



TESIS - TI 185471

**MANAJEMEN PERSEDIAAN SUKU CADANG PADA
PERUSAHAAN SEMEN DI INDONESIA DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN KOMPLEKSITAS
KEPENTINGAN ANTARA PEMELIHARAAN,
PENGADAAN BARANG DAN PERSEDIAAN**

**BAYU PRATAMA PUTRA
02411850077005**

**Dosen Pembimbing :
Niniet Indah Arvitrida, ST., MT., Ph.D
Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D**

**Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020**



TESIS - TI 185471

**MANAJEMEN PERSEDIAAN SUKU CADANG PADA
PERUSAHAAN SEMEN DI INDONESIA DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN KOMPLEKSITAS
KEPENTINGAN ANTARA PEMELIHARAAN,
PENGADAAN BARANG DAN PERSEDIAAN**

**BAYU PRATAMA PUTRA
02411850077005**

**Dosen Pembimbing:
Niniet Indah Arvitrida, ST., MT., Ph. D
Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph. D**

**Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020**



THESIS - TI 185471

**SPARE PARTS INVENTORY MANAGEMENT IN
INDONESIAN CEMENT COMPANY BY
CONSIDERING COMPLEXITY OF INTEREST
BETWEEN MAINTENANCE, PROCUREMENT OF
GOODS AND INVENTORY**

**BAYU PRATAMA PUTRA
02411850077005**

Supervisor:
Niniet Indah Arvitrida, ST., MT., Ph. D
Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph. D

**Departement of Industrial and Systems Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar:

Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BAYU PRATAMA PUTRA

NRP: 02411850077005

Tanggal ujian: 5 Agustus 2020

Periode Wisuda: September 2020

Disetujui oleh:

Pembimbing:

1. Niniet Indah Arvitrida, ST., MT., Ph. D

NIP: 198407062009122007

2. Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph. D

NIP: 196901071994121001

Penguji:

1. Prof. Ir. Suparno, MSIE., Ph. D

NIP: 1948201931099

2. Nani Kurniati, ST., MT., Ph. D

NIP: 197504081998022001

Kepala Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem



Nuradhi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D

NIP: 197005231996011001

Halaman ini sengaja dikosongkan

**MANAJEMEN PERSEDIAAN SUKU CADANG PADA PERUSAHAAN
SEMEN DI INDONESIA DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
KOMPLEKSITAS KEPENTINGAN ANTARA PEMELIHARAAN,
PENGADAAN BARANG DAN PERSEDIAAN**

Nama : Bayu Pratama Putra
NRP : 02411850077005
Pembimbing : Niniet Indah Arvitrida, ST., MT., Ph. D
Ko-Pembimbing : Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph. D

ABSTRAK

Dalam proses manajemen suku cadang di perusahaan semen di Indonesia yang melibatkan lima unit kerja (pengguna, perencanaan suku cadang, perencanaan pemeliharaan, pengadaan barang dan pengelolaan persediaan) terdapat *gap* keputusan yang menimbulkan konflik terhadap pemeliharaan dan ketersediaan suku cadang. Sehingga berpeluang bagi penelitian dalam memberikan salah satu solusi yang bisa digunakan oleh perusahaan. Peneliti mengusulkan tiga langkah yaitu pertama mengklasifikasikan suku cadang menjadi empat kategori dengan mempertimbangkan perspektif pemeliharaan dan logistik. Kemudian langkah kedua menghitung kebutuhan persediaan dengan metode (R,s,S) yang diperoleh dari data permintaan pengguna dalam pembelian suku cadang. Langkah ketiga adalah menguji sensitifitas metode (R,s,S) pada perusahaan yang memiliki kompleksitas konflik kepentingan salah satunya dengan adanya batasan anggaran dalam melakukan *goods issued* suku cadang di gudang. Dalam menguji metode (R,s,S), peneliti menggunakan simulasi sistem dinamik yang bisa mengakomodir skenario dalam merubah faktor R, s dan S. Skenario dalam simulasi ini bertujuan untuk menurunkan *deadstock* suku cadang yang direpresentasikan sebagai level persediaan di akhir periode dan *relevant cost* atau semua biaya yang terlibat dalam transaksi suku cadang ini. Penelitian ini membuktikan bahwa dengan menerapkan metode (R,s,S) yang telah diatur nilai R,s dan S mampu menurunkan nilai *deadstock* sebesar 79% dan *relevant cost* sebesar 23% dibandingkan kondisi eksisting.

