days. The calendar days is one of the main parameters in the production process as it may affect the level of customer service of the company. To perform efficiency of the calendar day, it can be done by creating the buffer inventory at the beginning of the production period. Buffer inventory can overcome starvation and blocking problems in the event of down time. Based on these cases, in this research will be analyzed the availability by considering inventory spare part and inventory buffer. The method used in this research is discrete event simulation because this method is able to accommodate the system complexity. Based on the simulation results, the availability and calendar day can be optimized by improving the spare part inventory policy and creating the buffer inventory in the initial period. Under existing conditions, the production availability is 88.43% and the calendar day is 6716.7 hours or 23 days per month. Both of these parameters are still less than the target. To overcome this problem, experiment is done by adding full-capacity of buffer inventory in the initial period and inventory policy improvement of three spare parts. This scenario results increase in availability to 90% and decrease in calendar day of 6483.9 hours or 22.5 days per month.

Keywords: availability, calendar day, spare part inventory, buffer inventory, discrete event simulation.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya, penulisan tugas akhir yang dilakukan oleh penulis dengan judul “Analisis Availabilitas dan *Calendar Day* dengan Mempertimbangkan Inventori *Spare part* dan Penyangga Menggunakan Pendekatan Simulasi (Studi Kasus: PT Petrowidada)” dapat diselesaikan tepat pada waktunya dan berjalan dengan lancar. Penelitian ini dilakukan untuk memenuhi persyaratan kelulusan program studi S1 dan untuk mendapatkan Gelar Sarjana Departemen Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama pelaksanaan dan penulisan laporan tugas akhir ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan, pengarahan, dan dukungan dari pihak-pihak terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin mengungkapkan rasa terima atas segala hal yang telah diberikan dalam rangka terselesainya penelitian tugas akhir ini, kepada:

1. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D, selaku Kepala Departemen Teknik Industri ITS sekaligus dosen pembimbing, yang telah membimbing dengan penuh kesabaran, dukungan, bantuan, serta nasihat selama penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Jaka Lelana sebagai pimpinan PT Petrowidada, Bapak Abdul Haris sebagai pembimbing dari PT Petrowidada, Bapak Farid Sumawan sebagai Kepala Departemen *Maintenance* PT Petrowidada, Bapak Romadhon sebagai Kepala Departemen *Marketing* PT Petrowidada, Bapak Mas’ud sebagai Kepala Departemen Gudang *Spare Part* PT Petrowidada, dan Bapak Nur Lauve sebagai Kepala Departemen Produksi PT Petrowidada yang telah membantu penulis dalam mengidentifikasi studi kasus, memberikan izin, dan menyediakan data yang dibutuhkan dalam penyelesaian penelitian.
3. Bapak Yudha Andrian Saputra, S.T., MBA., Bapak Prof. Dr. Ir. Budisantoso Wirjodirdjo, M. Eng., dan Bapak Dody Hartanto, S.T.,

M.T. sebagai dosen penguji seminar proposal dan sidang tugas akhir yang telah memberikan saran dan masukan untuk penelitian ini.

4. Bapak H. Ir. Hari Supriyanto, MSIE., sebagai dosen wali akademik penulis atas bimbingan, dukungan, dan nasihat selama masa perkuliahan.
5. Kedua orang tua penulis, Ibu Rachmawati dan Bapak Wahyu Dewanto, serta saudara kandung penulis, Sarah Ahya Kahirunnisa dan Javier Firaz Darwisy, yang telah memberikan dukungan, motivasi, serta segala do'a demi kelancaran proses kuliah penulis.
6. Mahasiswa teknik industri angkatan 2014 dan asisten laboratorium QMIPA yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan motivasi bagi penulis selama masa perkuliahan.

Penulis berharap agar laporan penelitian tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dalam mengembangkan pengetahuan akademik maupun praktisi. Penulis juga menyadari bahwa penelitian ini membutuhkan perkembangan yang lebih jauh. Oleh karena itu, saran dan kritik membangun akan sangat dihargai oleh penulis.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	9
1.3 Tujuan	10
1.4 Manfaat	10
1.5 Batasan Penelitian	10
1.6 Asumsi Penelitian	11
1.7 Sistematika Penulisan	11
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	13
2.1 Simulasi.....	13
2.1.1 Simulasi Kejadian Diskrit	13
2.1.2 Pengolahan Data Input	14
2.1.3 Verifikasi Model	15
2.1.4 Validasi Model	15
2.1.5 Analisis Output.....	15
2.1.6 Kelebihan dan Kekurangan Simulasi	17
2.2 Sistem.....	18
2.2.1 Elemen Sistem.....	18
2.2.2 Variabel Sistem	19
2.2.3 Kompleksitas Sistem.....	20
2.3 Keandalan.....	21
2.3.1 Definisi Keandalan	21
2.3.2 Evaluasi Keandalan Sistem	21

2.4	Availabilitas.....	26
2.5	<i>Calendar Day</i>	27
2.6	Preventive Maintenance	27
2.7	Analisis <i>Realiability, Availability and Maintenance</i> (RAM)	28
2.7.1	Metode Pendekatan Analitis	29
2.7.2	Metode Pendekatan Simulasi.....	29
2.7.3	Metodologi dalam Simulasi RAM.....	30
2.8	<i>Buffer Inventory Level</i>	32
2.9	Manajemen Inventori <i>Spare part</i>	33
2.9.1	Kebijakan Periodik (R,S)	34
2.9.2	Kebijakan Periodik (R,s,S).....	34
2.9.3	Kebijakan Periodik (R,s,Q).....	34
2.9.4	Kebijakan Kontinyu (s,S).....	34
2.9.5	Kebijakan Kontinyus (s,Q)	34
2.10	Daftar Penelitian Terdahulu	34
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		39
3.1	Studi Sistem dan Analisis Permasalahan.....	40
3.1.1	Elemen sistem.....	40
3.1.2	Variabel Sistem.....	42
3.1.3	<i>Key Performance Indicator</i>	42
3.2	Pengumpulan Data.....	43
3.3	Pengolahan Data	44
3.4	Pembuatan Ide Skenario	45
3.5	Pembuatan Model Konseptual.....	46
3.6	Validasi Model Konseptual	46
3.7	Model Simulasi.....	46
3.8	Perhitungan Jumlah Replikasi	46
3.9	Verifikasi dan Validasi Model Simulasi.....	47
3.10	Eksperimen	48
3.11	Analisis Output.....	48
3.12	Kesimpulan dan Saran	48
BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....		49

4.1	Deskripsi Perusahaan	49
4.2	Pengumpulan Data	50
4.2.1	Data Struktural	50
4.2.2	Data Operasional	51
4.2.3	Data Numerik	51
4.3	Pengolahan Data.....	51
4.3.1	<i>Fitting Distribusi Waktu Antar Kegagalan dan Perbaikan</i>	51
4.3.2	Seleksi <i>Spare part</i>	52
4.3.3	Probabilitas Kebutuhan <i>Spare part</i>	52
4.3.4	Data Waktu Proses Pengiriman <i>Spare part</i>	52
BAB 5 PERANCANGAN MODEL SIMULASI		55
5.1	Verifikasi.....	55
5.1.1	Verifikasi <i>Syntax Error</i>	55
5.1.2	Verifikasi <i>Semantic Error</i>	55
5.2	Penentuan Jumlah Replikasi	56
5.3	Validasi	57
BAB 6 EKSPERIMENTASI DAN HASIL		59
6.1	Kondisi Eksisting	59
6.2	Analisis.....	59
6.2.1	Analisis Kondisi Eksisting	59
6.2.2	Analisis Skenario Perubahan Kebijakan Inventori <i>Spare part</i>	61
6.2.3	Analisis Penentuan <i>Stock Awal</i> pada Inventori Penyangga.....	62
6.2.4	Analisis Skenario Terpilih.....	63
6.3	Analisis Sensitivitas	64
6.3.1	Analisis Sensitivitas Durasi Pemesanan dan Pengiriman <i>Spare Part</i>	64
6.3.2	Analisis Sensitivitas <i>Stock Awal Spare Part</i>	64
BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN		65
7.1	Kesimpulan	65
7.2	Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA		68
BIOGRAFI PENULIS		71

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daftar Penelitian Terdahulu	35
Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Ini	36
Tabel 3.1 Daftar Unit dan <i>Resources</i> di Sistem Produksi	41
Tabel 3.2 Variabel Sistem Simulasi	42
Tabel 3.3 Data Penelitian	44
Tabel 5.1 Hasil Parameter <i>Calendar day</i> / Tahun (Jam).....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Nilai Ekspor Industri Pengolahan Bulan Januari 2017 (dalam Juta US\$) (Kementerian Perindustrian Indonesia, 2017)	1
Gambar 1.2 Nilai Impor Industri Pengolahan Bulan Januari 2017 (dalam Juta US\$) (Kementerian Perindustrian Indonesia, 2017)	2
Gambar 1.3 Target dan Realisasi Produksi (Ton) (PT Petrowidada Gresik, 2018) 3	
Gambar 1.4 <i>Calendar Day</i> pada Kondisi Eksisting (PT Petrowidada Gresik, 2018)	5
Gambar 1.5 Grafik Frekuensi Shutdown PT Petrowidada (PT Petrowidada Gresik, 2018)	6
Gambar 1.6 Persentase Penyebab Terjadinya <i>Shutdown</i> Mesin Produksi (PT Petrowidada Gresik, 2018)	7
Gambar 2.1 <i>Reliability Block Diagram</i> (Elsayed, 2012).....	22
Gambar 2.2 <i>Reliability Graph</i> (Elsayed, 2012).....	22
Gambar 2.3 <i>Reliability Block Diagram</i> Sistem Paralel (Elsayed, 2012).....	24
Gambar 2.4 <i>Reliability Graph</i> Sistem Paralel (Elsayed, 2012).....	24
Gambar 2.5 Blok Diagram Sistem Campuran (Elsayed, 2012).....	25
Gambar 2.6 Perbandingan CM dan PM (Alrabghi, et al., 2013).....	28
Gambar 2.7 Metodologi Simulasi RAM (Faulin, et al., 2010).....	31
Gambar 2.8 Contoh <i>Buffer Inventory Level</i> di Antara Dua Tahap Produksi (Macchi, et al., 2012)	32
Gambar 2.9 Membandingkan TTR pada mesin gagal dengan waktu isolasi (IT) terhadap <i>material starvation</i> atau <i>blocking</i> (Macchi, et al., 2012).....	32
Gambar 2.10 Posisi Inventori Berdasarkan Jenis Kebijakan Inventori (Hosseini, et al., 2017)	33
Gambar 3.1 Metodologi Penelitian.....	39
Gambar 3.2 Metodologi Penelitian (Lanjutan).....	40
Gambar 4.1 Proses Produksi PA	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.2 Kombinasi Kerusakan 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.3 Kombinasi Kerusakan 2.....	Error! Bookmark not defined.

Gambar 4.4 Kombinasi Kerusakan 3**Error! Bookmark not defined.**
Gambar 4.5 Kombinasi Kerusakan 4**Error! Bookmark not defined.**
Gambar 4.6 Kombinasi Kerusakan 5**Error! Bookmark not defined.**
Gambar 4.7 Hasil *Fitting* Distribusi Menggunakan *Input Analyzer* **Error!**
Bookmark not defined.
Gambar 4.8 Pareto Diagram Unit Oksidasi (Hasil Pengolahan Data, 2018) . **Error!**
Bookmark not defined.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

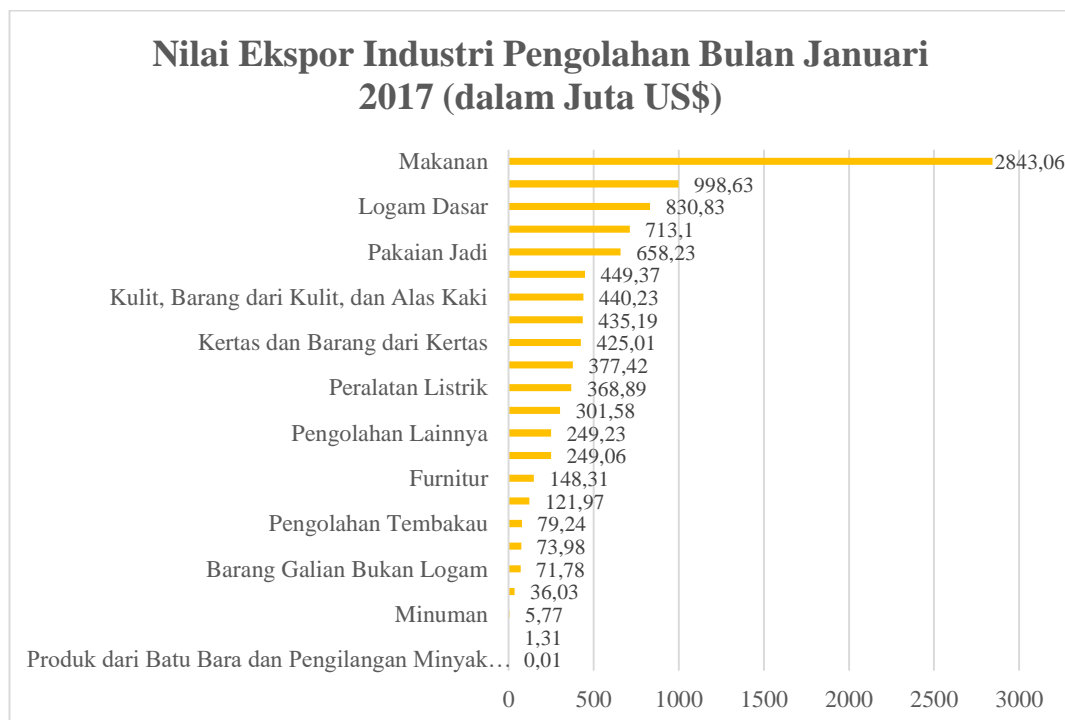
BAB 1

PENDAHULUAN

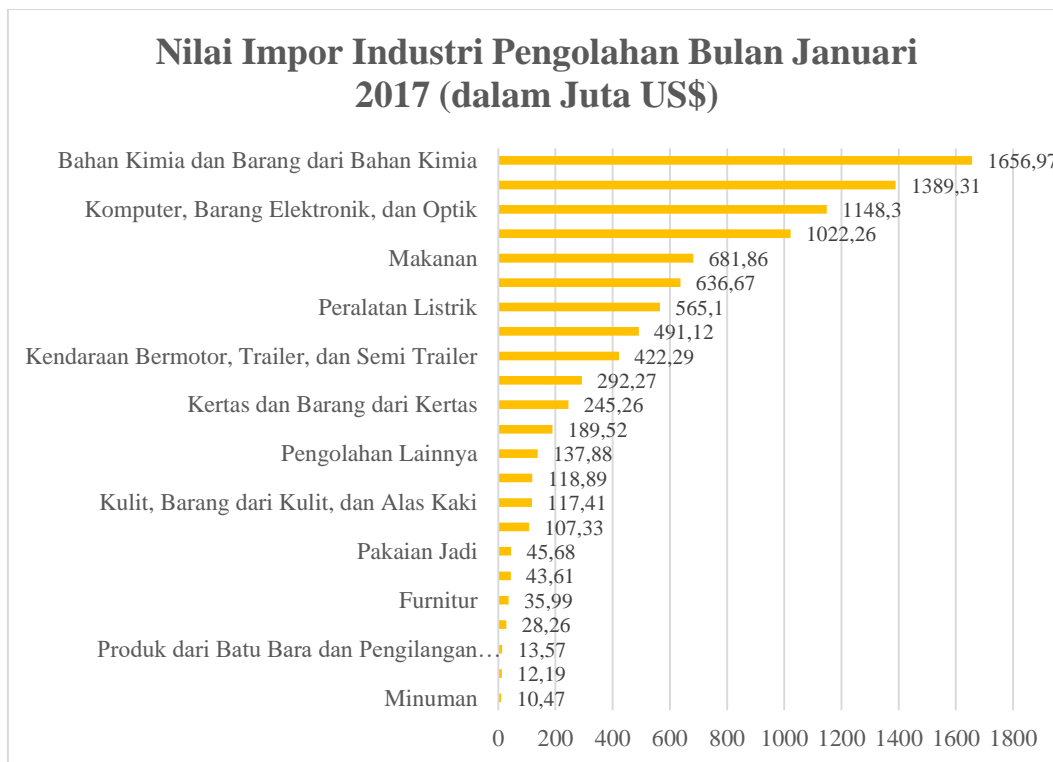
Pada Bab 1 akan dijelaskan mengenai latar belakang masalah, serta rumusan permasalahan, tujuan dan manfaat serta batasan dan asumsi penelitian ini.

1.1 Latar Belakang

Sesuai dengan Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN), terdapat 10 industri prioritas yang dikelompokkan ke dalam industri andalan, pendukung, dan industri hulu. Salah satu industri yang diprioritaskan berdasarkan RIPIN adalah industri bahan modal, komponen, dan penolong yang termasuk dalam kategori industri pendukung (Kementerian Perindustrian Indonesia, 2015). Plastik dan bahan pewarna termasuk dalam kategori industri tersebut. Gambar 1.1 dan Gambar 1.2 menunjukkan tingkat ekspor dan impor di Indonesia berdasarkan jenis industri.