Kata kunci: manajemen suku cadang; kebijakan persediaan; metode (R,s,S); simulasi sistem dinamik; *deadstock*; *relevant cost*.

**SPARE PARTS INVENTORY MANAGEMENT IN INDONESIAN
CEMENT COMPANY BY CONSIDERING COMPLEXITY OF INTEREST
BETWEEN MAINTENANCE, PROCUREMENT OF GOODS AND
INVENTORY**

Name : Bayu Pratama Putra
NRP : 02411850077005
Supervisor : Niniet Indah Arvitrida, ST., MT., Ph. D
Co-Supervisor : Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph. D

ABSTRACT

In the spare parts management process in cement companies in Indonesia which involves five work units (users, spare parts planning, maintenance planning, procurement of goods and inventory management) there is a decision gap that creates conflicts over the maintenance and availability of spare parts. So that there is an opportunity for research in providing a solution that can be used by the company. The researcher proposes three steps, namely first classifying spare parts into four categories by considering maintenance and logistics perspectives. Then the second step calculates inventory requirements by the method (R, s, S) obtained from user demand data in purchasing spare parts. The third step is to test the sensitivity of the method (R, s, S) for companies that have a conflict of interest complexity, one of which is the budget constraint in carrying out goods issued for spare parts in warehouses. In testing the method (R, s, S), the researcher uses a system dynamics simulation that can accommodate scenarios in changing the R, s and S factors. The scenario in this simulation aims to reduce the spare parts deadstock which is represented as the inventory level at the end of the period and the relevant cost or all costs involved in this spare parts transaction. This research proves that applying the method (R, s, S) which has set the values of R, s and S can reduce the deadstock value by 79% and the relevant cost by 23% compared to the existing conditions.

Keywords: spare parts management; inventory policy; method (R, s, S); system dynamics simulation; deadstock; relevant cost.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan sebaik-baiknya. Shalawat serta salam juga senantiasa penulis haturkan kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW.

Penelitian ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi Magister Teknik Departemen Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama proses pengerjaan, penulis juga telah menerima banyak dukungan, masukan, serta bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. **PT Semen Indonesia (Persero) Tbk.** yang telah memberikan kesempatan kepada kami untuk melanjutkan belajar S2 di Teknik Sistem dan Industri ITS Surabaya.
2. **Ibu Niniet Indah Arvitrida ST., MT., Ph. D** selaku dosen pembimbing Tesis dan **Bapak Prof. Ir. I Nyoman Pujawan M. Eng., Ph. D** selaku dosen ko-pembimbing Tesis yang telah memberikan arahan, masukan dan bimbingan selama pengerjaan tesis ini dengan penuh dedikasi, profesionalitas dan kesabaran.
3. Dosen penguji dalam seminar proposal tesis Bapak **Prof. Ir. Suparno, MSIE., Ph. D** dan Ibu **Nani Kurniati, ST., MT., Ph. D** yang telah memberikan arahan dan masukan dalam kemajuan pengerjaan Tesis ini.
4. Bapak **Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D.** selaku Kepala Departemen Teknik Sistem dan Industri.
5. Bapak **Erwin Widodo, ST., M.Eng., Dr.Eng.** yang telah memberikan arahan dan strategi dalam menyusun tesis ini.
6. Bapak **Prof. Dr.Ir. Budisantoso Wirjodirjo, M.Eng.** yang telah memberikan arahan dalam menjalankan software Stella sebagai aplikasi simulasi sistem dinamik.
7. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Sistem dan Industri ITS yang telah mendidik dan mengajarkan banyak ilmu dan pelajaran berharga kepada penulis selama masa perkuliahan.