Gambar 1.1 Nilai Ekspor Industri Pengolahan Bulan Januari 2017 (dalam Juta US\$) (Kementerian Perindustrian Indonesia, 2017)



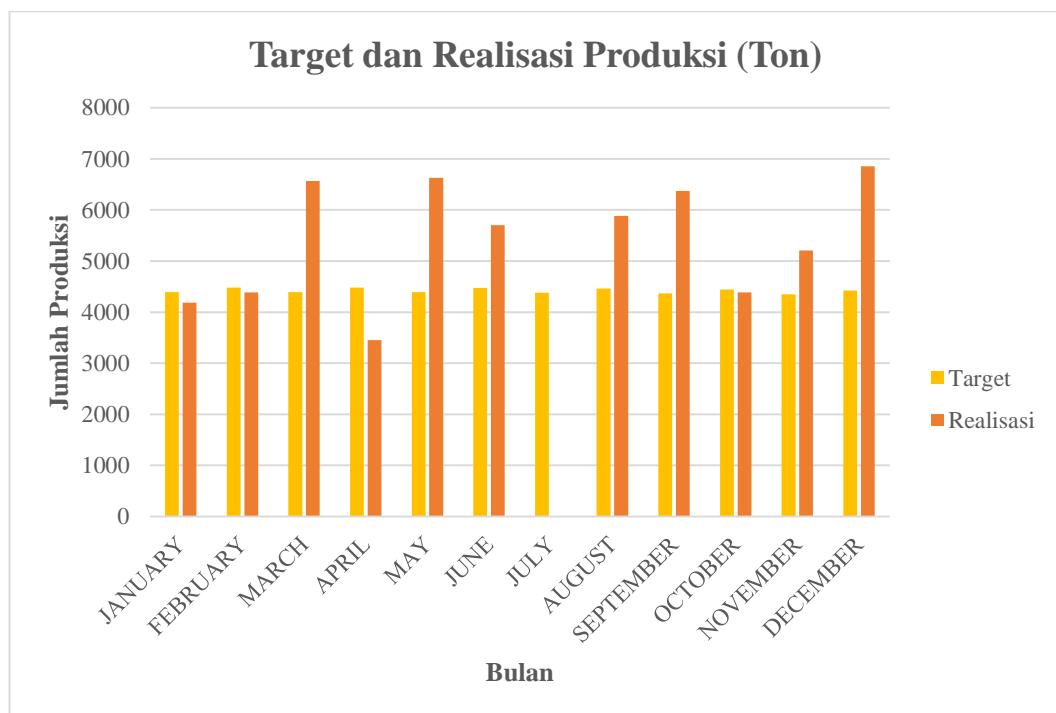
Gambar 1.2 Nilai Impor Industri Pengolahan Bulan Januari 2017 (dalam Juta US\$) (Kementerian Perindustrian Indonesia, 2017)

Berdasarkan Gambar 1.1, dapat diketahui bahwa karet, bahan dari karet, dan plastik berada di peringkat ke-empat ekspor tertinggi. Nilai ekspor ini juga disertai dengan bahan kimia, dan barang dari bahan kimia yang merupakan bahan dasar dari bahan plastik yang memiliki peringkat ke-dua di Indonesia. Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui bahwa industri bahan kimia dan plastik tidak hanya diprioritaskan oleh pemerintah, tetapi juga merupakan industri yang memiliki potensi yang sangat tinggi bagi perekonomian di Indonesia. Namun, berdasarkan Gambar 1.2, dapat diketahui bahwa nilai impor bahan kimia memiliki peringkat pertama di Indonesia. Sehingga, berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa kebutuhan bahan kimia di Indonesia masih belum bisa dipenuhi sepenuhnya oleh produsen domestik.

PT Petrowidada (PT. PWD) adalah anak perusahaan PT Royal Chemie Indonesia. PT Petrowidada bergerak di bidang industri kimia dan merupakan satu-satunya penghasil Pythalic Anhydride atau disebut PA di Indonesia. PA merupakan

bahan baku dari industri plastik dan bahan baku pembuat cat. Bahan baku dari pembuatan Pythalic Anhydride terdiri atas Ortho xylene (OX) dan oksigen (O₂) yang diambil dari udara bebas. Reaksi oksidasi dari Ortho xylene dan oksigen menghasilkan Pythalic Anhydride. PT Petrowidada berdiri sejak tahun 1988 dan dikomersialkan pada tahun 1989 dimana pada saat ini mempunyai kapasitas produksi sebesar 70.000 *Metric Ton Per Year* (MTPY). MTPY adalah satuan untuk massa.

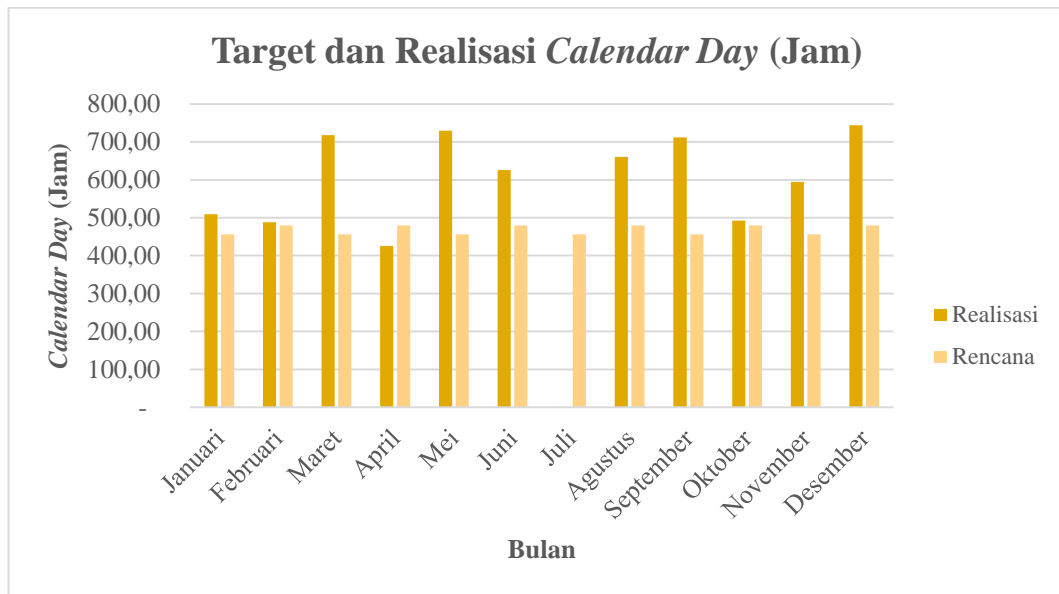
Produk PA yang diproduksi PT Petrowidada terdiri atas tiga jenis bentuk dan kemasan, yaitu PA Cair yang hanya dapat dikirim melalui pipa ke perusahaan konsumen yang berlokasi di sekitar PT Petrowidada. Sedangkan dalam bentuk padat terdiri atas dua jenis kemasan, yaitu kemasan 25 kg dan kemasan jumbo (≥ 500 kg). Konsumen dari PT Petrowidada terdiri atas perusahaan manufaktur yang memproduksi plastik maupun cat. Total konsumen tetap PT Petrowidada sebanyak 15 perusahaan, sedangkan terdapat sekitar 30 perusahaan lainnya yang tidak tetap. Gambar 1.3 menampilkan grafik target dan realisasi produksi PA pada tahun 2017 di PT Petrowidada.



Gambar 1.3 Target dan Realisasi Produksi (Ton) (PT Petrowidada Gresik, 2018)

Berdasarkan Gambar 1.3, dapat diketahui bahwa terjadi perbedaan ketercapaian produksi pada setiap bulannya. Rata-rata realisasi produksi pada tahun 2017 adalah sejumlah 4.967,61 Ton setiap bulan. Sedangkan rata-rata target produksi pada tahun 2017 adalah 4.419 Ton setiap bulan. Perbedaan pencapaian produksi ini disebabkan karena adanya perbedaan *yield* katalisator yang direncanakan oleh *process engineer*. Semakin tinggi *yield* yang digunakan, maka output produksi juga akan semakin meningkat. Dengan *yield* normal, kapasitas produksi dapat mencapai 240 Ton per hari. Apabila rata-rata produksi setiap bulannya 4.967,61 Ton, maka dalam satu bulan hanya membutuhkan 20,69 hari. Selain *yield*, faktor lain yang menyebabkan perbedaan realisasi produksi adalah availabilitas produksi. Pada bulan Juli terjadi *shutdown* pabrik, sehingga pabrik tidak bisa berjalan selama satu bulan dan target produksi tidak tercapai.

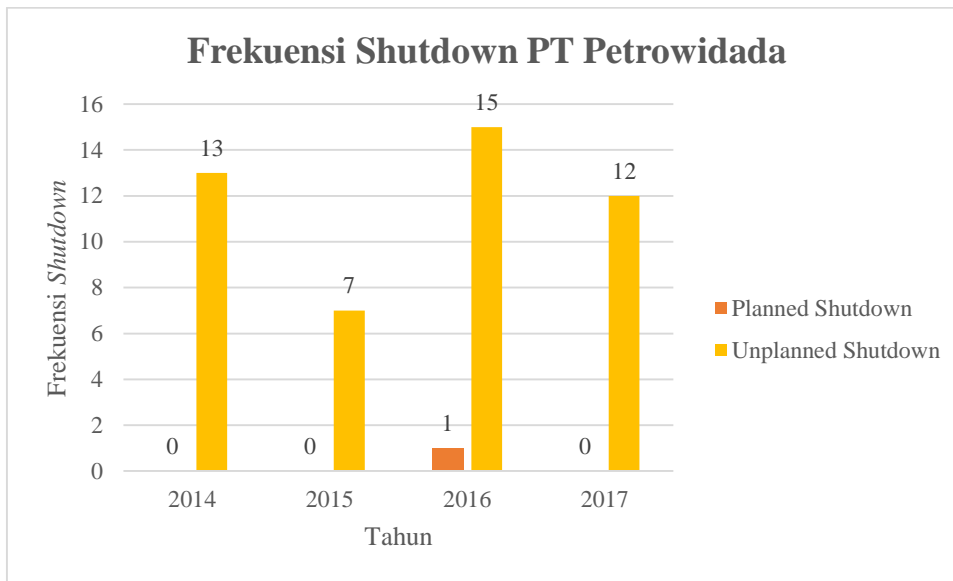
Salah satu indikator ketercapaian produksi dapat diukur dengan menggunakan *calendar day* dan *stream day*. *Calendar day* adalah waktu yang dibutuhkan sebuah fasilitas industri proses untuk memenuhi *demand* produksi yang meliputi berbagai batasan yang dapat menunda, mengganggu, atau memperlambat produksi seperti *down time* produksi dan penurunan laju produksi (U.S. Department of Energy, 2014). Sedangkan *stream day* adalah waktu yang dibutuhkan sebuah fasilitas industri proses dalam kapasitas normal, namun tidak mempertimbangkan batasan-batasan yang menunda. Sebagai contoh, dalam suatu proses produksi dibutuhkan waktu bersih selama 20 jam dan terjadi *shut down* selama 5 jam. Maka waktu *stream day* produksi adalah selama 20 jam, sedangkan waktu *calendar day* adalah selama 25 jam. Gambar 1.4 menampilkan grafik yang menunjukkan *calendar day* pada kondisi eksisting di PT Petrowidada.



Gambar 1.4 *Calendar Day* pada Kondisi Eksisting (PT Petrowidada Gresik, 2018)

Total *calendar day* selama satu tahun adalah 6699,80 yang berarti rata-rata *calendar day* pada setiap bulannya adalah 23 hari. Sedangkan target *calendar day* yang diharapkan adalah selama 20,69 hari pada setiap bulannya. Target ini ditentukan berdasarkan kapasitas normal produksi. Menurut perusahaan, *calendar day* yang efisien dapat menurunkan biaya operasional. Selain itu, perusahaan perlu melakukan antisipasi target produksi agar produk dapat sampai tepat waktu kepada konsumen. Ketepatan waktu ini dipengaruhi oleh faktor-faktor yang tidak pasti, seperti terjadinya *disruption* pada saat proses pengiriman melalui jalur laut maupun darat. Proses pengiriman ini juga mempertimbangkan lokasi konsumen yang berada di luar Jawa maupun di luar negeri. *Calendar day* ini merupakan kriteria performansi yang diutamakan perusahaan karena merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap *customer service level*.

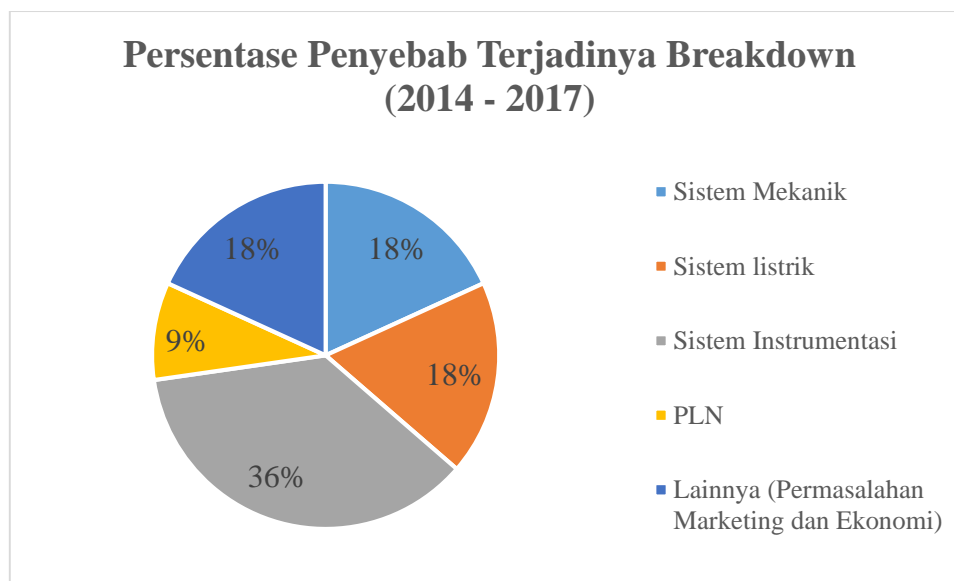
Gambar 1.5 berikut ini menampilkan grafik frekuensi *shutdown* di PT Petrowidada selama empat tahun terakhir.



Gambar 1.5 Grafik Frekuensi Shutdown PT Petrowidada (PT Petrowidada Gresik, 2018)

Berdasarkan Gambar 1.5, dapat diketahui bahwa *unplanned shutdown* selalu terjadi pada setiap tahun. *Unplanned shutdown* ini terjadi dengan *mean time to failure* (MTTF) sebesar 31,1 hari dan *mean time to repair* (MTTR) sebesar 23 jam. Menurut Romadhon selaku manajer divisi gudang bahan baku, terjadinya *shutdown* pabrik disebabkan karena dua faktor, yaitu terjadinya *stock out* bahan baku dan *breakdown* mesin produksi. Sebanyak 60% penyebab *shutdown* adalah *stock out* bahan baku dan 40% sisanya karena adanya *breakdown* mesin (PT Petrowidada Gresik, 2018). *Stock out* bahan baku disebabkan karena tidak tersedianya atau terjadinya keterlambatan pengiriman bahan baku. Bahan baku Ortho xylene (OX) hanya tersedia di beberapa negara, seperti Thailand, India, dan Singapura. Oleh karena itu, untuk memenuhi bahan baku, PT Petrowidada harus mengimpor Ortho xylene (OX) yang membutuhkan waktu 14 hingga 20 hari menggunakan alat transportasi kapal. Keterlambatan pengiriman bahan baku dapat disebabkan karena ketidakpastian cuaca dan adanya *demurage* di pelabuhan. *Jetty* atau dermaga yang digunakan untuk berlabuh adalah dermaga PT Petrokimia Gresik yang digunakan oleh PT Petrokimia Gresik dan beberapa anak perusahaannya, sehingga proses antrian dapat berlangsung sangat lama. Faktor lainnya yang dapat mempengaruhi terjadinya *shutdown* produksi adalah terjadinya

breakdown mesin produksi di PT Petrowidada. *Unplanned breakdown* yang terjadi di PT Petrowidada dapat disebabkan karena adanya kerusakan di sistem listrik, sistem mekanik, sistem instrumentasi, sistem operasional, dan permasalahan pasokan listrik dari PLN. Gambar 1.6 menunjukkan persentase penyebab terjadinya *breakdown* pada tahun 2014 hingga tahun 2017.



Gambar 1.6 Persentase Penyebab Terjadinya *Shutdown* Mesin Produksi (PT Petrowidada Gresik, 2018)

Berdasarkan kedua faktor tersebut, faktor keterlambatan bahan baku Ortho xylene (OX) merupakan faktor eksternal yang tidak dapat dikontrol oleh perusahaan. Solusi yang dapat ditawarkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan membangun *jetty* PT Petrowidada, namun solusi tersebut akan membutuhkan investasi yang cukup tinggi. Sedangkan faktor terjadinya *breakdown* dapat dikendalikan dengan melakukan evaluasi *reliability*, *availability*, dan *maintainability* untuk meningkatkan availabilitas dan efisiensi *calendar day*. Adanya evaluasi dan perbaikan menggunakan analisis *reliability*, *availability*, dan *maintainability* dapat menghasilkan peningkatan *throughput*, peningkatan availabilitas aset, serta penghematan biaya (Alrabghi, et al., 2017). Adanya perbaikan availabilitas sebuah sistem selalu berdampak terhadap biaya, sehingga

apabila biaya yang dikeluarkan lebih rendah dari sebelumnya, maka perbaikan availabilitas sistem akan menambah keuntungan pada perusahaan tersebut.

Analisis *reliability, availability, dan maintainability* (RAM) adalah sebuah *tool* untuk mengevaluasi kinerja sebuah alat pada tahap berbeda dalam proses perencanaan (Corvaro, et al., 2017). Analisis RAM dapat mengatasi permasalahan operasional dan keamanan dengan tujuan untuk mengidentifikasi elemen sistem dimana tindakan perbaikan dapat dilakukan. Adapun beberapa *key performance metrics* yang dapat dihasilkan dari analisis RAM ini, yaitu availabilitas, MTTF, dan MTTR (Faulin, et al., 2010). *Mean time to failure* adalah waktu rata-rata antar kejadian kerusakan pada suatu sistem (Groover, 2002). Sedangkan *mean time to repair* adalah waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk memperbaiki sebuah sistem yang mengalami *breakdown* atau kerusakan (Groover, 2002). Availabilitas adalah probabilitas sebuah sistem beroperasi sesuai fungsinya ketika ingin digunakan. (Groover, 2002). Dalam penelitian ini, analisis RAM yang dilakukan hanya mencakup analisis availabilitas saja.

Availabilitas sistem dapat diperbaiki dengan pembelian dan pemasangan alat baru, atau melakukan perawatan pada peralatan yang masih memiliki kondisi yang baik (Sabouhi, et al., 2016). Selain kedua kebijakan tersebut, perbaikan availabilitas sistem juga dapat dilakukan dengan menerapkan kebijakan pengendalian inventori untuk *spare part* (Sharda & Bury, 2008). Dalam penelitian ini, penulis akan lebih fokus terhadap pengendalian inventori *spare part*. Hal ini disebabkan karena pengendalian inventori *spare part* adalah salah satu solusi praktis untuk menghasilkan MTTR yang lebih rendah. Pada sistem eksisting, PT Petrowidada menerapkan kebijakan inventori kontinyu (s, S). Pada kebijakan ini, dilakukan *review* kontinyu untuk mengevaluasi posisi inventori maksimum sebesar S . Pemesanan akan dilakukan apabila posisi inventori kurang dari atau sama dengan s . Penentuan S , dan s yang tidak optimal akan menghasilkan *stock out spare part* dan *overcapacity* pada gudang. Selain penentuan kebijakan inventori *spare part*, penulis juga akan menentukan kapasitas inventori penyangga yang optimal untuk mengatasi terjadinya *breakdown* pada sistem seri yang memiliki availabilitas yang rendah. Pada sistem eksisting PT Petrowidada telah menyediakan inventori penyangga atau *buffer* pada beberapa unit. Namun, tingkat inventori *buffer* yang

tidak optimal dapat menghasilkan *material starvation* dan *blocking* pada waktu terjadinya kegagalan mesin.

Permasalahan availabilitas dalam sistem produksi adalah sebuah sistem yang kompleks, yaitu sistem yang memiliki sifat ketidakpastian pada salah satu atau beberapa variabelnya dan memiliki sifat interdependensi antar variabel (Harrel, et al., 2004). Menurut Alrabghi dkk, kompleksitas pada sistem produksi disebabkan karena adanya ketidakpastian pada MTTF dan MTTR, jadwal produksi, kebijakan inventori *spare part*, serta kondisi operasi. Selain itu peningkatan jumlah aset dan strategi *maintenance* dapat meningkatkan performansi sistem secara keseluruhan, sehingga terdapat sifat interdependensi dalam permasalahan ini (Alrabghi, et al., 2017). Menurut Faulin, dkk., terdapat dua metode untuk melakukan analisis RAM, yaitu dengan pendekatan analitis dan pendekatan simulasi. Pendekatan analitis dilakukan dengan merepresentasikan sistem dengan model matematis (Faulin, et al., 2010). Metode ini menggunakan input parameter rata-rata, sehingga jika pendekatan analitis diterapkan pada sistem yang memiliki perilaku acak, maka informasi yang dihasilkan akan menghasilkan banyak asumsi dan tidak dapat diterapkan pada sistem aktual. Sedangkan metode simulasi adalah metode yang dapat mengakomodasi perilaku acak dan ketergantungan antar variabel (Faulin, et al., 2010). Metode ini akan menghasilkan sedikit asumsi sehingga akan lebih layak untuk diterapkan di sistem aktual. Oleh karena itu, metode yang sesuai untuk mengatasi kedua faktor kompleksitas sistem tersebut adalah dengan pendekatan simulasi, khususnya simulasi kejadian diskrit (*discrete event simulation/ DES*). Simulasi kejadian diskrit adalah metode pemodelan sistem yang berkembang seiring waktu dengan representasi variabel status yang berubah secara instan pada titik waktu yang terpisah (Kelton, et al., 2002). Dengan menggunakan metode DES, pengambil keputusan dapat memodelkan dan menghitung kinerja sebuah sistem berdasarkan beberapa alternatif (Rao & Naikan, 2016).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan pada subbab 1.1, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan kebijakan inventori *spare part* dan kapasitas inventori penyangga

untuk mengoptimalkan *calendar day* dan availabilitas produksi di PT Petrowidada dengan menggunakan analisis RAM dan pendekatan simulasi.

1.3 Tujuan

Berikut ini merupakan tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini.

1. Memprediksi availabilitas dan *calendar day* produksi pada PT Petrowidada pada kondisi eksisting dan kondisi perbaikan.
2. Mengidentifikasi elemen kritis yang memiliki availabilitas yang paling rendah dalam sistem produksi.
3. Mengidentifikasi kebijakan inventori *spare part* untuk mengoptimalkan availabilitas dan *calendar day* produksi.
4. Mengidentifikasi kapasitas inventori penyangga untuk mengoptimalkan availabilitas dan *calendar day* produksi.

1.4 Manfaat

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini antara lain:

1. Menjadi informasi tambahan bagi PT Petrowidada untuk mengetahui kondisi eksisting availabilitas dan *calendar day* produksi di PT Petrowidada.
2. Menjadi dasar perbaikan bagi PT Petrowidada untuk menentukan strategi dalam mengoptimalkan availabilitas dan *calendar day* produksi.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Objek yang diamati pada penelitian ini merupakan proses bisnis rantai produksi PT Petrowidada di daerah Gresik.
2. Sistem amatan pada penelitian ini merupakan proses produksi dan sistem keandalan dari kedatangan *raw material* hingga produk jadi.
3. Penelitian ini tidak mempertimbangkan biaya inventori dan biaya kerugian yang dihasilkan dari terjadinya *breakdown*.

4. Sistem yang dimodelkan tidak termasuk pengadaan material bahan baku.
5. Proses produk yang diamati hanya produk yang berwujud padat.
6. Sistem yang dimodelkan tidak termasuk kegiatan *planned shutdown* karena pemodelan simulasi hanya dilakukan selama satu tahun.
7. Pada penelitian ini tidak dilakukan skenario perubahan penambahan mesin karena tingginya biaya investasi.

1.6 Asumsi Penelitian

Asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak ada perubahan aturan operasional pada sistem produksi dan sistem keandalan selama rentang waktu penelitian.
2. Pada kebijakan inventori *spare part*, dilakukan *review* secara kontinyu untuk pemesanan *spare part*.
3. *Lead time* pengiriman *spare part* diasumsikan sama untuk seluruh jenis *spare part*.
4. Tenaga kerja untuk melakukan proses perbaikan diasumsikan selalu tersedia.
5. Biaya konsekuensi yang dihasilkan dari *stock out* jauh lebih besar dibandingkan dengan biaya inventori. Sehingga perlu dilakukan pencapaian target availabilitas *stock out*.

1.7 Sistematika Penulisan

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai sistematika penelitian yang digunakan pada penelitian ini.

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada Bab 1 akan dijelaskan mengenai latar belakang penelitian, rumusan permasalahan penelitian yang akan diselesaikan pada penelitian, tujuan penelitian yang akan dicapai, batasan dan asumsi yang digunakan pada penelitian ini, dan sistematika penelitian yang menjelaskan isi dari penelitian ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab 2 akan dijelaskan mengenai landasan teori yang digunakan pada penelitian ini. Teori ini akan digunakan oleh penulis sebagai dasar untuk menyelesaikan permasalahan yang ada di penelitian ini. Selain itu, teori ini juga akan digunakan untuk menjelaskan secara detail mengenai konsep yang digunakan di penelitian ini. Teori yang digunakan dalam melakukan tinjauan pustaka didapatkan dari buku, penelitian sebelumnya, *paper* dan jurnal penelitian.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab 3 ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah yang harus dilakukan pada penelitian ini, dari awal hingga akhir. Langkah-langkah tersebut akan dijelaskan secara komprehensif tentang prosedur penelitian.

BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada Bab 4 ini akan dijelaskan mengenai data yang dikumpulkan berdasarkan penelitian yang dilakukan. Data yang dikumpulkan dapat didapatkan dari data primer atau data sekunder. Seluruh data tersebut akan dijadikan input dalam penelitian, yang akan diproses menggunakan metode dan pendekatan penelitian untuk menghasilkan solusi dari permasalahan yang ada.

BAB 5 PERANCANGAN MODEL SIMULASI

Pada Bab 5 akan dibahas mengenai pembuatan model konseptual dan model simulasi menggunakan metode simulasi diskrit. Kemudian model tersebut akan divalidasi dan diverifikasi agar dapat merepresentasikan sistem nyata.

BAB 6 EKSPERIMEN DAN HASIL

Pada Bab 6 akan dibahas mengenai hasil eksperimen terhadap model simulasi yang telah dibuat sebelumnya. Eksperimen dilakukan berdasarkan skenario yang telah dibuat. Kemudian dilakukan analisis output untuk menentukan hasil skenario yang terbaik.

BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab 7 akan dijelaskan mengenai kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengolahan data, dan saran yang direkomendasikan untuk objek penelitian dan penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab 2 akan dijelaskan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai dasar teori dalam mengerjakan penelitian ini.

2.1 Simulasi

Pemodelan simulasi adalah salah satu metode untuk menganalisis suatu sistem yang kompleks dengan membuat representasi sebuah sistem penelitian (Altiok & Melamed, 2007). Melalui penelitian ini kemudian dapat dilakukan eksperimen berdasarkan tujuan. Tujuan tersebut diantaranya adalah untuk melakukan perbaikan sebuah sistem, analisis keuntungan dan biaya, melakukan analisis sensitivitas, dan lainnya. Eksperimen dilakukan dengan membuat sistem pada kondisi eksisting dan mengamati sistem tersebut. Di samping melakukan eksperimen pada sistem yang sudah ada, melalui pemodelan simulasi, pemodel dapat melakukan eksperimen pada sistem yang belum ada. Melalui pemodelan simulasi, dapat dilakukan prediksi, evaluasi, dan analisis alternatif tanpa diperlukannya biaya dan waktu tambahan untuk melakukan perubahan sistem.

2.1.1 Simulasi Kejadian Diskrit

Secara umum, simulasi diklasifikasikan sebagai berikut (Harrel, et al., 2004):

- Statis atau dinamis
- Stokhastik atau deterministic
- Diskrit atau kontinyu

Simulasi kejadian diskrit adalah simulasi dengan perubahan sebuah variabel status pada model simulasi yang terjadi pada titik diskrit dipicu dengan adanya perubahan kejadian (Harrel, et al., 2004). Status berubah pada sebuah model ketika terjadi perubahan kejadian. Contoh dari simulasi kejadian diskrit adalah perubahan jumlah *customer* pada sebuah restoran, perubahan ini secara diskrit akan mengubah variabel status. Sedangkan simulasi kejadian kontinu adalah simulasi dengan

adanya perubahan sebuah variabel status secara kontinu berdasarkan waktu (Harrel, et al., 2004). Contoh dari simulasi ini adalah pengisian minyak pada sebuah tangki.

2.1.2 Pengolahan Data Input

Sebelum dilakukan pemodelan simulasi, dilakukan analisis dan interpretasi statistik pada data numerik. Data harus dianalisis untuk memastikan kecocokan data untuk digunakan dalam model simulasi. Terdapat karakteristik data yang harus dipenuhi, yaitu independen (*randomness*), homogenitas, dan stasioner (Harrel, et al., 2004).

Data bersifat independen apabila nilai pada sebuah pengamatan tidak dipengaruhi oleh pengamatan lainnya (Harrel, et al., 2004). Adapun beberapa teknik untuk melakukan uji korelasi atau independensi. Diantaranya adalah *scatter plot*, *autocorrelation plot*, dan *run test*. *Scatter plot* dan *autocorrelation plot* adalah uji statistik parametrik yang memiliki sifat plot yang tergantung pada distribusi data yang ada. Sedangkan *runs test* adalah uji non parametrik dan tidak membuat asumsi terhadap distribusi data.

Uji homogenitas adalah uji untuk memastikan distribusi data bersifat identik (Harrel, et al., 2004). Salah satu cara untuk menguji homogenitas adalah dengan menginspeksi secara visual distribusi dari data untuk melihat apakah data tersebut memiliki dua modus. Dengan cara ini, maka dapat diketahui bahwa data berasal dari satu atau lebih populasi. Selain itu, data juga bersifat tidak homogen apabila distribusi berubah terhadap waktu. Dalam sifat ini, data juga dapat disebut dengan non stasioner.

Setelah dilakukan pengujian data, langkah selanjutnya adalah mengolah data numerik untuk dijadikan input dalam simulasi. Terdapat tiga cara dalam melakukan pengolahan data numerik. Cara pertama adalah dengan secara langsung menggunakan data yang terkumpul. Cara ini dilakukan dengan menggunakan histogram untuk mengetahui distribusi frekuensi. Kedua, yakni dengan menggunakan distribusi empiris yang mencirikan data numerik. Ketiga, dengan menggunakan distribusi teoritis yang paling sesuai dengan data.

2.1.3 Verifikasi Model

Verifikasi model adalah proses menentukan apakah model simulasi sudah merepresentasikan model konseptual (Harrel, et al., 2004). Tujuan dari dilakukannya verifikasi model adalah untuk memastikan bahwa model sudah dibangun dengan benar. Adapun beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melakukan verifikasi model:

- *Me-review* kode model
- Menguji *output*
- Melihat animasi untuk memastikan logika model
- Menggunakan fasilitas *trace* dan *debug* yang ada pada *software*

2.1.4 Validasi Model

Validasi adalah menentukan apakah model merupakan representasi akurat dari *real system* (Harrel, et al., 2004). Validasi model bertujuan untuk menilai apakah model sudah sesuai dengan data empiris atau model pada *real system*. Apabila model sudah sesuai dengan *real system*, maka ukuran performansi juga akan sesuai apabila diterapkan pada *real system*. Adapun beberapa teknik dalam melakukan validasi model adalah sebagai berikut:

- Melihat animasi
- Membandingkan dengan sistem aktual
- Membandingkan dengan model lainnya
- Melakukan uji degenerasi dan kondisi ekstrim
- Meminta bantuan pihak yang lebih memiliki pengetahuan untuk menguji validitas model
- Menguji terhadap data historis
- Melakukan analisis sensitivitas

2.1.5 Analisis Output

Karena adanya variabel *random input* yang digunakan untuk menjalankan model, *output* yang diukur pada simulasi juga akan menjadi *random*. Hal ini berarti hasil *performance metrics* berdasarkan *output* model hanya berupa estimasi dan

bukan ukuran yang pasti. Untuk mengatasi hal ini, maka diperlukan adanya beberapa kali replikasi dalam melakukan simulasi. Penentuan jumlah replikasi dilakukan dengan menentukan *confidence interval* pada jumlah tertentu untuk mengetahui absolut eror (e) di antara titik estimasi rata-rata (\bar{x}) dan *true mean* (μ) yang tidak diketahui. Untuk menentukan *confidence interval*, dilakukan perhitungan *point estimates*.

Point estimate adalah sebuah nilai estimasi pada sebuah parameter (Harrel, et al., 2004). Dalam hal ini yang dimaksud adalah rata-rata dan standar deviasi. Berikut ini merupakan persamaan rata-rata (\bar{x}):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.1)$$

dimana n adalah jumlah sampel dan x_i adalah nilai observasi ke- i . Rata-rata sampel digunakan untuk mengestimasi *true mean* (μ). Persamaan standar deviasi adalah sebagai berikut (s):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n-1} - \bar{x}^2} \quad (2.2)$$

standar deviasi (s) adalah *point estimate* yang digunakan untuk mengestimasi standar deviasi populasi (σ).

Interval estimate mengestimasi seberapa jauh rata-rata sampel (\bar{x}) terhadap *true mean* (μ) (Harrel, et al., 2004). Sehingga dapat disimpulkan bahwa *interval estimates* tersusun dari hasil perhitungan *point estimates*. *Interval estimates* juga biasa disebut dengan *confidence interval estimates*. Interval pada *confidence interval* bersifat simetris dengan \bar{x} , dan jarak dari setiap titik ujung dari \bar{x} disebut dengan *half width* (hw). Probabilitas terjadinya *unknown true mean* berada dalam *interval* $\bar{x} \pm hw$ disebut dengan P atau *confidence level*. Berikut ini merupakan persamaan untuk menghitung *half width* sebuah *confidence interval* dengan *confidence level* yang telah diketahui:

$$hw = \frac{(t_{n-1, \frac{\alpha}{2}})s}{\sqrt{n}} \quad (2.3)$$

dimana $(t_{n-1, \frac{\alpha}{2}})$ adalah faktor yang dapat ditemukan dari table *Student's t*, α adalah komplemen dari P , dan n adalah jumlah sampel.

2.1.6 Kelebihan dan Kekurangan Simulasi

Ada beberapa kelebihan dan kekurangan dalam model simulasi, diantaranya adalah sebagai berikut (Harrel, et al., 2004):

2.1.6.1 Kelebihan Model Simulasi

Berikut ini merupakan kelebihan dari model simulasi:

- *Return on investment*
Dengan dilakukannya simulasi, pengambil keputusan dapat melakukan keandalan biaya, seperti biaya operasional, investasi, inventori, dan tenaga kerja.
- Konsep *random*
Model simulasi dilakukan dengan konsep *random*, dimana dalam konsep ini digunakan probabilitas terjadinya suatu peristiwa. Konsep *random* ini dilakukan berdasarkan data, sehingga dari hasil simulasi dapat disimpulkan gambaran berbagai kemungkinan kejadian dan lebih merepresentasikan *real world*.
- Antisipasi
Dengan dilakukannya simulasi, maka pengambil keputusan dapat menghindari risiko yang mungkin terjadi karena adanya penerapan sistem yang terbaru.
- Pemilihan peralatan dan estimasi biaya
Simulasi dapat digunakan sebagai estimasi performansi sebuah sistem apabila diberikan peralatan baru dan juga biaya yang akan dikeluarkan selama mengoperasikan peralatan tersebut.

2.1.6.2 Kekurangan Model Simulasi

Berikut ini merupakan kekurangan dalam model simulasi:

- Apabila pada saat proses validasi model tidak valid atau tidak sesuai dengan sistem yang sebenarnya, maka hasil model simulasi tidak dapat merepresentasikan kebijakan yang seharusnya dilakukan di sistem yang sebenarnya.
- Tidak semua sistem memiliki data historis yang cukup untuk menjadi parameter input model simulasi, sehingga apabila data historis tidak cukup, maka perlu dilakukan observasi di lapangan yang akan memerlukan biaya dan waktu tambahan.
- Karena model simulasi memiliki input parameter yang bersifat *random*, maka perlu dilakukan beberapa kali simulasi (replikasi) agar dapat menghasilkan simulasi yang lebih merepresentasikan sistem yang sebenarnya.

2.2 Sistem

Sistem didefinisikan sebagai kumpulan dari beberapa elemen yang berfungsi bersama untuk mencapai tujuan tertentu. Poin utama dari pengertian ini adalah (1) sistem terdiri dari beberapa elemen, (2) elemen-elemen ini saling berhubungan dan bekerja sama, dan (3) sistem ada untuk mencapai tujuan tertentu. Contoh dari sistem adalah sistem lalu lintas, sistem manufaktur, dan sistem jasa. Berikut ini merupakan elemen-elemen sistem serta penjelasan dari kompleksitas sistem dalam simulasi (Harrel, et al., 2004).

2.2.1 Elemen Sistem

Dalam perspektif simulasi, sistem terdiri atas entitas, aktivitas, *resources*, dan kontrol. Entitas adalah item yang diproses melalui sebuah sistem seperti produk, *customer*, dan dokumen. Entitas yang berbeda dapat memiliki atribut yang berbeda, seperti biaya, kualitas, tipe, atau kondisi. Entitas dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu *animate entities* atau makhluk hidup, *inanimate entities* atau benda mati, serta *intangible entities* seperti panggilan dan pesan.

Aktivitas adalah pekerjaan yang dilakukan dalam sistem yang secara langsung atau tidak langsung yang terlibat dalam memproses entitas. Aktivitas

dapat diklasifikasikan menjadi proses entitas, perpindahan entitas dan *resources*, serta penyesuaian, pemeliharaan, dan perbaikan *resources*. Contoh dari aktivitas proses entitas adalah proses inspeksi, *check-in*, dan proses produksi. Contoh dari aktivitas perpindahan entitas dan *resources* adalah proses *material handling*, dan perpindahan *forklift*. Contoh dari aktivitas penyesuaian dan pemeliharaan *resources* adalah proses *set up* mesin dan perbaikan mesin.

Resources adalah pengertian dari oleh siapa aktivitas dilakukan. *Resources* berperan sebagai penyedia fasilitas, sehingga apabila *resources* tidak memadai dapat mengakibatkan aktivitas dalam sistem yang tidak maksimal. *Resources* memiliki beberapa karakteristik, seperti kapasitas, kecepatan, waktu siklus, dan keandalan. *Resources* dapat diklasifikasikan menjadi *dedicated* atau *shared*, *permanent* atau *consumable*, dan *mobile* atau *stationary*.