8. Orang tua **Bapak Bambang Yuwono** dan **Ibu Suprapmiati**, **Bapak Mudjahidin** dan **Ibu Sri Murtini**, Istri **dr. Reni Kurniawati** dan Anak-anak **Mishbah**, **Ilona** dan **Habibah** yang senantiasa memberikan semangat, dukungan dan doa-doanya dari awal perkuliahan hingga penelitian ini selesai.
9. Rekan-rekan seperjuangan dari PT Semen Indonesia (Persero) Tbk., Pak **Ary**, Pak **Imron**, Pak **Roi**, Pak **Anon**, Pak **Dedy**, Pak **Imran**, Pak **Hilmi**, Pak **Nalendra**, Bu **Muya**, Pak **Anggoro**, Pak **Inman**, Pak **Rusdi**, Pak **Faris**, Pak **Yani**, Pak **Febri**, Pak **Reza**, Pak **Lilik**, Bu **Ila**, Pak **Akma** dan Pak **Yanuar** yang telah menjadi teman diskusi, bertukar ide dan pemikiran, tempat berkeluh kesah selama mengikuti perkuliahan.

Serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, atas segala bantuan dan doa dalam penyelesaian penelitian tesis ini. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan tersebut. Aamiin.

Dalam penyusunan penelitian ini, penulis masih merasa ada banyak kekurangan pada materi maupun penulisan. Untuk itu, kritik dan saran dari semua pihak sangat diharapkan dalam rangka perbaikan untuk penulis. Penulis juga berharap semoga laporan tesis ini dapat bermanfaat dan memberikan referensi kepada pembaca maupun penulis sendiri untuk kebutuhan penelitian yang akan datang.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	11
1.3 Tujuan Penelitian	12
1.4 Manfaat Penelitian	12
1.5 Asumsi	13
1.6 Batasan Masalah	13
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	16
2.1 Manajemen Persediaan Suku Cadang.....	16
2.1.1 Karakteristik Persediaan Suku Cadang.....	16
2.1.2 Model Klasifikasi Persediaan	17
2.1.3 Model Pengendalian Persediaan.....	21

2.2	Pendekatan Simulasi.....	29
2.2.1	Jenis-jenis Simulasi Secara Umum	32
2.2.2	Penelitian Simulasi Sistem Dinamik.....	36
2.2.3	Simulasi pada Manajemen Persediaan	39
2.3	<i>Decision Tree Diagram</i>	41
2.4	Penelitian Sejenis.....	42
2.4.1	Penelitian Terdahulu	42
2.4.2	Penelitian Saat Ini	45
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		49
3.1	Pengembangan Model Konseptual	50
3.1.1	Studi Pendahuluan Sistem.....	50
3.1.2	Model Konseptual	50
3.2	Model Simulasi dan Eksperimen.....	53
3.2.1	Input Simulasi	53
3.2.2	Model Simulasi	53
3.2.3	Verifikasi dan Validasi.....	53
3.2.4	Eksperimen.....	53
3.3	Analisis dan Diskusi	54
BAB 4 PENGEMBANGAN MODEL KONSEPTUAL		56
4.1	Studi Pendahuluan Sistem	56

4.2	Model Konseptual.....	58
4.2.1	Kompleksitas Kepentingan.....	58
4.2.2	Input Simulasi.....	61
4.2.3	Output Simulasi	73
4.2.4	Kebijakan Persediaan	78
4.2.5	<i>Flowchart Model</i>	80
BAB 5 MODEL SIMULASI DAN EKSPERIMEN.....		90
5.1	Input Simulasi	90
5.1.1	Hasil Klasifikasi Suku Cadang.....	90
5.1.2	Data Permintaan Suku Cadang.....	92
5.1.3	Data Penggunaan Suku Cadang.....	92
5.1.4	Biaya Pemesanan.....	92
5.1.5	Biaya Penyimpanan	93
5.1.6	Penentuan Parameter Kebutuhan Suku Cadang	94
5.2	Model Simulasi	96
5.2.1	Diagram Alir Simulasi.....	97
5.2.2	Sub Model <i>Goods Receipt & Goods Issued</i>	98
5.2.3	Sub Model <i>Maintenance Budget</i>	103
5.2.4	Sub Model <i>Maintenance Cost per User</i>	104
5.2.5	Sub Model <i>Inventory Value</i>	105