Kontrol mendefinisikan bagaimana, kapan, dan dimana aktivitas dilakukan. Contoh dari kontrol diantaranya adalah urutan rute, perencanaan produksi, jadwal kerja, prioritas pekerjaan, dan lembar instruksi.

2.2.2 Variabel Sistem

Mengidentifikasi variabel sistem dapat membantu dalam memahami bagaimana sistem saling mempengaruhi satu sama lain dan tujuan dari sistem tersebut. Berikut ini merupakan variabel-variabel sistem yang perlu diidentifikasi dalam menjalankan simulasi:

2.2.2.1 Variabel Keputusan

Variabel keputusan terkadang juga bisa disebut sebagai variabel independen pada sebuah eksperimen. Mengubah nilai pada variabel keputusan dapat memberikan dampak pada sistem secara keseluruhan. Variabel keputusan terdiri atas variabel yang dapat dikontrol maupun variabel yang tidak dapat dikontrol (Harrel, et al., 2004). Contoh dari variabel yang dapat dikontrol adalah jumlah operator pada lini produksi dan penentuan *shift*-nya. Variabel yang tidak dapat dikontrol dapat berupa lamanya waktu servis dan *defect rate* pada sebuah sistem operasi.

2.2.2.2 Variabel Respon

Variabel respon mengukur kinerja dari sebuah sistem yang berdampak dari perubahan variabel keputusan (Harrel, et al., 2004). Contoh dari variabel respon adalah jumlah entitas yang diproses, utilitas mesin, lamanya waktu tunggu, dan ukuran kinerja lainnya. Dalam sebuah eksperimen, variabel respon merupakan variabel dependen, yaitu variabel yang bergantung pada kebijakan variabel independen.

2.2.2.3 Variabel Status

Variabel status merupakan status dari sebuah variabel pada titik dan waktu tertentu (Harrel, et al., 2004). Contoh variabel status adalah status dari jumlah entitas yang pada waktu tertentu, selain itu juga status pada sebuah *resource* (*idle*, *busy*, *down*). Pada umumnya, variabel respon adalah respon dari variabel status yang diukur dari awal hingga akhir sistem disimulasikan. Sebagai contoh, status *resource* mesin (*idle*, *busy*, dan *down*) dapat dirangkum menjadi satu periode sehingga dapat menjadi variabel respon utilitas mesin.

2.2.3 Kompleksitas Sistem

Terdapat dua faktor yang mengakibatkan sistem menjadi kompleks, diantaranya adalah interdependensi dan variabilitas. Interdependensi adalah sifat dalam sebuah sistem dimana setiap elemennya saling mempengaruhi satu sama lain. Misalkan, apabila sebuah mesin mengalami *breakdown*, maka proses produksi selanjutnya akan menjadi *idle* karena tidak ada item yang bisa diproses, sedangkan proses produksi sebelumnya juga terpaksa akan dimatikan untuk menghindari penumpukan WIP.

Sedangkan sifat variabilitas dapat diartikan sebagai sifat ketidakpastian yang biasa terjadi pada manusia dan mesin. Contohnya adalah terjadinya ketidakpastian pengiriman *supplier*, ketidakpastian kegagalan mesin, ketidakpastian pada *customer demand*.

2.3 Keandalan

Pada bagian ini akan dijelaskan tentang definisi keandalan cara untuk melakukan evaluasi keandalan sistem.

2.3.1 Definisi Keandalan

Kelancaran proses produksi sangat dipengaruhi oleh ketersediaan dari peralatan atau mesin. Availabilitas atau ketersediaan adalah salah satu pengukuran keandalan dari sebuah sistem. Untuk meningkatkan keandalan suatu sistem, dapat digunakan komponen *redundant*, menggunakan komponen dengan keandalan yang sangat tinggi, serta menerapkan strategi perawatan yang efisien. Dua parameter yang paling penting dalam mengukur keandalan adalah availabilitas dan MTBF. Agar availabilitas dapat menjadi optimal, maka pemeliharaan tersebut harus direncanakan dengan baik.

Keandalan adalah probabilitas sebuah produk akan beroperasi atau jasa akan tersedia dengan baik pada periode waktu tertentu tanpa terjadinya kegagalan (Elsayed, 2012). Dengan kata lain, keandalan dapat digunakan untuk mengukur keberhasilan sebuah sistem untuk berfungsi dengan baik selama masa perencanaannya. Analisis sistem keandalan bertujuan untuk menguantifikasi probabilitas kegagalan dari sebuah sistem, dengan menganalisis batas ketidakpastian antara operasi sistem dan kegagalan (Zio, 2013). Analisis sistem keandalan digunakan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan sebagai berikut:

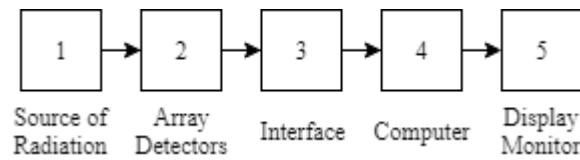
- Alasan mengapa sebuah sistem gagal.
- Bagaimana mengembangkan sebuah sistem yang andal.
- Bagaimana mengukur dan menguji keandalan sebuah perencanaan, operasi, dan manajemen.
- Bagaimana cara mempertahankan sebuah sistem agar tetap andal.

2.3.2 Evaluasi Keandalan Sistem

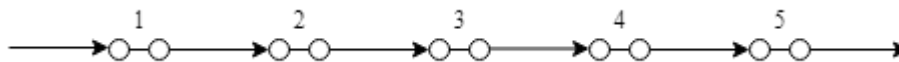
Keandalan sebuah sistem perlu dievaluasi seiring dengan perubahan sistem. Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai metode-metode untuk mengevaluasi keandalan sebuah sistem yang kompleks.

2.3.2.1 Reliability Block Diagrams

Langkah pertama dalam mengevaluasi keandalan sebuah sistem adalah dengan membangun *reliability block diagram*. *Reliability block diagram* adalah representasi grafis pada sebuah komponen pada sebuah sistem dan bagaimana hubungan antar komponen tersebut. Langkah selanjutnya adalah membuat grafik keandalan berdasarkan *block diagram*. Grafik keandalan merepresentasikan blok yang menandakan jalur pada grafik (Elsayed, 2012). Gambar 2.2 menunjukkan contoh *reliability block diagram* pada sistem tomografi komputer.



Gambar 2.1 Reliability Block Diagram (Elsayed, 2012)



Gambar 2.2 Reliability Graph (Elsayed, 2012)

2.3.2.2 Sistem Seri

Sistem seri terdiri atas n komponen atau subsistem yang terhubung dalam satu seri. Kegagalan pada sebuah komponen menghasilkan kegagalan pada seluruh sistem. Contoh diagram blok sistem seri digambarkan pada Gambar 2.1, sedangkan grafik keandalan sistem seri digambarkan pada Gambar 2.2. Setiap subsistem dapat tersusun atas beberapa komponen yang saling terhubung. Sebuah sistem atau subsistem dapat dianalisis pada level yang berbeda. Untuk menentukan keandalan sebuah sistem seri, diperlukan probabilitas kesuksesan pada setiap komponen sistem. Keandalan sebuah sistem seri dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R = P(x_1 x_2 \dots x_n) \quad (2.3)$$

$$R = P(x_1)P(x_2|x_1)P(x_3|x_2)P(x_4|x_3) \dots P(x_n|x_1 x_2 x_3 \dots x_{n-1}) \quad (2.4)$$

dimana:

R : keandalan sistem

$P(x_i)$: probabilitas keandalan pada subsistem i

$P(x_{i+1}|x_i)$: probabilitas keandalan pada subsistem i apabila $i+1$ diketahui

n : jumlah subsistem

Persamaan di atas merupakan probabilitas kondisional ketika kegagalan mesin pada sebuah komponen berdampak terhadap laju kegagalan komponen yang lain. Sedangkan apabila kegagalan komponen sistem bersifat independen, maka keandalan komponen sistem dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R = P(x_1)P(x_2) \dots P(x_n) \quad (2.5)$$

$$R = \prod_{i=1}^n P(x_i) \quad (2.6)$$

dimana:

R : keandalan sistem

$P(x_i)$: probabilitas keandalan pada subsistem i

n : jumlah subsistem

Selain itu, keandalan sistem seri juga dapat ditentukan dengan menghitung probabilitas kegagalan sistem dengan mengurangi probabilitas kesuksesan dari *unity*.

$$P_f = [P(\bar{x}_1) + P(\bar{x}_2) + \dots + P(\bar{x}_n)] - [P(\bar{x}_1\bar{x}_2) + P(\bar{x}_2\bar{x}_3) + \dots] + \dots + [-1]^{n-1}P(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) \quad (2.7)$$

$$R = 1 - P_f \quad (2.8)$$

dimana:

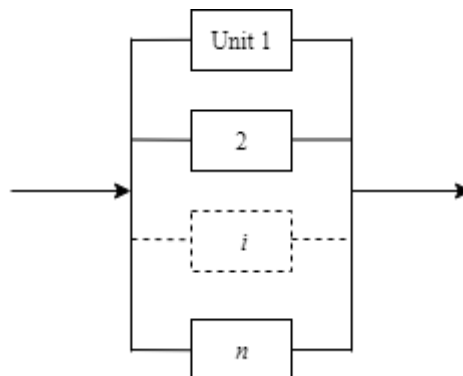
R : keandalan sistem

P_f : probabilitas kerusakan

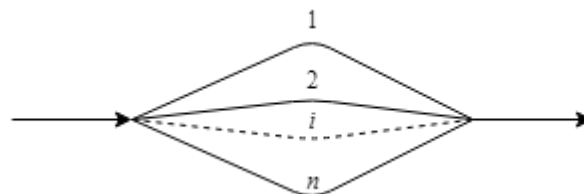
Perhitungan keandalan sistem ini juga dapat digunakan untuk menghitung availabilitas pada sistem seri. Perlu diketahui bahwa keandalan sebuah sistem seri selalu lebih kecil dari pada keandalan sistem terendah (Elsayed, 2012). Oleh karena itu, semakin banyak subsistem seri pada sebuah sistem akan menghasilkan keandalan yang rendah. Hal ini tentunya bukan hal yang diinginkan. Untuk mengatasi hal ini, umumnya diatasi dengan memperbanyak subsistem paralel, umumnya pada subsistem yang memiliki keandalan terendah.

2.3.2.3 Sistem Paralel

Dalam sistem paralel, komponen terhubung dalam susunan paralel, sehingga kegagalan sebuah komponen tidak akan mengganggu komponen yang lain untuk bekerja dengan baik.



Gambar 2.3 Reliability Block Diagram Sistem Paralel (Elsayed, 2012)



Gambar 2.4 Reliability Graph Sistem Paralel (Elsayed, 2012)

Sama seperti sistem seri, keandalan sistem paralel dapat ditentukan dengan mengestimasi ketidakeandalan sebuah sistem dengan menguranginya dengan *unity* atau nilai 1 dalam sebuah probabilitas.

$$R = P(x_1 x_2 \dots x_n) \quad (2.9)$$

$$R = [P(x_1) + P(x_2) + \dots + P(x_n)] - [P(x_1 x_2) + P(x_2) + \dots] + \dots + [-1]^{n-1} P(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.10)$$

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n P(\bar{x}_i) \quad (2.11)$$

dimana:

R : keandalan sistem

$P(x_i)$: probabilitas keandalan pada subsistem i

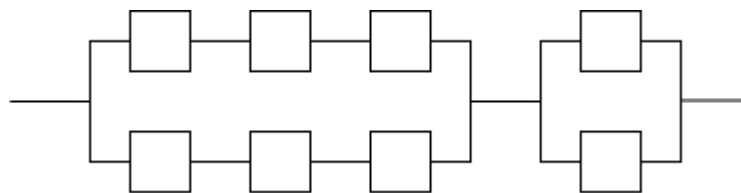
$P(\bar{x}_i)$: probabilitas kerusakan pada subsistem i

n : jumlah subsistem

Keandalan sistem paralel selalu lebih besar dari pada komponen yang paling andal. Sehingga semakin banyak komponen paralel pada suatu sistem maka sistem akan semakin andal. Pernyataan ini hanya berlaku bagi sistem yang hanya memiliki dua status, yaitu gagal dan beroperasi (Elsayed, 2012). Perhitungan keandalan sistem ini juga dapat digunakan untuk menghitung availabilitas pada sistem paralel.

2.3.2.4 Sistem Campuran

Sistem campuran adalah sistem yang komponennya terhubung secara seri maupun paralel. Terdapat dua jenis kemungkinan susunan sistem campuran, yaitu seri-paralel dan paralel-seri.



Gambar 2.5 Blok Diagram Sistem Campuran (Elsayed, 2012)

Sistem paralel-seri adalah sistem yang terdiri atas m paralel. Setiap paralel memiliki n komponen yang terhubung secara seri, sehingga persamaan untuk sistem paralel-seri adalah sebagai berikut:

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n \left[1 - \prod_{j=1}^m P(x_{ij}) \right] \quad (2.12)$$

dimana:

R : keandalan sistem

$P(x_{ij})$: probabilitas komponen j dalam sistem i .

n : jumlah subsistem

Sedangkan untuk sistem seri-paralel terdiri atas n subsistem seri dengan m paralel pada setiap subsistem. Berikut ini merupakan persamaan untuk menghitung keandalan sistem seri-paralel:

$$R = \prod_{i=1}^n \left[1 - \prod_{j=1}^m (1 - P(x_{ij})) \right] \quad (2.13)$$

Dimana $i=1,2,\dots,n$ dan $j=1,2,\dots,m$ dan $P(x_{ij})$ adalah probabilitas komponen j dalam sistem i bekerja.

2.4 Availabilitas

Availabilitas adalah probabilitas sebuah sistem beroperasi sesuai fungsinya ketika ingin digunakan. Berikut ini merupakan persamaan availabilitas sebuah sistem:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.14)$$

dimana:

$MTBF$: *Mean Time Between Failure*

$MTTR$: *Mean Time To Repair*

MTTF adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengukur keandalan. MTTF merupakan nilai rata-rata $E(T)$ pada waktu kegagalan T .

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (2.15)$$

dimana:

$MTTF$: *Mean Time Between Failure*

$R(t)$: Fungsi Keandalan

2.5 *Calendar Day*

Calendar day adalah waktu yang dibutuhkan sebuah fasilitas industri proses untuk memenuhi *demand* produksi. *Calendar day* adalah waktu yang mengakomodasi berbagai batasan yang dapat menunda, mengganggu, atau memperlambat produksi (U.S. Department of Energy, 2014). Berikut ini merupakan faktor yang dapat mempengaruhi *calendar day*:

1. Jenis dan kualitas material yang diproses.
2. Faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi aktivitas produksi.
3. Berkurangnya kapasitas produksi karena adanya *downtime* terjadwal, seperti inspeksi, perawatan, perbaikan, dan *turnaround*.
4. Berkurangnya kapasitas produksi karena adanya *downtime* yang tidak terjadwal, seperti permasalahan mekanik, kerusakan, dan perlambatan produksi.

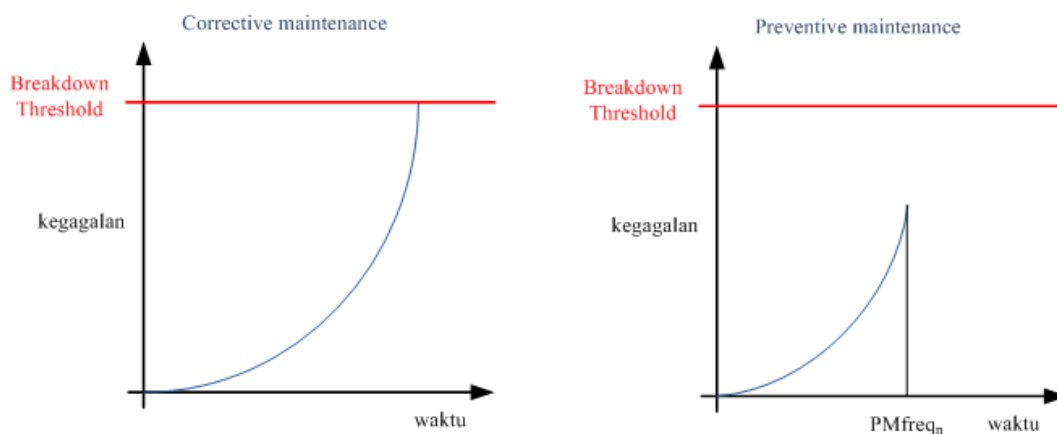
2.6 **Preventive Maintenance**

Preventive maintenance dan penggantian alat adalah kegiatan yang dilakukan pada sebuah sistem dengan meminimalisir perbaikan atau penggantian sepenuhnya pada beberapa komponen sistem atau seluruh sistem (Elsayed, 2012). *Preventive mainenance* menghasilkan biaya yang lebih kecil dai pada *corrective maintenance* dan membutuhkan *time to repair* yang lebih singkat. Tidak seperti *corrective maintenance*, *preventive maintenance* disusun dengan jadwal sehingga dapat diakomodasi oleh aktivitas *maintenance* dan produksi. Pertanyaan utama

dalam melakukan *preventive maintenance* adalah seberapa sering sebuah mesin dirawat. Apabila terjadi perawatan yang berlebihan, maka akan menghasilkan biaya yang tidak diperlukan. Sebaliknya, jika kurang dilakukan perawatan maka akan menghasilkan *unplanned breakdown* yang dapat menghasilkan biaya yang sangat tinggi. Analisis *preventive maintenance* dapat menghasilkan data-data sebagai berikut (Elsayed, 2012):

- Frekuensi PMRI (*preventive maintenance, replacement, and inspection*)
- Aturan penggantian komponen
- Dampak perubahan teknologi pada keputusan penggantian
- Jumlah teknisi perawatan
- Tingkat inventori *spare part* yang optimal
- Aturan urutan dan jadwal untuk pekerjaan perawatan
- Jumlah dan tipe mesin yang tersedia pada stasiun kerja perawatan

Gambar 2.6 merupakan perbandingan *corrective maintenance* dan *preventive maintenance*:



Gambar 2.6 Perbandingan CM dan PM (Alrabghi, et al., 2013)

2.7 Analisis Reliability, Availability and Maintenance (RAM)

Analisis *reliability, availability and maintenance* (RAM) adalah salah satu pendekatan berbasis simulasi sebagai standar dalam teknik keandalan (Faulin, et al., 2010). Teknik keandalan merupakan salah satu solusi yang dapat mengatasi

meningkatnya persaingan, anggaran yang lebih ketat, siklus produksi yang lebih cepat, dan permintaan yang terus meningkat. Terdapat dua pendekatan dalam melakukan analisis RAM, yaitu pendekatan analitis dan pendekatan simulasi.

2.7.1 Metode Pendekatan Analitis

Pendekatan analitis dilakukan dengan merepresentasikan sistem dengan model matematis dan mengevaluasi indeks keandalan menggunakan solusi matematis (Faulin, et al., 2010). Dalam kasus yang lebih kompleks, pendekatan analitis bisa menjadi terlalu kompleks untuk diterapkan. Pendekatan analitis pada umumnya digunakan untuk mengevaluasi nilai rata-rata dari titik beban dan indeks keandalan sistem. Namun, nilai rata-rata tidak merepresentasikan variabilitas dalam indeks keandalan. Distribusi probabilitas pada keandalan menyediakan informasi mengenai representasi sistem berdasarkan parameter tertentu. Sehingga jika pendekatan analitis diterapkan pada sistem yang memiliki perilaku acak, informasi tentang distribusi probabilitas tidak bisa didapatkan.

Pada umumnya teknik konvensional untuk sistem distribusi evaluasi keandalan berdasarkan *failure mode and effect analysis* (FMEA). FMEA pada umumnya digunakan untuk mengevaluasi keandalan sebuah sistem dalam jangkauan yang lebih luas. Dalam sistem yang memiliki konfigurasi yang rumit dan komponen yang beragam, FMEA yang dihasilkan dapat menjadi sangat rumit. Oleh karena itu terdapat pendekatan *reliability network*, yaitu pendekatan yang berfungsi untuk menyederhanakan metode pendekatan analitis.

2.7.2 Metode Pendekatan Simulasi

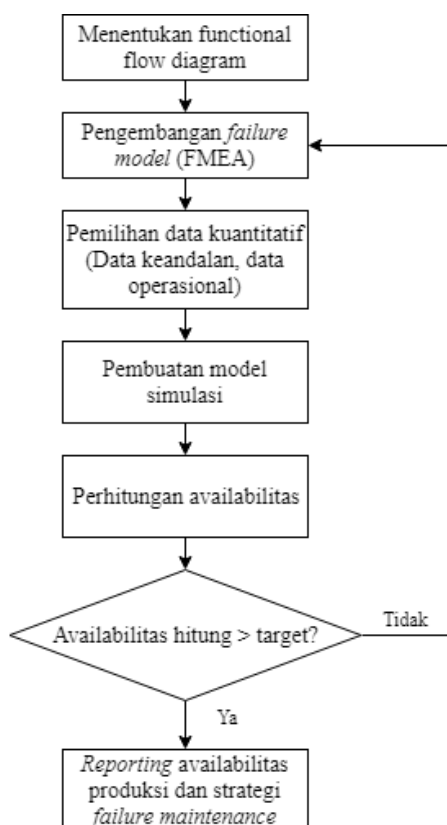
Pola perilaku acak dapat terjadi pada jumlah kegagalan, waktu kegagalan, dan waktu perbaikan. Perilaku dari suatu sistem dapat mengikuti salah satu pola dari sebuah distribusi probabilitas. Pendekatan simulasi digunakan untuk mengestimasi indeks keandalan dengan mensimulasikan proses aktual dan perilaku acak pada sebuah sistem dan komponen-komponennya. Metode ini mensimulasikan perilaku komponen dan sistem secara kronologis. Selain itu metode ini juga mampu mensimulasikan perilaku saling ketergantungan antar

komponen dan variabel dalam sistem. Dengan menggunakan metode pendekatan simulasi, hasil yang didapatkan dapat berupa rata-rata maupun distribusi dari sebuah indeks dan informasi lainnya yang tidak bisa didapatkan hanya dengan pendekatan analitis.

Pendekatan analitis dapat menjadi kompleks dan dapat menghasilkan banyak asumsi. Sehingga analisis RAM dengan menggunakan pendekatan analitis menjadi susah untuk diterapkan dalam skenario aslinya. Di sisi lain, pendekatan simulasi dapat mengakomodasi perilaku yang lebih realistis. Namun metode simulasi dikenal sebagai metode yang mahal dalam hal komputasi, khususnya untuk memodelkan struktur yang memiliki keandalan tinggi. Apabila sebuah sistem memiliki laju kegagalan yang rendah, jumlah replikasi simulasi yang dibutuhkan akan sangat banyak agar dapat menghasilkan estimasi yang akurat. Kasus ini sering disebut dengan "*rare-event problem*". Dalam penelitian ini, penulis memilih untuk menggunakan pendekatan simulasi. Metode ini dipilih karena adanya kelebihan dalam memodelkan perilaku acak dan ketergantungan antar variabel. Sehingga output dari metode ini akan lebih representatif dan lebih layak untuk diterapkan pada sistem aktual.

2.7.3 Metodologi dalam Simulasi RAM

Gambar 2.7 menunjukkan metodologi untuk melakukan simulasi RAM:



Gambar 2.7 Metodologi Simulasi RAM (Faulin, et al., 2010)

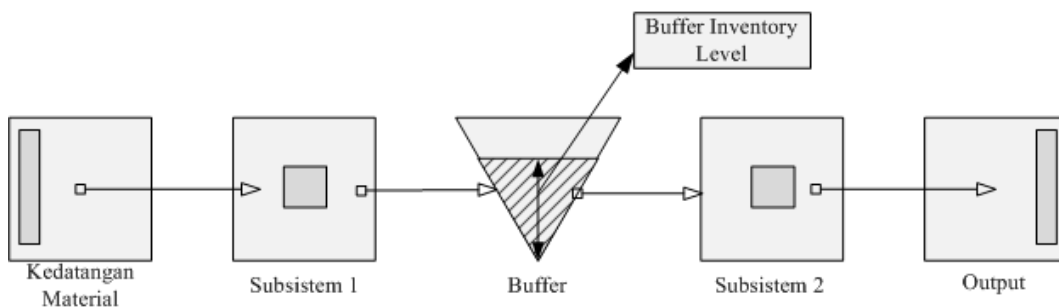
Tahap pertama dalam melakukan simulasi RAM adalah dengan membuat *functional flow diagram* dalam sistem. Diagram ini juga dapat digunakan sebagai model konseptual sebelum melakukan simulasi. Tahap selanjutnya adalah mengidentifikasi *potential failure* dari sistem. Model kegagalan ini dapat dikembangkan dengan FMEA. Setelah dibuat *failure model*, langkah selanjutnya adalah melakukan pengumpulan data dan informasi operasional untuk dijadikan *input* dalam simulasi. Pada tahap ini dapat dilakukan pengembangan strategi *failure management*. Pengembangan strategi *maintenance* ini dapat dilakukan dengan menggunakan *RCM task decision logic*. Kemudian model simulasi dibuat berdasarkan *functional diagram*. Setelah model simulasi dibuat, dilakukan *input* data dalam simulasi, termasuk laju kegagalan, waktu perbaikan, dan informasi operasional sistem. Simulasi dilakukan dalam jumlah replikasi tertentu agar menghasilkan estimasi yang lebih akurat. Availabilitas sistem kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^M A_i}{M} \quad (2.16)$$

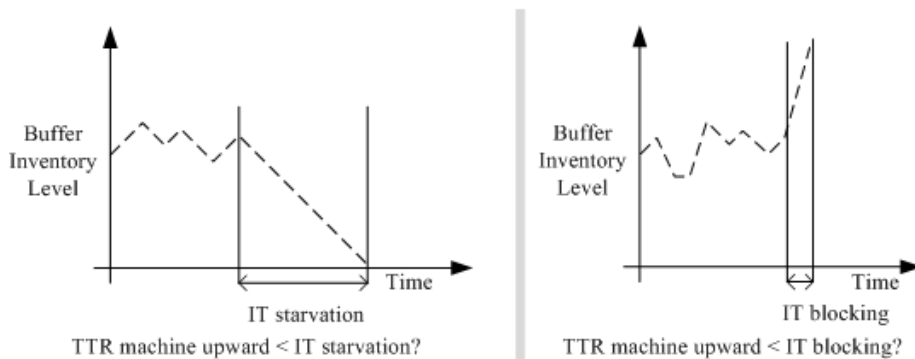
dimana A adalah estimasi availabilitas sistem, A_i adalah output availabilitas pada replikasi ke- i , dan M adalah jumlah replikasi. Kemudian, estimasi availabilitas produksi dibandingkan dengan target, apabila hasil simulasi masih belum memenuhi target, maka perlu dilakukan peninjauan ulang pada strategi *maintenance*.

2.8 Buffer Inventory Level

Penggunaan *buffer inventory level* merupakan salah satu solusi untuk mengoptimalkan throughput. Adanya pengendalian *buffer inventory level* dapat mengatasi terjadinya *material starving* dan *production blocking*. Berikut ini merupakan contoh *buffer inventory level* diantara dua tahap produksi:



Gambar 2.8 Contoh *Buffer Inventory Level* di Antara Dua Tahap Produksi (Macchi, et al., 2012)



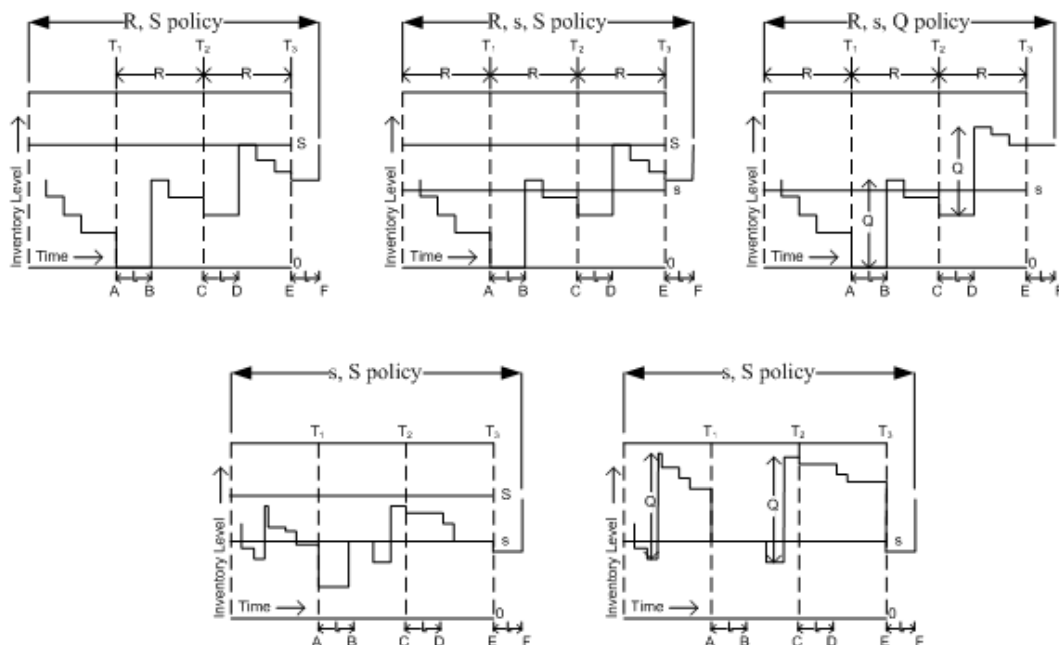
Gambar 2.9 Membandingkan TTR pada mesin gagal dengan waktu isolasi (IT) terhadap *material starving* atau *blocking* (Macchi, et al., 2012)

Berdasarkan Gambar 2.9, terjadinya *material starvation* dan *blocking* dipengaruhi oleh *buffer inventory level*. Berdasarkan pergerakan *buffer inventory level*, pengambil keputusan dapat melakukan penilaian kuantitatif untuk mengevaluasi waktu isolasi yang disediakan oleh *buffer inventory level*. *Buffer inventory level* harus cukup memenuhi terjadinya intervensi *maintenance* pada saat mesin gagal (Macchi, et al., 2012).

2.9 Manajemen Inventori Spare part

Manajemen inventori *spare part* adalah salah satu faktor yang dapat mempengaruhi availabilitas produksi. Apabila *spare part* tidak tersedia, maka *time to repair* akan bertambah, sehingga availabilitas akan semakin berkurang. Terdapat beberapa jenis kebijakan inventori yang dapat diterapkan untuk mengendalikan inventori *spare part*.

Seperti yang digambarkan pada Gambar 2.10, terdapat beberapa jenis kebijakan inventori (Hosseini, et al., 2017).



Gambar 2.10 Posisi Inventori Berdasarkan Jenis Kebijakan Inventori (Hosseini, et al., 2017)

2.9.1 Kebijakan Periodik (R,S)

Pada kebijakan ini, *review* inventori dilakukan secara periodik setiap R satuan waktu. Pada R satuan waktu, dilakukan pemesanan untuk meningkatkan posisi inventori maksimum mencapai S .

2.9.2 Kebijakan Periodik (R,s,S)

Pada kebijakan ini, dilakukan *review* pada setiap R satuan waktu untuk mencapai posisi inventori maksimum sebesar S . Pemesanan akan dilakukan apabila posisi inventori kurang dari atau sama dengan s .

2.9.3 Kebijakan Periodik (R,s,Q)

Setiap R satuan waktu dilakukan pemesanan sebanyak Q unit apabila posisi inventori kurang dari atau sama dengan s .

2.9.4 Kebijakan Kontinyu (s,S)

Pemesanan dilakukan pada saat posisi inventori kurang dari atau sama dengan s untuk meningkatkan posisi inventori maksimum S .

2.9.5 Kebijakan Kontinyus (s,Q)

Kebijakan pemesanan dilakukan ketika posisi inventori kurang dari atau sama dengan s sejumlah Q unit.

2.10 Daftar Penelitian Terdahulu

Subbab ini menjelaskan penelitian terdahulu yang dijadikan referensi oleh penulis untuk melakukan pengembangan penelitian.

Tabel 2.1 Daftar Penelitian Terdahulu

	Judul Penelitian	Nama Penulis	Tahun	Jenis Penelitian	Objek Penelitian
Penelitian Terdahulu	Analisis <i>Plant Reliability</i> pada Unit Pembuatan Urea dengan Pendekatan Simulasi	Rahandi Nur Tegar Budiman	2006	Tugas Akhir	PT Petrokimia Gresik
	Perhitungan plant reliability dan pengendalian risiko di Pabrik Phonska PT. Petrokimia Gresik	IGP Raka Arthama	2006	Disertasi	PT Petrokimia Gresik
	<i>A Discrete Event Simulation Model for Reliability Modelling of A Chemical Plant</i>	Bikram Sharda, Scott J. Bury	2008	Artikel Prosiding	The Dow Chemical Company
	<i>Simulation Based Optimization of Joint Maintenance and Inventory for Multi-Components Manufacturing Systems</i>	Abdullah Alrabghi, Ashutosh Tiwari	2013	Artikel Prosiding	Perusahaan Manufaktur Multi-komponen
	<i>Simulation-based Optimisation of Maintenance Systems: Industrial Case Studies</i>	Abdullah Alrabghi, Ashutosh Tiwari, Mark Savill	2017	Artikel Jurnal	Perusahaan Manufaktur Truk dan Perusahaan Manufaktur Polimerisasi
	<i>Introducing Buffer Inventories in The RBD Analysis of Process Production Systems</i>	Marco Macchi, Fredy Kristjanpoller, Marco Garetti, Adolfo Arata, Luca Fumagalli	2012	Artikel Jurnal	Lantai Produksi Penggilingan
	<i>Application of Reliability, Availability, and Maintainability Simulation to Process Industries: a Case Studies</i>	Aijaz Shaikh, Adamantios Mettas	2010	Artikel Jurnal	Perusahaan Gas Alam
	<i>Review of Simulation Approaches in Reliability and Availability Modelling</i>	Meesala Srinavasa Rao, Vallayil N. A. Naikan	2016	Artikel Jurnal	-

Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Ini

	Judul Penelitian	Metode					Output								
		<i>Discrete Event Simulation</i>	TQM	Analitis	Penilaian Risiko	Manajemen Inventori	Analisis RBD	Keandalan lantai produksi	Avalabilitas lantai produksi	Mitigasi Risiko	Unit Kritis	Kebijakan Inventori	<i>Predictive maintenance</i>	Alokasi <i>Maintenance Resources</i>	Perbandingan Metode Simulasi RAM
Penelitian Terdahulu	Analisis <i>Plant Reliability</i> pada Unit Pembuatan Urea dengan Pendekatan Simulasi	√						√			√				
	Perhitungan plant reliability dan pengendalian risiko di Pabrik Phonska PT. Petrokimia Gresik	√			√			√		√					
	<i>A Discrete Event Simulation Model for Reliability Modelling of A Chemical Plant</i>	√		√		√					√	√			
	<i>Simulation Based Optimization of Joint Maintenance and Inventory for Multi-Components Manufacturing Systems</i>	√		√		√						√	√		
	<i>Simulation-based Optimisation of Maintenance Systems: Industrial Case Studies</i>	√	√	√									√		

Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Ini (Lanjutan)

	Judul Penelitian	Metode					Output								
		Discrete Event Simulation	TQM	Analitis Risiko	Penilaian Risiko	Manajemen Inventori	Analisis RBD	Keandalan lantai	Availabilitas lantai	Mitigasi Risiko	Unit Kritis	Kebijakan Inventori	Predictive maintenance	Maintenance Resources	Alokasi
Penelitian Terdahulu	<i>Introducing Buffer Inventories in The RBD Analysis of Process Production Systems</i>					✓					✓				
	<i>Application of Reliability, Availability, and Maintainability Simulation to Process Industries: a Case Studies</i>	✓	✓									✓	✓		
	<i>Review of Simulation Approaches in Reliability and Availability Modelling</i>	✓													✓
Penelitian Ini	<i>Analisis Reliability, Availability, dan Maintainability dengan Mempertimbangkan Inventori Spare part dan Penyangga Menggunakan Pendekatan Simulasi</i>	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓				

Analisis keandalan pabrik dengan mempertimbangkan risiko telah dilakukan sebelumnya. Dalam penelitian (Budiman, 2006) dilakukan perhitungan nilai risiko dari hasil perhitungan keandalan pabrik. Sedangkan pada penelitian (Arthama, 2006), dilakukan pemetaan risiko dan analisis mitigasi risiko berdasarkan hasil perhitungan keandalan pabrik. Pada dua penelitian ini, belum ada analisis untuk kebijakan inventori *buffer* dan *spare part*.