5.2.6	Sub Model <i>Purchasing Request</i>	106
5.2.7	Sub Model <i>Auction Document & Purchasing Order</i>	108
5.2.8	Sub Model <i>Relevant Cost</i>	109
5.3	Verifikasi dan Validasi	112
5.3.1	Verifikasi	112
5.3.2	Validasi	118
5.4	Eksperimen	119
5.4.1	Simulasi Kondisi <i>Existing</i>	120
5.4.2	Skenario I Mengadopsi Metode (R,s,S) dengan Nilai <i>Default</i> Perhitungan	121
5.4.3	Skenario II Mengadopsi <i>Periodic Review</i> dengan <i>Experimental Factor</i> Metode (R,s,S)	121
BAB 6 ANALISIS DAN DISKUSI		125
6.1	Analisis <i>Deadstock</i>	125
6.2	Analisis <i>Relevant Cost</i>	127
6.3	Analisis <i>Loss Production</i>	129
6.3.1	Stockout	130
6.3.2	Proporsi Anggaran	132
6.4	<i>Managerial Implication</i>	134
6.4.1	<i>Cost Reduction</i>	134
6.4.2	Prosedur Operasional	135

BAB 7 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI.....	138
7.1 Kesimpulan	138
7.2 Rekomendasi.....	139
DAFTAR PUSTAKA	141
LAMPIRAN A	148
LAMPIRAN B.....	151

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. <i>Layout</i> proses manajemen suku cadang Perusahaan.....	2
Gambar 1.2. Grafik akumulasi deadstock spare parts sejak 1993 – 2018.....	6
Gambar 1.3. Nilai inventory & selisih goods receipt - goods issued.....	7
Gambar 1.4. Selisih goods receipt dan goods issued	7
Gambar 1.5. Selisih GR & GI untuk suku cadang non rutin.....	9
Gambar 1.6. Selisih GR & GI untuk suku cadang rutin.....	9
Gambar 2.1. Demand patterns.....	19
Gambar 2.2. Diagram alur proses EOQ	23
Gambar 2.3. Dua tipe continuous review system.....	25
Gambar 2.4. Sistem (R, S).	26
Gambar 2.5. Diagram alur proses EOJ.....	28
Gambar 2.6. Simulasi Monte Carlo.....	33
Gambar 2.7. Simulasi sistem dinamik.....	34
Gambar 2.8. Simulasi berbasis Agen. Model segregasi Schelling.....	36
Gambar 2.9. Tinjauan umum tentang pendekatan pemodelan sistem dinamik (Sumber: Martinez-Moyano dan Richardson 2013)	37
Gambar 2.10. <i>Causal loop diagram inventory management in automotive industry</i>	40
Gambar 2.11. Causal Loop Diagram APIOBCS.....	41
Gambar 2.12. Input dan output dari metodologi klasifikasi.....	43