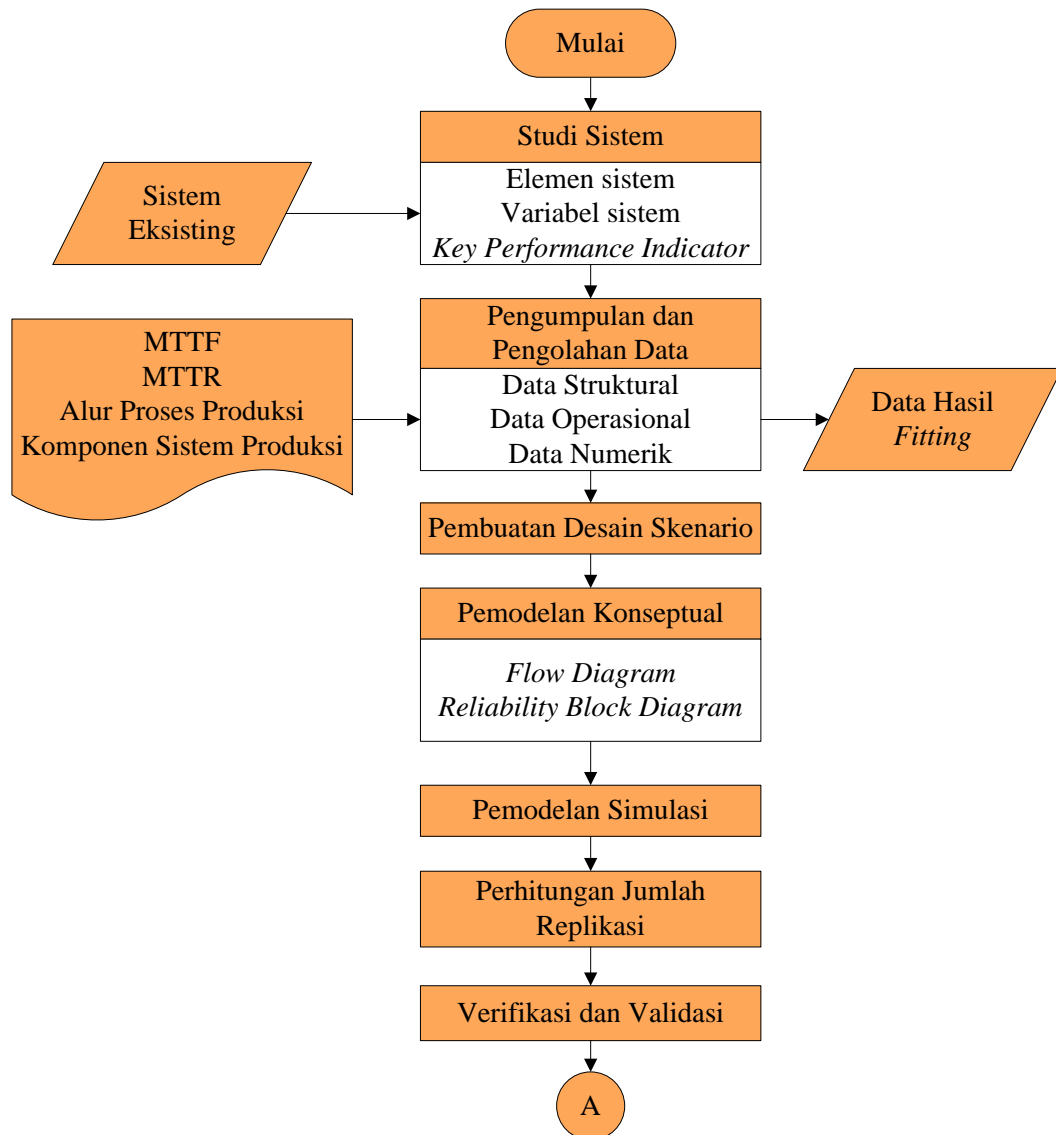
Penentuan kebijakan inventori *spare part* berdasarkan hasil perhitungan keandalan pabrik dilakukan dalam penelitian (Sharda & Bury, 2008) dan (Alrabghi & Tiwari, 2013). Pada penelitian (Sharda & Bury, 2008), dilakukan perhitungan kebijakan inventori *spare part* dan penentuan unit yang memiliki keandalan terendah dalam rantai produksi. Sedangkan dalam penelitian (Alrabghi, et al., 2013) selain dilakukan analisis kebijakan inventori *spare part*, dilakukan pula analisis *preventive maintenance* dan analisis biaya. Pada penelitian ini, digunakan dua metode sekaligus, yaitu optimasi dan *discrete event simulation*. Analisis keandalan pabrik dengan metode optimasi dan *discrete event simulation* juga dilakukan dalam penelitian (Alrabghi, et al., 2017) untuk menentukan kebijakan *preventive maintenance* yang optimal. Pada penelitian tersebut, tidak dilakukan analisis RAM dan metode dilakukan dengan dua cara, yaitu optimasi dan *discrete event simulation*. Dalam penelitian ini hanya menggunakan metode *discrete event simulation*.

Penentuan kebijakan tingkat inventori *buffer* dilakukan dalam penelitian (Macchi, et al., 2012) dengan menggunakan metode analisis *reliability block diagram* dan *joint availability analysis*. Analisis RAM dilakukan dalam penelitian (Shaikh & Mettas, 2010) untuk menentukan *predictive maintenance* dan alokasi *maintenance resources*. (Rao & Naikan, 2016) melakukan perbandingan berbagai metode simulasi dalam RAM dengan melakukan tinjauan pustaka. Pada penelitian tersebut tidak dilakukan analisis kebijakan inventori *spare part* dan *buffer*.

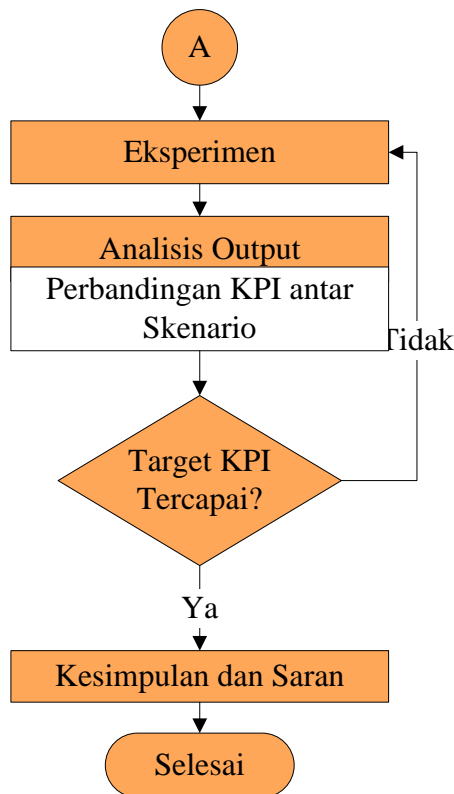
Berdasarkan penelitian sebelumnya, penulis ingin mengembangkan penelitian analisis RAM melalui pendekatan simulasi dengan menentukan kebijakan inventori *spare part* dan *buffer* yang optimal.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab 3 akan dijelaskan mengenai metodologi penelitian yang akan dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini. Berikut ini merupakan diagram alur yang menggambarkan tahapan yang dilakukan penulis:



Gambar 3.1 Metodologi Penelitian



Gambar 3.2 Metodologi Penelitian (Lanjutan)

3.1 Studi Sistem dan Analisis Permasalahan

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah studi sistem dan analisis permasalahan. Analisis permasalahan dilakukan agar model yang dibangun dapat menjawab permasalahan sebuah sistem. Penulis terlebih dahulu harus mencari informasi yang dapat mengatasi masalah tersebut. Informasi tersebut terdiri atas elemen sistem, variabel, dan *key performance indicator*. Informasi ini kemudian digambarkan dengan model konseptual.

3.1.1 Elemen sistem

Elemen sistem dalam konteks simulasi berupa entitas, aktivitas, *resources*, dan juga kontrol. Berikut ini merupakan elemen-elemen sistem produksi:

1. Entitas yang akan dimodelkan pada sistem ini adalah material Ortho xylene yang nantinya akan diproses menjadi Pythalic Anhydride. Dalam kasus ini Pythalic Anhydride adalah produk yang bersifat kontinyu, sehingga dalam

simulasi kejadian diskrit ini, Pythalic Anhydride disimulasikan dalam satuan Ton.

2. Simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini dimulai dari kedatangan material dari *supplier*. Setelah material datang, proses dimulai dengan proses oksidasi oleh *reactor*, kemudian dilanjutkan dengan proses sublimasi oleh *condenser* dan peralatan yang lain. Setelah itu, dilakukan proses distilasi yang kemudian menghasilkan produk PA cair. Produk PA cair ini kemudian disimpan pada *pure PA tank* untuk sebagian didistribusikan ke konsumen dan sebagian lagi diproses untuk dijadikan PA padat. Proses ini berlangsung di unit *bagging* dengan mesin *flaker*. Setelah PA padat dikemas dalam bentuk padat, PA padat disimpan pada gudang produk jadi.
3. *Resource* yang disimulasikan pada model ini terdiri atas unit-unit produksi yang akan dibagi menjadi beberapa subsistem, berikut ini merupakan daftar unit yang menjadi *resource* dalam proses produksi beserta subsistemnya:

Tabel 3.1 Daftar Unit dan *Resources* di Sistem Produksi

Unit	Nama Resources
Oksidasi	<ul style="list-style-type: none"> ○ BL 3110 ○ HT 3141 ○ HE 3131 ○ MX 3130 ○ HT 3111 ○ PE 3520 ○ HT 3112 ○ PU 3130 ○ HT 3120 ○ RE 3130 ○ HT 3130 ○ TU 3110 ○ HT 3140
Sublimasi	<ul style="list-style-type: none"> ○ DV 3211 ○ HT 3211 ○ DV 3212 ○ HT 3212 ○ HE 3210 ○ MX 3220 ○ HE 3200 ○ TW 3220
Distilasi	<ul style="list-style-type: none"> ○ AG 3310 ○ RE 3310 ○ FN 3420 ○ TK 3510 ○ HE 3320 ○ TW 3320 ○ HE 3321
Bagging	<ul style="list-style-type: none"> ○ DV 3520 ○ FA 3520 ○ PE 3520

Unit	Nama Resources
	o SE 3520
<i>Storage/ Tank</i>	o DV 3210

4. Kontrol yang digunakan dalam sistem ini adalah alur proses produksi dan sistem seri paralel pada blok keandalan.

3.1.2 Variabel Sistem

Variabel sistem dari simulasi terdiri dari atas variabel keputusan, variabel respon, dan variabel status. Variabel keputusan pada sistem ini adalah sistem penjadwalan *maintenance*. Variabel respon dari sistem simulasi ini adalah keandalan rantai produksi. Sedangkan variabel status dari sistem simulasi ini adalah status dari setiap *resource*.

Tabel 3.2 Variabel Sistem Simulasi

Variabel Keputusan	Variabel Respon	Variabel Status
Kapasitas <i>Buffer</i>	Availabilitas rantai produksi	Status <i>resource</i> (<i>busy/ idle/ failure</i>)
Kebijakan Inventori <i>Spare part</i>	<i>Calendar day</i> produksi	

3.1.3 Key Performance Indicator

Key Performance Indicator adalah parameter untuk mengukur keberhasilan suatu sistem agar dapat mencapai tujuan tertentu. Dalam penelitian ini, *key performance indicator* yang akan diukur adalah availabilitas produksi dan *calendar day*. Berikut ini merupakan persamaan perhitungan availabilitas produksi:

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (3.1)$$

dimana:

A = availabilitas produksi

MTTF = *mean time to failure*

MTTR = adalah *mean time to repair*

Availabilitas yang dihasilkan dari model simulasi adalah availabilitas pada setiap unit. Oleh karena itu, untuk menghitung availabilitas sistem, dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$A = (A_o)(A_s)(A_d)(A_b) \quad (3.2)$$

dimana:

- A = availabilitas sistem
- A_o = availabilitas unit oksidasi
- A_s = availabilitas unit oksidasi
- A_d = availabilitas unit oksidasi
- A_b = availabilitas unit oksidasi

Sedangkan *calendar day* adalah waktu yang dibutuhkan sebuah fasilitas industri proses untuk memenuhi *demand* produksi. *Calendar day* adalah waktu yang mengakomodasi berbagai batasan yang dapat menunda, mengganggu, atau memperlambat produksi, contohnya adanya *unscheduled downtime*, seperti permasalahan mekanik dan kerusakan (U.S. Department of Energy, 2014).

3.2 Pengumpulan Data

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai proses pengumpulan data yang dilakukan oleh penulis. Data-data ini kemudian akan menjadi *input* dalam model simulasi. Berikut ini merupakan jenis-jenis data dalam simulasi (Harrel, et al., 2004):

1. Data struktural, data struktural meliputi objek pada sistem yang akan dimodelkan. Data ini meliputi elemen-elemen sistem pada simulasi, seperti entitas (produk, konsumen, dll), *resources* (operator, mesin, dll), dan lokasi (area tunggu, stasiun kerja, gudang, dll). Data struktural menggambarkan tata letak dan konfigurasi pada sistem.
2. Data operasional, data operasional adalah data yang menjelaskan bagaimana sebuah sistem beroperasi. Data operasional terdiri atas informasi dimana, kapan, dan bagaimana sebuah aktivitas dan kejadian

terjadi. Contoh dari data operasional diantaranya adalah rute, jadwal, jadwal *downtime*, dan alokasi *resources*. Apabila pada *real system* sudah terdefinisi data operasional yang jelas, maka informasi operasional akan didapatkan dengan mudah. Sebaliknya, informasi operasional akan tidak mudah didapatkan.

3. Data numerik, data numerik adalah segala data kuantitatif dari sebuah sistem. Contohnya adalah kapasitas, tingkat kedatangan, waktu aktivitas, dan waktu antar *failures*.

Berikut ini merupakan data-data yang diperlukan dalam proses penelitian ini:

Tabel 3.3 Data Penelitian

Data Struktural	Data Operasional	Data Numerik
Jenis Mesin	Alur Proses Produksi	Laju produksi
Aktivitas Produksi	Sistem Keandalan	Waktu antar kegagalan
Lokasi Penyangga	Sistem Inventori	Waktu lamanya perbaikan
		Target produksi
		Jadwal produksi
		S dan s kebijakan inventori
		Kapasitas inventori <i>buffer</i>

Dalam proses pengumpulan data, penulis menggunakan data hasil wawancara dan data sekunder dari data historis PT Petrowidada. Untuk mendapatkan data-data alur proses produksi, jenis produk, dan laju produksi, penulis melakukan wawancara kepada manajer produksi. Data-data target produksi didapatkan dari hasil dokumentasi departemen produksi PT Petrowidada. Data-data jenis mesin, waktu antar kegagalan, dan waktu lamanya perbaikan didapatkan dari *history card* mesin produksi PT Petrowidada. Sedangkan data-data biaya *maintenance* didapatkan dari hasil wawancara dengan manager *maintenance*.

3.3 Pengolahan Data

Pada tahap ini, penulis mengolah data sebelum dilakukan *input* ke dalam model simulasi. Data-data numerik yang bersifat *stokhastik* seperti waktu antar

kegagalan dan waktu lamanya perbaikan dilakukan *fitting* distribusi untuk mencari distribusi yang sesuai dengan data historis dan *behavior* data tersebut.

3.4 Pembuatan Ide Skenario

Pada tahap ini dilakukan pembuatan skenario yang akan diuji pada model simulasi. Hasil skenario ini kemudian akan dibandingkan untuk mengetahui skenario terbaik. Skenario yang akan digunakan pada permasalahan ini di antaranya adalah sebagai berikut:

- Skenario 1: menentukan kapasitas dan *stock* awal *buffer* pada unit yang memiliki keandalan terendah.

Pada sistem eksisting PT Petrowidada telah menyediakan inventori penyangga atau *buffer* pada beberapa unit. Namun, tingkat inventori *buffer* yang tidak optimal dapat menghasilkan *material starvation* dan *blocking* pada waktu terjadinya kegagalan mesin. Melalui penelitian ini, penulis akan melakukan eksperimentasi pada kapasitas *buffer* dan *stock* awal pada inventori penyangga. Penentuan kapasitas dan *stock* awal ini berdasarkan hasil simulasi pada kondisi eksisting.

- Skenario 2: memperbaiki kebijakan inventori *spare part* untuk meminimasi MTTR.

Pada sistem eksisting, PT Petrowidada menerapkan kebijakan inventori periodik (s,S) . Pada kebijakan ini, dilakukan *review* kontinyu untuk mencapai posisi inventori maksimum sebesar S . Pemesanan akan dilakukan apabila posisi inventori kurang dari atau sama dengan s . Penentuan S , dan s yang tidak optimal akan menghasilkan *stock out spare part* dan *overcapacity* pada gudang. Berdasarkan penelitian Hosseini, dkk. dilakukan eksperimen pada parameter-parameter S , dan s berdasarkan pencapaian KPI pada sistem eksisting. Melalui penelitian ini, penulis akan melakukan eksperimen pada parameter-parameter tersebut untuk menghasilkan kebijakan inventori yang optimal.

3.5 Pembuatan Model Konseptual

Pada tahap ini, penulis membuat model konseptual dengan menggunakan *reliability block diagram*. *Reliability block diagram* digunakan untuk menyusun logika seri-paralel kegagalan dalam sistem produksi. Selain itu, untuk membantu penulis dalam memahami sistem produksi dan inventori, disusun *flow diagram*.

3.6 Validasi Model Konseptual

Sebelum menyusun model simulasi, penulis melakukan validasi model konseptual untuk memastikan model yang dibuat sudah merepresentasikan sistem nyata. Pada tahap ini, penulis melakukan validasi model konseptual dengan melakukan wawancara kepada pihak perusahaan yang lebih memahami sistem nyata.

3.7 Model Simulasi

Dengan menggunakan hasil data *fitting* distribusi, penulis melakukan *input* data ke model simulasi. Model simulasi ini disusun berdasarkan model konseptual yang telah disusun pada tahap sebelumnya. Penulis menyusun model simulasi dengan menggunakan metode simulasi diskrit.

3.8 Perhitungan Jumlah Replikasi

Simulasi bersifat *random input*, sehingga *output* yang dihasilkan juga bersifat *random*. Apabila replikasi hanya dilakukan satu kali, maka hasil simulasi kurang cukup merepresentasikan sistem aslinya. Oleh karena itu, perlu dilakukan beberapa kali replikasi agar data yang dihasilkan cukup merepresentasikan sistem aslinya. Untuk menentukan kecukupan jumlah replikasi, ditentukan terlebih dahulu jumlah replikasi awal. Berdasarkan simulasi pada replikasi tersebut, kemudian dilakukan perhitungan *hw*. Berikut ini merupakan persamaan perhitungan *hw* (Siswanto, et al., 2018):

$$hw_s = \frac{(t_{n-1, \frac{\alpha}{2}})s}{\sqrt{n}} \quad (3.3)$$

dimana:

hw_s : *half width* hasil simulasi

$t_{n-1, \alpha/2}$: nilai pada tabel *student t*

s : standar deviasi simulasi

n : jumlah replikasi

Langkah selanjutnya adalah menghitung hw pada sistem eksisting. Berikut ini adalah rumus perhitungan hw pada sistem eksisting (Siswanto, et al., 2018):

$$hw_r = e \times \bar{x} \quad (3.4)$$

dimana:

hw_r : *half width* yang diharapkan

e : derajat *error* yang diharapkan (%)

e : derajat *error* yang diharapkan (%)

\bar{x} : rata-rata data kondisi eksisting

Jumlah replikasi cukup jika memenuhi syarat berikut (Siswanto, et al., 2018):

$$hw_s < hw_r \quad (3.5)$$

dimana:

$hw_r =$ *half width* yang diharapkan

$hw_s =$ *half width* sistem simulasi

3.9 Verifikasi dan Validasi Model Simulasi

Penulis melakukan verifikasi model simulasi untuk memastikan logika model simulasi sudah merepresentasikan model konseptual. Berikut ini merupakan proses verifikasi yang akan dilakukan oleh pemodel:

- Menggunakan fasilitas *debug* pada metode simulasi diskrit.

- Menggunakan animasi untuk menampilkan variabel tertentu dalam sistem simulasi.

Sedangkan validasi dilakukan untuk menguji apakah model sudah merepresentasikan *real system*. Penulis melakukan validasi dengan membandingkan hasil model simulasi terhadap data historis dengan menggunakan metode statistik inferensi. Jika data hasil simulasi tidak memiliki perbedaan yang signifikan terhadap data aktual, maka model simulasi dapat dikatakan valid.

3.10 Eksperimen

Setelah model simulasi sistem eksisting dijalankan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan eksperimen terhadap model simulasi tersebut. Eksperimen model ini dilakukan berdasarkan skenario yang telah ditetapkan oleh penulis.

3.11 Analisis Output

Pada tahap ini penulis melakukan perbandingan antara sistem eksisting dengan sistem skenario hasil eksperimen. Apabila terdapat perbedaan yang signifikan pada hasil skenario dengan sistem eksisting dan hasil skenario lebih baik, maka sistem skenario dapat diterapkan. Pada tahap ini, apabila KPI masih belum mencapai target, penulis juga dapat mengembangkan skenario lainnya untuk mendapatkan hasil eksperimen yang lebih optimal. Setelah ditentukan skenario yang paling optimal, dilakukan analisis sensitivitas untuk mengetahui perubahan keputusan apabila terjadi perubahan pada faktor tertentu.

3.12 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini, penulis akan menyimpulkan hasil penelitian yang telah dilakukan, yaitu dengan memilih skenario yang paling optimal dari hasil eksperimen. Selain itu, penulis juga akan memberikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya maupun objek amatan.

BAB 4

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada Bab 4 akan dijelaskan mengenai hasil pengumpulan dan pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini. Data-data pada penelitian ini merupakan data sekunder yang didapatkan dari dokumentasi perusahaan serta wawancara dengan narasumber. Sedangkan pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan *fitting* distribusi sebagai *input* untuk model simulasi.

4.1 Deskripsi Perusahaan

PT Petrowidada berlokasi di KIG (Kawasan Industri Gresik) yang berlokasi di jalan Prof. Dr. Muhammad Yamin, SH, Kota Gresik, Jawa Timur. PT Petrowidada merupakan salah satu anak perusahaan PT Petrokimia Gresik (Persero) dan PT Royal Chemie Indonesia. PT Petrowidada merupakan sebuah perusahaan yang bergerak di industri kimia dan merupakan satu-satunya perusahaan manufaktur di Indonesia yang memproduksi Pythalic Anhydride. Pythalic Anhydride (PA) merupakan bahan baku kimia untuk industri plastik dan cat. Bahan baku dari PA terdiri atas Ortho Xylene (OX) dan oksigen yang diambil dari udara bebas. Untuk menghasilkan produk PA, dilakukan proses oksidasi parsial dari bahan baku Ortho Xylene dan oksigen.

Plant 1 atau PA 1 PT Petrowidada berdiri sejak tahun 1988 dan dikomersialkan pada tahun 1989 dengan kapasitas produksi 30.000 MTPY. Kemudian pada tahun 1996 dibangun Plant 2 atau PA 2 dengan kapasitas produksi 40.000 MTPY. Kemudian dilakukan perluasan pabrik pada tahun 2001, sehingga dibangun Plant 3 atau PA 3 dengan kapasitas produksi 70.000 MTPY.

Pada tahun 2004 terjadi kebakaran dan mengakibatkan terbakarnya PA1 dan PA2, sehingga kini yang masih beroperasi PA 3. Dalam rangka ekspansi perkebunan dan bioenergi, dilakukan penjualan saham seluruhnya pada tahun 2009 dari PT Petrokimia Gresik (Persero) ke PT Royal Chemie Indonesia. Sehingga sejak tahun 2009 PT Royal Chemie Indonesia ditetapkan sebagai *holding company* yang

terdiri atas PT Petrowidada, PT Eterindo Nusa Graha, dan PT Eternal Buana Chemical.

4.2 Pengumpulan Data

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai hasil pengumpulan data operasional, struktural, dan numerik yang akan digunakan dalam melakukan pemodelan simulasi.

4.2.1 Data Struktural

Data struktural adalah data-data yang meliputi objek pada sistem yang dimodelkan. Data ini meliputi elemen-elemen sistem dalam simulasi (Harrel, et al., 2004). Berikut ini merupakan data-data struktural yang digunakan oleh penulis dalam memodelkan simulasi.

4.2.1.1 Mesin dan Peralatan

Terdapat peralatan sejumlah 31 yang akan dimodelkan oleh penulis. Pada unit oksidasi terdapat 14 peralatan, unit sublimasi terdapat 7 peralatan, unit distilasi terdapat 5 peralatan, dan unit *bagging* terdapat 4 peralatan.

4.2.1.2 Spare part

Pada bagian ini akan ditampilkan daftar nama *spare part*, kode *spare part*, dan kebutuhan jumlah *spare part* yang digunakan untuk melakukan aktivitas perbaikan pada setiap unit. Terdapat 51 *spare part* yang dibutuhkan dalam aktivitas perbaikan pada unit oksidasi berdasarkan mesin. Selain itu juga terdapat jumlah kebutuhan *spare part*. Terdapat 29 *spare part* yang dibutuhkan dalam aktivitas perbaikan pada unit sublimasi berdasarkan mesin. Terdapat 59 *spare part* yang dibutuhkan dalam aktivitas perbaikan pada unit distilasi berdasarkan mesin. Selain itu juga terdapat jumlah kebutuhan *spare part*. Terdapat 16 *spare part* yang dibutuhkan dalam aktivitas perbaikan pada unit *bagging* berdasarkan mesin. Selain itu juga terdapat jumlah kebutuhan *spare part*.

4.2.1.3 *Penyangga*

Berikut ini merupakan daftar inventori penyangga yang berupa tangki beserta lokasinya. Terdapat dua inventori penyangga yang berada di setelah unit sublimasi dan setelah unit distilasi.

4.2.2 Data Operasional

Data operasional adalah data yang menjelaskan bagaimana sistem beroperasi (Harrel, et al., 2004). Data operasional pada sistem ini adalah jam operasional produksi, tahapan proses produksi, serta aturan terjadinya kerusakan dalam proses produksi. Jam operasional pabrik PT Petrowidada adalah 24 jam. Pabrik akan mengalami *shutdown* apabila tidak terdapat *demand* produksi dan terjadi kerusakan pada keseluruhan pabrik.

4.2.3 Data Numerik

Data numerik adalah segala data kuantitatif dari sistem (Harrel, et al., 2004). Data numerik yang dibutuhkan adalah jumlah PA yang harus diproduksi, data laju produksi setiap unit, data kapasitas inventori penyangga, serta data kebijakan inventori kondisi eksisting.

4.3 **Pengolahan Data**

Berdasarkan hasil pengumpulan data yang dilakukan pada tahap sebelumnya, selanjutnya dilakukan pengolahan data berupa hasil *fitting* serta perhitungan probabilitas kejadian. Hasil pengolahan data ini akan digunakan sebagai *input* dalam model simulasi.

4.3.1 *Fitting Distribusi Waktu Antar Kegagalan dan Perbaikan*

Berdasarkan data *history card*, dilakukan pengolahan data dengan melakukan *fitting* distribusi untuk mengetahui perilaku acak dari sistem eksisting.

Penulis menggunakan distribusi Weibull untuk waktu antar kerusakan atau MTTF. Salah satu distribusi yang dapat memodelkan waktu antar kerusakan adalah

distribusi weibull (Siswanto, et al., 2018). Untuk memodelkan waktu perbaikan, penulis menggunakan distribusi erlang. Distribusi erlang adalah salah satu distribusi yang dapat digunakan untuk memodelkan waktu perbaikan (Siswanto, et al., 2018).

4.3.2 Seleksi *Spare part*

Dalam melakukan pemodelan simulasi, penulis tidak mempertimbangkan seluruh jenis *spare part* namun hanya *spare part* yang berhubungan dengan unit yang bersifat kritis. Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak perusahaan, unit yang kritis adalah unit oksidasi, hal ini disebabkan karena terjadinya proses reaksi yang dilakukan dengan suhu yang sangat tinggi, selain itu tingkat penggunaannya juga sangat tinggi. Hal ini mengakibatkan tingkat kerusakan pada unit oksidasi menjadi lebih tinggi. Selain itu, pabrik PA tidak dapat berjalan apabila unit oksidasi mengalami *shutdown* karena pada unit selanjutnya tidak ada material untuk diolah.

Penulis melakukan analisis statistik deskriptif menggunakan *pareto diagram* untuk menentukan *spare part* yang kritis pada unit oksidasi. Gambar 4.11 menunjukkan hasil analisis statistik menggunakan *pareto diagram* pada *software Minitab*. Sumbu Y merepresentasikan kebutuhan jumlah *spare part*, sedangkan sumbu X merepresentasikan jenis *spare part*.

Setelah dilakukan seleksi menggunakan *pareto diagram*, dihasilkan daftar *spare part* yang akan disimulasikan. Terdapat beberapa *spare part* yang juga dibutuhkan oleh unit yang lain, oleh karena itu, penulis juga memodelkan *spare part* pada unit lain yang beririsan dengan *spare part* oksidasi.

4.3.3 Probabilitas Kebutuhan *Spare part*

Pada *history card* juga disertai kebutuhan *spare part* pada setiap kerusakan.

4.3.4 Data Waktu Proses Pengiriman *Spare part*

Data durasi pengiriman *spare part* didapatkan dari hasil wawancara kepada Departemen Gudang *Spare part* PT Petrowidada. Berdasarkan hasil wawancara,

didapatkan durasi pengiriman minimal 1 hari, rata-rata 7 hari, dan maksimal 10 hari kerja. Sehingga dapat digunakan distribusi triangular $TRIA(1,7,10)$.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

PERANCANGAN MODEL SIMULASI

Pada Bab 5 akan dijelaskan mengenai proses pemodelan yang dilakukan oleh penulis. Penulis melakukan pemodelan konseptual dan simulasi. Model yang dibangun terdiri atas beberapa submodel, yaitu submodel kegagalan atau *failure*, submodel inventori *spare part*, submodel produksi, dan submodel inventori penyangga.

5.1 Verifikasi

Menurut Harrel et. Al (2004), tujuan melakukan verifikasi adalah untuk menghindari terjadinya error pada model simulasi. Adapun terdapat dua jenis error, yaitu *semantic error* dan *syntax error*. *Syntax error* adalah kesalahan penulisan kode atau notasi sehingga model tidak dapat berjalan. Sedangkan *semantic error* adalah kesalahan logika model sehingga tidak sesuai dengan model konseptual (PT Petrowidada Gresik, 2018).

5.1.1 Verifikasi Syntax Error

Dalam melakukan verifikasi *syntax error*, penulis menggunakan fasilitas *debug* pada metode simulasi diskrit. Dari hasil penggunaan *debug* tidak terdapat *syntax error* atau kesalahan penulisan kode atau notasi pada model simulasi.

5.1.2 Verifikasi Semantic Error

Penulis menggunakan beberapa cara untuk melakukan verifikasi *semantic error*, diantaranya adalah sebagai berikut:

5.1.2.1 Animasi

Penulis menggunakan animasi untuk memastikan logika model sudah sesuai dengan model konseptual. Animasi yang dimaksud adalah menampilkan variabel dan grafik. Animasi ini diterapkan pada seluruh subsistem.

Variabel yang ditampilkan pada subsistem kegagalan adalah status subsistem, posisi inventori *spare part*, dan posisi inventori *spare part* yang sedang

dikirim. Status subsistem digunakan untuk memastikan logika rangkaian seri dan paralel komponen berjalan sesuai model konseptual. Tampilan variabel posisi inventori *spare part* digunakan untuk mengevaluasi logika ketersediaan *spare part*. Apabila posisi inventori *spare part* kurang dari jumlah *spare part* yang dibutuhkan, maka proses perbaikan tidak dapat dilakukan, material harus menunggu hingga *spare part* tersedia. Sedangkan grafik berfungsi untuk menampilkan logika rangkaian seri paralel komponen.

Variabel yang ditampilkan pada subsistem inventori *spare part* adalah status ketersediaan inventori, posisi inventori, posisi inventori dalam pengiriman, serta nilai s dan S . Apabila posisi inventori *spare part* kurang dari nilai s , maka nilai posisi inventori dalam pengiriman akan berganti menjadi Q . Apabila pada saat terjadi kegagalan dan *spare part* tidak tersedia, status ketersediaan *spare part* akan berubah menjadi nol.

Variabel yang ditampilkan pada subsistem produksi digunakan untuk menguji logika waktu produksi dan perbaikan pada setiap unit. Apabila kegagalan terjadi pada rentang proses produksi, maka waktu material di dalam sistem ditambahkan dengan waktu proses *repair*. Jika tidak, maka material akan langsung diproses ke tahap selanjutnya.

Variabel yang ditampilkan dalam submodel inventori penyangga digunakan untuk memastikan bahwa jumlah antrian pada *blocking* tidak melebihi kapasitas produksi dan jumlah antrian pada inventori penyangga tidak melebihi kapasitas inventori penyangga.

5.2 Penentuan Jumlah Replikasi

Dalam model simulasi, terdapat perilaku acak pada *input* dan *output* model, sehingga satu replikasi tidak akan cukup merepresentasikan kondisi sistem. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan jumlah replikasi untuk memastikan apakah jumlah replikasi model simulasi sudah cukup.

Dalam proses penentuan jumlah replikasi, penulis menggunakan parameter *calendar day*. *Calendar day* adalah waktu operasional pabrik untuk memenuhi *demand* produksi dalam setiap bulan atau tahun. Parameter ini digunakan karena sudah dapat merepresentasikan seluruh sistem, baik sistem produksi, ketersediaan

spare part, serta inventori penyangga. Untuk menentukan jumlah replikasi, penulis menentukan terlebih dahulu jumlah replikasi sebagai hipotesis awal kecukupan jumlah replikasi. Penulis menentukan replikasi awal sejumlah 10. Berikut ini merupakan hasil parameter *calendar day* dalam 10 replikasi.

Tabel 5.1 Hasil Parameter *Calendar day/ Tahun* (Jam)

Replikasi	<i>Calendar day/ Tahun</i> (Jam) Simulasi	<i>Calendar day/ Tahun</i> (Jam) Eksisting
1	1	6699,80
2	2	
3	3	
4	4	
5	5	
6	6	
7	7	
8	8	
9	9	
10	10	
Rata-rata	Rata-rata	6699,80
Standar Deviasi	Standar Deviasi	0

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai *hw* berdasarkan hasil *running* simulasi. Berdasarkan hasil simulasi, nilai *hw* hasil simulasi sebesar 126,71.

5.3 Validasi

Proses validasi berfungsi untuk memastikan apakah model simulasi telah merepresentasikan sistem eksisting. Karena setiap sampel bersifat independen, maka penulis menggunakan metode statistik uji hipotesis *Student's t* untuk membandingkan rata-rata populasi sistem eksisting dan sistem simulasi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 6

EKSPERIMENTASI DAN HASIL

Pada Bab 6 akan dijelaskan mengenai hasil eksperimen dan analisis berdasarkan ide skenario yang telah ditentukan oleh penulis.

6.1 Kondisi Eksisting

Pada kondisi eksisting, pabrik PA menggunakan sistem S, s pada kebijakan inventori *spare part*. Pemesanan *spare part* akan dilakukan apabila *stock spare part* dalam gudang kurang dari s dengan jumlah pemesanan hingga S terpenuhi. Terdapat dua inventori penyangga pada pabrik ini, yaitu pada unit sublimasi dan unit distilasi. Unit sublimasi berkapasitas 300 ton, sedangkan unit distilasi berkapasitas 1600 ton. Pabrik PA adalah pabrik industri proses yang bekerja selama 24 jam. Sehingga apabila terjadi *downtime*, maka kapasitas produksi akan berkurang. *Downtime* pabrik dapat diatasi dengan kebijakan *spare part* yang optimal dan penentuan kapasitas inventori penyangga untuk menghindari terjadinya *blocking* dan *starving*.

6.2 Analisis

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai analisis model simulasi berdasarkan skenario yang telah dilakukan. Analisis yang akan dilakukan adalah analisis kondisi eksisting, analisis perubahan kebijakan inventori *spare part*, analisis penentuan *stock* awal pada inventori penyangga, serta analisis skenario terpilih.

6.2.1 Analisis Kondisi Eksisting

Perusahaan menerapkan kebijakan inventori *spare part* dengan melakukan pemesanan *spare part* apabila di bawah ROP. *Review* inventori *spare part* ini dilakukan secara kontinyu. Selain itu, juga terdapat inventori penyangga pada antar unit. Inventori penyangga ini berfungsi untuk mengatasi terjadinya *down time* pada saat proses produksi.

Menurut perusahaan, unit oksidasi merupakan unit yang paling kritis dalam proses produksi. Hal ini dapat dibuktikan dari availabilitas produksi pada unit oksidasi yang paling rendah. Karena seluruh rangkaian keandalan unit bersifat seri, rendahnya availabilitas unit oksidasi dapat menghasilkan dampak yang cukup besar pada sistem produksi. Availabilitas produksi ini dapat disebabkan karena adanya *down time* produksi yang sering terjadi pada unit oksidasi atau waktu perbaikan yang lama.

Berdasarkan hasil plotting grafik *spare part* pada kondisi eksisting, terdapat beberapa *spare part* yang dipesan sebelum mencapai batas ROP. Pemesanan ini dilakukan karena *spare part* yang tidak tersedia pada saat terjadinya *downtime*. Beberapa di antaranya adalah *spare part* 001124.5 dan 001265.8. Kedua *spare part* ini merupakan *spare part* yang frekuensi penggunaannya tinggi, sehingga apabila nilai ROP dan target *spare part* tidak optimal, maka proses perbaikan dapat berlangsung lebih lama karena adanya pemesanan dan pengiriman. Selain itu, juga terdapat *stock spare part* 003003.4 yang mencapai nol. *Stockout spare part* ini dapat menghasilkan risiko yang sangat tinggi terhadap waktu perbaikan. Apabila terjadi kerusakan pada saat *stockout*, maka tidak dapat dilakukan perbaikan pada komponen yang rusak.