Gambar 2.13. Decission tree klasifikasi suku cadang (Teixeira et al 2018)	45
Gambar 2.14. Decission tree penelitian.....	46
Gambar 3. 1. Diagram alur metodologi penelitian	49
Gambar 3. 2. Flow Process Spare parts Perusahaan Semen di Indonesia	51
Gambar 4. 1. Diagram keterkaitan antar Unit Kerja.....	58
Gambar 4. 2. <i>Causal Loop Diagram</i> Persediaan Suku Cadang.....	60
Gambar 4. 3. <i>Flowchart</i> Simulasi Setiap Proses	81
Gambar 4. 4. <i>Flowchart</i> Material Fisik <i>Goods Receipt</i>	82
Gambar 4. 5. <i>Flowchart</i> <i>Goods Issued</i>	83
Gambar 4. 6. <i>Flowchart</i> <i>Maintenance Budget</i>	84
Gambar 4. 7. <i>Flowchart</i> <i>Maintenance Cost per User</i>	85
Gambar 4. 8. <i>Flowchart</i> <i>Inventory Value</i>	86
Gambar 4. 9. <i>Flowchart</i> <i>Purchasing Request</i>	87
Gambar 4. 10. <i>Flowchart</i> <i>auction & purchasing order</i>	88
Gambar 5. 1. Contoh penyederhanaan sistem array	97
Gambar 5. 2. Flowchart garis besar simulasi.....	97
Gambar 5. 3. Sub Model <i>Goods Receipt</i>	99
Gambar 5. 4. Sub Model <i>Goods Issued</i>	100
Gambar 5. 5. Sub Model <i>Maintenance Approval</i>	101
Gambar 5. 6. Sub Model <i>Stock GR-GI</i>	103

Gambar 5. 7. Sub Model Maintenance Budget.....	104
Gambar 5. 8. Sub Model Maintenance Cost per User.....	105
Gambar 5. 9. Sub Model dari inventory value	106
Gambar 5. 10. Sub Model dari Purchasing Request	108
Gambar 5. 11. Sub model dokumen Auction dan Purchasing Order	108
Gambar 5. 12. Sub Model Procurement Approval.....	109
Gambar 5. 13. Sub model total cost	110
Gambar 5. 14. Sub model potential loss production	111
Gambar 5. 15. Sub Model Total Relevant Cost	112
Gambar 5. 16. Verification Step	113
Gambar 5. 17. Model Verification	113
Gambar 5. 18. Cara merubah nilai Metode (R,s,S)	120

DAFTAR TABEL

Tabel 2.2. Pemilihan kriteria dalam studi kasus	42
Tabel 2.3. Posisi penelitian manajemen suku cadang	46
Tabel 4. 1. Kriteria suku cadang dari sudut pandang Pemeliharaan (Produksi)....	63
Tabel 4. 2. Matriks pengelompokan criticality equipment.....	63
Tabel 4. 3. Klasifikasi harga suku cadang	64
Tabel 4. 4. Klasifikasi vital equipment dan high price	64
Tabel 4. 5. Klasifikasi vital equipment dan high price (lanjutan)	65
Tabel 4. 6. Klasifikasi lead time suku cadang	66
Tabel 4. 7. Komponen biaya aktifitas pembuatan permintaan	67
Tabel 4. 8. Komponen biaya komunikasi	67
Tabel 4. 9. Komponen biaya gaji pekerja Departemen Pengadaan	68
Tabel 4. 10. Biaya investasi asset	70
Tabel 4. 11. Biaya gaji pekerja	70
Tabel 4. 12. Biaya operasional pergudangan.....	70
Tabel 4. 13. Depresiasi per unit per tahun.....	71
Tabel 4. 14. Suku bunga deposito Bank Indonesia.....	71
Tabel 4. 15. Biaya pemeliharaan 72 periode	76
Tabel 4. 16. Potensi kehilangan produksi akibat downtime	76

Tabel 5. 1. Rekapitulasi klasifikasi suku cadang vital, high price dan high lead time	91
Tabel 5. 2. Data permintaan suku cadang	92
Tabel 5. 3. Data penggunaan 3 suku cadang untuk simulasi	92
Tabel 5. 4. Ordering cost.....	92
Tabel 5. 5. Holding cost per sparepart	93
Tabel 5. 6. Holding cost per sparepart (lanjutan).....	94
Tabel 5. 7. Rekapitulasi perhitungan metode (R,s,S).....	95
Tabel 5. 8. Suku cadang sample simulasi	96
Tabel 5. 9. Verifikasi sub model <i>goods receipt</i> part A <i>without</i> metode (R,s,S) ..	115
Tabel 5. 10. Verifikasi sub model <i>goods receipt</i> part A <i>with</i> metode (R,s,S).....	117
Tabel 5. 11. Validasi <i>goods receipt</i> suku cadang	119
Tabel 5. 12. Rencana skenario	120
Tabel 5. 13. Simulasi kondisi <i>existing</i>	120
Tabel 5. 14. Hasil simulasi skenario I	121
Tabel 5. 15. Hasil simulasi skenario 2.1	122
Tabel 5. 16. Hasil simulasi skenario 2.2	123
Tabel 5. 17. Hasil simulasi skenario 2.3	123
Tabel 6. 1. Kombinasi optimum faktor eksperimen.....	125
Tabel 6. 2. Perbandingan <i>existing condition</i> dengan skenario I	126

Tabel 6. 3. Perbandingan skenario 0 dan 2.3.3.....	126
Tabel 6. 4. Analisa total relevant cost	128
Tabel 6. 5. Perbandingan total relevant cost pada skenario 0 dan 2.3.2.....	128
Tabel 6. 6. Analisa stockout	131
Tabel 6. 7. Analisa proporsi anggaran.....	133
Tabel 6. 8. Analisa pengurangan akibat pengaktifan metode (R,s,S).....	133
Tabel 6. 9. Analisa penerapan metode (R,s,S) dan proportional maintenance budget	133
Tabel 6. 10. Cost reduction.....	134

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

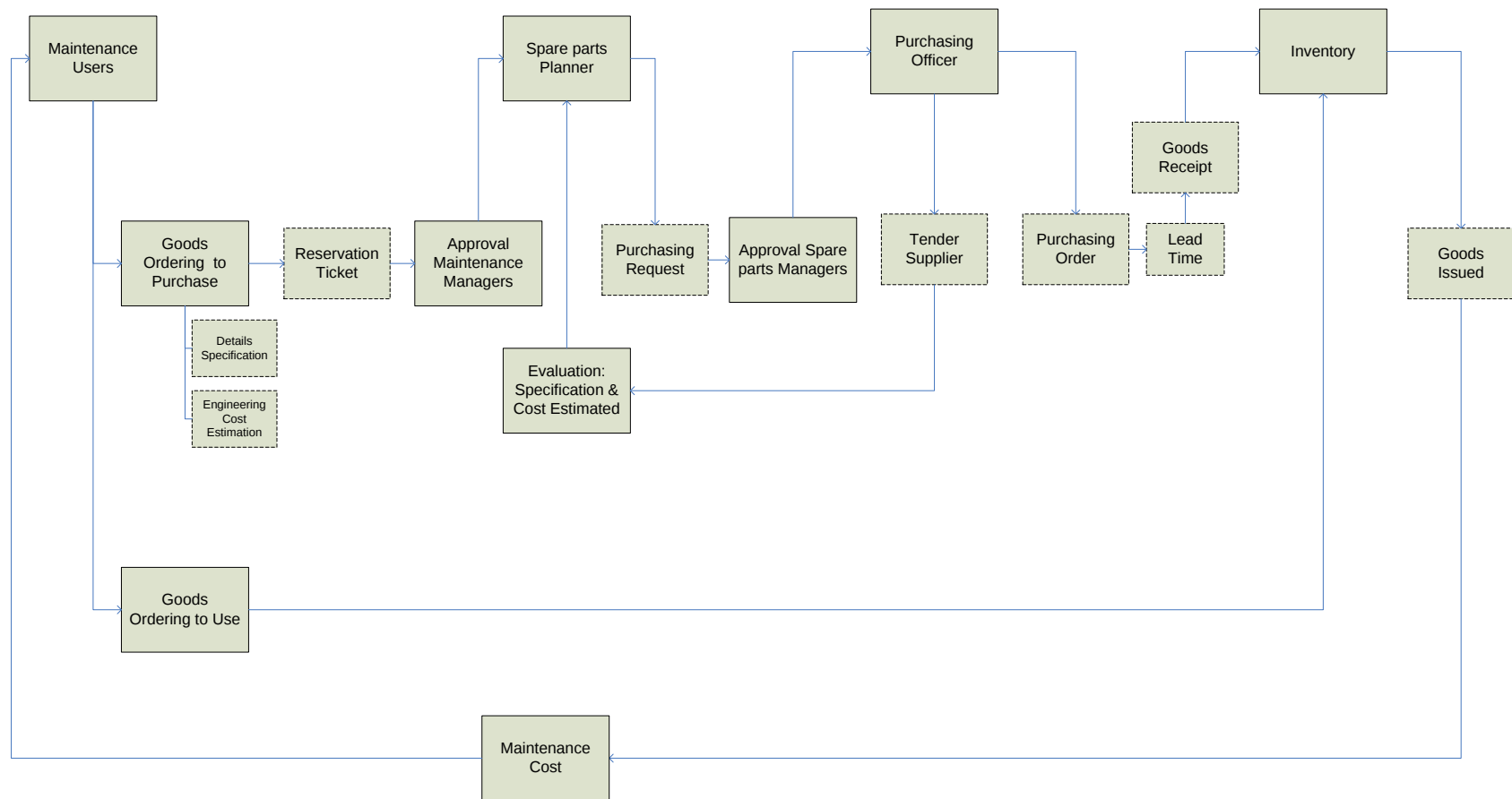
1.1 Latar Belakang

Suku cadang disediakan oleh manajemen untuk mengurangi *downtime* peralatan dan memainkan peran penting dalam mencapai ketersediaan peralatan yang diinginkan dengan minimum biaya ekonomi. Penelitian ini mengambil kasus pada industri semen yang ada di Indonesia dimana pada proses pengadaan suku cadang, informasi yang diperoleh oleh masing-masing unit kerja masih belum terintegrasi dalam pengambilan keputusan terkait berapa jumlah pasti kebutuhan suku cadang dan kapan suku cadang tersebut akan digunakan.

Gambar 1.1 di bawah ini merupakan *layout* proses manajemen suku cadang yang ada di perusahaan persemenan di Indonesia. Dalam proses manajemen suku cadang melibatkan 5 unit kerja yaitu *User* atau pengguna, perencanaan suku cadang, perencanaan pemeliharaan, pengadaan barang dan pengelolaan persediaan.

Unit kerja pengguna (*User*) bertanggung jawab terhadap penjaminan *reliability* peralatan dimana *reliability* tersebut sangat tergantung dengan ketersediaan suku cadang. Unit kerja pengguna ini yang merencanakan jumlah suku cadang yang dibutuhkan, waktu pemesanan suku cadang dan waktu pemasangan suku cadang. Perencanaan ketersediaan suku cadang yang