Terdapat dua inventori penyangga pada sistem produksi, yaitu pada unit sublimasi dan distilasi untuk mengatasi permasalahan *down time* produksi. Inventori penyangga pada unit sublimasi ini berfungsi untuk mengatasi terjadinya *starving* pada unit distilasi apabila unit sublimasi mengalami *down time*. Sedangkan inventori penyangga distilasi berfungsi untuk menghindari terjadinya *starving* pada unit *bagging* apabila terjadi *down time* pada unit distilasi. Penentuan kapasitas inventori ini harus optimal agar tidak terjadi *blocking*. *Blocking* pada unit sublimasi dapat terjadi apabila inventori penyangga sublimasi penuh, sehingga unit sublimasi tidak dapat melepas entitas yang sedang diproses. Sedangkan *blocking* pada unit distilasi dapat terjadi apabila inventori penyangga distilasi penuh. Berdasarkan Tabel 6.6 dan Tabel 6.7, tidak pernah terjadi *blocking* pada unit distilasi, namun terjadi *blocking* pada unit sublimasi. Sehingga menurut penulis, kapasitas inventori sudah mencukupi kebutuhan produksi. Rendahnya probabilitas terjadinya *blocking* pada saat produksi memungkinkan untuk diadakannya *stock* awal pada inventori

penyangga pada unit sublimasi dan distilasi. Sehingga dilakukan eksperimentasi pada *stock* awal pada setiap inventori penyangga.

Berdasarkan hasil *running* simulasi, dihasilkan rata-rata availabilitas produksi sebesar 0,8843 dan *calendar day* sebesar 6716,7. Availabilitas adalah salah satu faktor kritis dalam industri proses, oleh karena itu, standar availabilitas yang diharapkan perusahaan adalah di atas 0,90. Terjadinya *down time* dapat mengakibatkan risiko kerusakan pada material yang sedang diproses dan keterlambatan produksi. Selain itu, faktor keamanan juga menjadi salah satu pertimbangan untuk menjaga availabilitas produksi. Proses perbaikan pada industri proses adalah salah satu aktivitas yang tingkat keamanannya cukup rendah. Rendahnya availabilitas produksi ini juga disertai dengan lamanya *calendar day*. *Calendar day* yang dihasilkan masih melebihi target, yaitu 23 hari pada setiap bulannya. Keterlambatan dalam pengiriman produk pada konsumen dapat terjadi karena adanya *disruption* pada proses pengiriman melalui jalur laut maupun darat, sehingga perlu dilakukan proses produksi yang efisien untuk mengantisipasi keterlambatan pengiriman. Perusahaan mengharapkan target rata-rata *calendar day* selama 20 hari dalam satu bulan.

6.2.2 Analisis Skenario Perubahan Kebijakan Inventori *Spare part*

Skenario perubahan kebijakan inventori *spare part* dilakukan karena availabilitas *spare part* yang kurang, sehingga dapat mengakibatkan tingginya *calendar day* dan rendahnya availabilitas. Availabilitas *spare part* yang diharapkan adalah 1, sehingga kapanpun *spare part* dibutuhkan, dapat langsung dilakukan perbaikan pada subsistem tertentu. Berdasarkan hasil *running* simulasi, terdapat dua *spare part* yang perlu dianalisis lebih lanjut karena kebutuhannya yang sangat tinggi, yaitu *spare part* 001125.4 dan 001265.8. Selain itu juga terdapat salah satu *spare part* dengan *stock* yang sering mencapai nol, yaitu 004881.1.

Dalam menentukan kebijakan inventori *spare part*, diterapkan konsep maksimum availabilitas dengan mempertimbangkan grafik inventori *spare part*. Berdasarkan Gambar 6.1, pemesanan di atas ROP dilakukan pada saat *stock* inventori sejumlah 5, oleh karena itu penulis menetapkan nilai ROP di atas 5 agar availabilitas tinggi. Penulis mempertimbangkan kapasitas gudang *spare part* dalam

menentukan nilai maksimum pada inventori *spare part*. Penentuan kebijakan ini juga diterapkan pada dua *spare part* yang lain. Penentuan kebijakan *spare part* ini dilakukan dengan mengasumsikan tidak adanya batasan biaya inventori, sehingga penulis hanya mempertimbangkan maksimasi availabilitas *spare part*.

Berdasarkan hasil *running* simulasi, tidak dihasilkan perbedaan yang signifikan pada perubahan salah satu *spare part*. Hal ini disebabkan karena adanya perilaku acak kerusakan yang terjadi pada subsistem yang lain. Perbedaan yang cukup besar terjadi pada hasil perubahan kebijakan inventori *spare part* 001265.8 dan 004881.1. Hal ini dapat disebabkan karena frekuensi dan kebutuhan *spare part* ini yang cukup tinggi. Sedangkan pada inventori *spare part* 001125.4 tidak menghasilkan perbedaan yang cukup besar. Meskipun frekuensi kebutuhan *spare part* 001125.4 sangat tinggi, namun jumlah yang dibutuhkan pada setiap kerusakan tidak banyak. Sehingga peningkatan availabilitas *spare part* tidak menghasilkan peningkatan availabilitas produksi yang signifikan. Untuk menghasilkan dampak yang signifikan, penulis mencoba untuk mengombinasikan perbaikan kebijakan inventori pada ketiga *spare part*. Setelah mengombinasikan ketiga perubahan kebijakan *spare part* tersebut, dihasilkan perubahan yang cukup signifikan. *Calendar day* yang awalnya 6717,2, berkurang menjadi 6520,7 atau lebih cepat 8,15 hari. Selain itu, availabilitas produksi bertambah menjadi 0,9184. Availabilitas ini meningkat sebesar 0,035. Berdasarkan uji statistik, perubahan ini menghasilkan dampak yang signifikan terhadap availabilitas dan *calendar day*.

6.2.3 Analisis Penentuan *Stock* Awal pada Inventori Penyangga

Adanya *stock* awal pada inventori penyangga dapat meminimumkan *calendar day*, namun juga terdapat risiko terjadinya *blocking* pada unit produksi. Akan tetapi, apabila dilihat dari hasil simulasi kondisi eksisting berdasarkan Tabel 6.6, probabilitas terjadinya *blocking* sangat rendah, hal ini disebabkan karena kapasitas inventori penyangga telah mencukupi kebutuhan produksi.

Jumlah *stock* awal ini ditentukan dengan bertahap. Eksperimen *stock* awal ditentukan sejumlah setengah dari kapasitas penuh dan sejumlah kapasitas. Berdasarkan eksperimen ini dapat dianalisis *stock* penyangga dengan probabilitas terjadinya *starving* dan *blocking* yang lebih besar. *Blocking* dan *starving* di awal

periode dapat terjadi karena adanya *stock* pada inventori penyangga. Apabila unit distilasi mengalami *shut down* dan kapasitas inventori penyangga telah penuh, maka terjadi *blocking* pada unit sublimasi. Sedangkan apabila terjadi *shut down* pada unit sublimasi, maka *stock* pada inventori penyangga sublimasi akan berkurang dan dapat terjadi *starving* pada unit distilasi. Penentuan *stock* awal pada inventori penyangga tidak akan menghasilkan dampak pada availabilitas, karena tidak mengubah waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan yang terjadi pada kondisi eksisting.

Berdasarkan hasil eksperimentasi, dapat dihasilkan *calendar day* yang berkurang cukup banyak namun tidak signifikan. Hingga eksperimentasi pada kedua inventori penyangga dengan kapasitas penuh, *calendar day* pada kondisi eksisting yang semula selama 6716,7 menjadi 6585. Perubahan ini tidak terjadi dengan signifikan karena *calendar day* yang dipengaruhi hanya pada awal periode, yaitu pada Bulan Januari. Sehingga *calendar day* pada bulan selanjutnya tidak berdampak signifikan. Untuk mendapatkan hasil yang signifikan, dilakukan kombinasi skenario dengan kebijakan inventori *spare part*. Berdasarkan eksperimentasi pada skenario 14, dihasilkan *calendar days* selama 6484. *Calendar days* ini berkurang selama 232,7 jam yang berarti 9,69 hari. Berdasarkan uji hipotesis *student t*, skenario ini menghasilkan perbedaan yang signifikan pada *calendar day*.

6.2.4 Analisis Skenario Terpilih

Berdasarkan hasil eksperimentasi pada skenario yang ada, dilakukan analisis untuk menentukan skenario yang paling optimal.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, maka ditetapkan skenario 14 sebagai skenario terpilih. Skenario ini dipilih karena menghasilkan perubahan *calendar day* yang lebih signifikan dibandingkan dengan skenario 7. Selain itu, tidak dilakukan pertimbangan biaya dalam penelitian ini. *Calendar day* yang optimal tentu akan menguntungkan perusahaan. Produk akan tiba ke konsumen tepat waktu sehingga *customer service level* akan meningkat. Berdasarkan skenario 14, *calendar day* yang dihasilkan adalah 6483,9 jam atau rata-rata 22,5 hari pada setiap bulannya. Hasil eksperimen ini tidak dapat mencapai target *calendar day* yang telah

ditetapkan perusahaan. Namun, availabilitas yang dihasilkan sudah mencapai target, yaitu 0,9. Sebagai rekomendasi selanjutnya, dapat dilakukan perbaikan terhadap *preventive maintenance* pada peralatan produksi agar dapat mencapai target *calendar day* dan availabilitas.

6.3 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan untuk memprediksi seberapa *robust* sistem yang telah disimulasikan terhadap perubahan variabel yang tidak dapat dikendalikan. Pada penelitian ini, dilakukan analisis sensitivitas terhadap perubahan *delay shipping* pada *spare part* dan *stock awal spare part* pada skenario terpilih berdasarkan eksperimentasi.

6.3.1 Analisis Sensitivitas Durasi Pemesanan dan Pengiriman *Spare Part*

Pada analisis sensitivitas ini, dilakukan perubahan durasi pemesanan dan pengiriman *spare part*. Pada kondisi eksisting, durasi pemesanan dan pengiriman *spare part* berdistribusi triangular dengan parameter nilai minimum 1 hari, *most likely* 7 hari, dan maksimum 10 hari.

6.3.2 Analisis Sensitivitas *Stock Awal Spare Part*

Pada proses eksperimentasi, *stock awal spare part* diasumsikan setengah dari kapasitas.

BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab 7 akan dijelaskan kesimpulan yang dapat diambil dan saran yang dapat diberikan.

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan kondisi eksisting pada PT Petrowidada, availabilitas produksi pada PT Petrowidada adalah sebesar 88,43%. Sedangkan *calendar day* pada PT Petrowidada adalah 6716,7 atau 23 hari pada setiap bulan. Kedua indikator performansi ini masih belum mencapai target, yaitu 90% untuk availabilitas, dan 20 hari pada setiap bulan.
2. Berdasarkan hasil simulasi, dapat diketahui bahwa unit yang memiliki availabilitas terendah adalah unit oksidasi. Hal ini dapat dibuktikan dari rata-rata availabilitas oksidasi yang hanya 90,25%, sedangkan pada unit sublimasi sebesar 98,90%, distilasi 99,61%, dan *bagging* sebesar 99,47%. Oleh karena itu, rendahnya availabilitas unit oksidasi ini menjadi salah satu penyebab rendahnya availabilitas produksi.
3. Berdasarkan analisis sensitivitas, *performance* akan lebih rendah dari kondisi eksisting apabila *lead time* pengiriman *spare part* meningkat dua kali lipat. Sehingga dapat disimpulkan bahawa availabilitas dan *calendar day* sensitif terhadap perubahan *lead time*. Apabila *stock* awal *spare part* berubah, maka *performance* tidak akan kurang dari kondisi eksisting. Sehingga dapat disimpulkan bahwa availabilitas dan *calendar day* tidak sensitif terhadap *stock* awal *spare part*. Availabilitas dan *calendar day* akan berubah dengan perubahan *stock* awal *spare part*, namun tidak berhubungan linear.

7.2 Saran

Berikut ini merupakan saran atau rekomendasi yang dapat diberikan:

1. Melakukan penelitian lebih lanjut untuk menganalisis kelayakan finansial pada skenario terpilih.
2. Melakukan penelitian mengenai *preventive maintenance* pada pabrik PT Petrowidada untuk menghasilkan perubahan availabilitas dan *calendar day* yang signifikan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Alrabghi, A., Tiwari, A. & Alabdulkarim, A., 2013. Simulation Based Optimization of Joint Maintenance and Inventory for Multi-components Manufacturing Systems. *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*.
- Alrabghi, A., Tiwari, A. & Savill, M., 2017. Simulation-based Optimisation of Maintenance System: Industrial Case Studies. *Journal of Manufacturing Systems*, Issue 44, pp. 191-206.
- Altiok, T. & Melamed, B., 2007. *Simulation Modeling and Analysis with Arena*. New Jersey: Elsevier.
- Arthama, I. R., 2006. Disertasi. *Perhitungan Plant Reliability dan Pengendalian Risiko di Pabrik Phonska PT. Petrokimia Gresik*.
- Budiman, R. N. T., 2006. Tugas Akhir. *Analisis Plant Reliability pada Unit Pembuatan Urea dengan Pendekatan Simulasi*.
- Corvaro, F., Gianchetta, G., Machetti, B. & Recanati, M., 2017. Reliability, Availability, Maintainability (RAM) study, on Reciprocating Compressors API 618. *Petroleum*, Issue 3, pp. 266-272.
- Elsayed, E. A., 2012. *Reliability Engineering*. 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc..
- Faulin, J., Juan, A. A. & Martorell, S., 2010. *Simulation Methods for Reliability and Availability of Complex Systems*. s.l.:Springer Science & Business Media.
- Groover, M. P., 2002. *Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing*. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall.
- Harrel, C., Gosh, B. K. & Bowden, R. O., 2004. *Simulation Using Promodel*. 2nd ed. California: Mc. Graw Hill.
- Hosseini, F. Z., Scarf, P. & Syntetos, A., 2017. Joint Optimisation of Inspection Maintenance and Spare parts Provisioning: A Comparative Study of Inventory Policies Using Simulation and Survey Data. *Reliability Engineering and System Safety*, Volume 168, pp. 306-316.

- Kelton, W. D., Sadowski, P. R. & Sadowski, D. A., 2002. *Simulation with ARENA*. 2nd ed. s.l.:McGraw-Hill.
- Kementerian Perindustrian Indonesia, 2015. *Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional 2015 - 2035*, Jakarta: Pusat Komunikasi Publik Kementerian Perindustrian Indonesia.
- Kementerian Perindustrian Indonesia, 2017. *Laporan Ekspor Impor Industri Pengolahan Bulan Januari 2017*, Jakarta: Kementerian Perindustrian Indonesia.
- Macchi, M. et al., 2012. Introducing Buffer Inventories in the RBD Analysis of Process Production Systems. *Reliability Engineering and System Safety*, Issue 104, pp. 84-95.
- PT Petrowidada Gresik, 2018. *Dokumentasi Perusahaan*, Gresik: PT Petrowidada.
- Rao, M. S. & Naikan, V. N. A., 2016. Review of Simulation Approaches in Reliability and Availability Modeling. *International Journal of Performability Engineering*, 12(4), pp. 369-388.
- Sabouhi, H., Abbaspour, A. & Firuzabad, M. F., 2016. Reliability Modeling and Availability Analysis of Combined Cycle Power. *Electrical Power and Energy Systems*, Issue 79, pp. 108-119.
- Shaikh, A. & Mettas, A., 2010. Application of Reliability, Availability, and Maintainability Simulation to Process Industries: a Case Studies. *International Journal of Performability Engineering*, 12(4), pp. 369-388.
- Sharda, B. & Bury, S. J., 2008. A Discrete Event Simulation Model For Reliability Modeling of A Chemical Plant. *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*.
- Siswanto, N., Latiffianti, E. & Wiratno, S. E., 2018. *Simulasi Sistem Diskrit (Implementasi dengan Software ARENA)*. 1st ed. Surabaya: ITS Tekno Sains.
- U.S. Department of Energy, 2014. *Definitions, Sources and Explanatory Notes of Petroleum & Other Liquids's Refinery Utilization and Capacity*. [Online] Available at: https://www.eia.gov/dnav/pet/TblDefs/pet_pnp_unc_tbldef2.asp [Accessed 3 July 2018].

- Wilkins, D. J., 2018. *The Bathtub Curve and Product Failure Behavior*. [Online]
Available at: <http://www.weibull.com/hotwire/issue21/hottopics21.htm>
[Accessed 7 Mei 2018].
- Zio, E., 2013. *The Monte Carlo Simulation Method for System Reliability and Risk Analysis*. London: Springer.

BIOGRAFI PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Nabila Yuraisyah Salsabila atau biasa dipanggil Nabila. Penulis lahir di Kota Malang, 19 Juli 1996. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh jenjang pendidikan sekolah dasar di SDN Kauman 1 Malang, sekolah menengah pertama di SMPN 5 Malang, dan sekolah menengah atas di SMAN 3 Malang. Setelah menempuh jenjang pendidikan sekolah, penulis menempuh pendidikan perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan program studi S1 Departemen Teknik Industri. Selain aktif dalam kegiatan akademik, penulis juga aktif dalam kegiatan non akademik. Penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Industri ITS (HMTI ITS), diantaranya adalah sebagai Staf Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) HMTI ITS 2015/2016, Sekretaris 1 Badan Pengurus Harian (BPH) HMTI ITS 2016/2017, dan Senat Mahasiswa Teknik Industri (SMTI) ITS 2017/2018. Selain aktif dalam organisasi himpunan, penulis juga bergabung dalam Asisten Laboratorium Pemodelan Kuantitatif dan Analisis Kebijakan Industri 2017/2018. Penulis juga aktif dalam kegiatan pelatihan baik sebagai peserta maupun sebagai pembicara. Penulis pernah diundang menjadi pembicara dalam kegiatan Orientasi Keprofesional dan Kompetensi Berbasis Kurikulum (OKKBK) 2017 dan *trainer* dalam pelatihan *The MATLAB Training* 2017. Adapun beberapa prestasi penulis yang pernah diraih, yaitu sebagai finalis dalam lomba CONSTRAIN 2017 Universitas Hassanudin Makassar dan juara ketiga dalam lomba INCREASE 2018 Universitas Telkom Bandung. Untuk memenuhi persyaratan program sarjana, penulis pernah melaksanakan Kerja Praktik di PT Telekomunikasi Indonesia Divisi *Service Solution*, Jakarta. Untuk informasi lebih lanjut mengenai penelitian ini, penulis dapat dihubungi melalui email yuraisyahnabila@yahoo.co.id. Demikian dan terima kasih.