baik, dapat menekan *downtime* peralatan dengan memperhatikan batasan anggaran yang diberikan oleh Perencanaan Pemeliharaan untuk penggunaan suku cadang. Fungsi unit kerja ini yang memicu konflik adalah *User* menghendaki ketersediaan persediaan suku cadang yang tinggi untuk menjamin *reliability* dari peralatan dan mesin.

Namun di sisi lain, unit kerja ini belum bisa memastikan jumlah dan waktu pemasangan yang tepat. Selain itu, belum ada skala prioritas suku cadang berdasarkan kriteria tertentu. Sehingga potensi konflik yang muncul adalah *budget* yang bisa menjamin suku cadang bisa diambil dari gudang tidak sesuai dengan yang diberikan oleh unit Perencanaan Pemeliharaan. Serta memberikan ketidakpastian dalam manajemen persediaan bagi unit kerja Pengelolaan Persediaan.



Gambar 1.1. *Layout* proses manajemen suku cadang Perusahaan

Unit kerja kedua adalah Perencanaan Suku Cadang, yang merupakan unit kerja yang bertugas untuk membuat *purchasing request* setelah ada permintaan dari unit kerja Pengguna. Unit kerja ini yang bertugas mengatur kebutuhan suku cadang yang bersifat non-rutin, mengevaluasi jenis, tipe, jumlah suku cadang yang dibutuhkan oleh pengguna setelah ada tender dari unit kerja Pengadaan Barang. Fungsi dari unit kerja ini yang memicu konflik adalah seharusnya yang membuat konsep skala prioritas suku cadang dan mengatur suku cadang mana yang didahulukan untuk diterbitkan *purchasing request* dan suku cadang mana yang bisa ditunda, namun unit kerja ini saat ini yang terlihat hanya sebagai unit kerja penerbit *purchasing request*. Sehingga jika unit kerja ini berfungsi sebagaimana seharusnya, maka pengendalian pembelian suku cadang bisa diatur lebih baik karena mengatur kebutuhan suku cadang semua *User*.

Unit kerja yang ketiga adalah Perencanaan Pemeliharaan yang bertugas untuk mengontrol anggaran yang disediakan oleh manajemen, dimana dalam hal ini manajemen yang dimaksud adalah Departemen Pemeliharaan. Unit kerja ini bertugas untuk membagi anggaran pusat ke masing-masing unit kerja pengguna, membatasi nilai barang yang bisa *issued* (*Goods Issued*) atau yang bisa diambil dari gudang suku cadang. Potensi konflik yang sering muncul akibat fungsi unit kerja ini adalah pembagian anggaran melihat rata-rata penggunaan anggaran dari tahun-tahun sebelumnya dan dibandingkan dengan rencana penggunaan anggaran unit kerja setiap bulan kemudian disesuaikan dengan area peralatan mana suku cadang tersebut digunakan.

Unit kerja yang keempat adalah Pengadaan Barang, yang bertugas untuk memproses pembelian suku cadang setelah ada *purchasing request* yang telah diterbitkan oleh unit kerja Perencanaan Suku Cadang. Unit kerja ini yang mengatur vendor mana saja yang berhak mengikuti proses tender, memastikan harga yang ditawarkan oleh vendor sesuai dengan nilai *ECE* (*Engineering Cost Estimation*) atau harga perkiraan yang disampaikan oleh pengguna dalam modul *Enterprise Resource Planning* SAP. Unit kerja ini juga bertugas menerbitkan *purchasing order* kepada vendor pemenang tender setelah mempertimbangkan beberapa kriteria diantaranya harga paling ekonomis, jumlah sesuai, lead time yang sesuai dan

spesifikasi barang yang sesuai dengan kebutuhan pengguna. Potensi konflik yang ditimbulkan oleh unit kerja ini adalah proses pembelian barang belum ada skala prioritas mana suku cadang yang harus dibeli dulu dan mana yang bisa ditunda jika ada batasan anggaran pembelian barang.

Unit kerja yang kelima adalah unit kerja Pengelolaan Persediaan, yang bertugas untuk memastikan barang yang dikirim oleh vendor sesuai dengan spesifikasi dan jumlah yang ditentukan dalam dokumen *purchasing order*. Unit kerja ini juga bertugas untuk mengatur lokasi penyimpanan suku cadang berdasarkan kategori masing-masing, juga mencatat keluar masuk barang di gudang suku cadang. Potensi konflik yang muncul di unit kerja ini adalah permintaan suku cadang dari *User* dengan jumlah tertentu namun tidak diimbangi oleh ketepatan waktu pemasangan sehingga menimbulkan *deadstock* suku cadang. Selain itu, kadang-kadang suku cadang yang sudah datang di gudang tidak bisa langsung digunakan karena terdapat batasan anggaran yang ditentukan setiap kali pengguna melakukan pengambilan barang atau *Goods Issued*, dan hal ini menyebabkan unit kerja Pengadaan Barang cenderung mengurangi anggaran untuk pembelian suku cadang.

Dari beberapa unit kerja yang terlibat tersebut, sering ditemukan *gap* keputusan yang menimbulkan konflik terhadap pemeliharaan dan ketersediaan suku cadang. Konflik tersebut antara lain dari sisi pemeliharaan, terutama dari unit kerja Pengguna senantiasa diharapkan suku cadang tersedia sesuai dengan jumlah peralatan yang menggunakan suku cadang tersebut namun belum bisa memastikan jumlah dan waktu pemasangan yang tepat. Sedangkan dari sisi unit kerja Pengelolaan Persediaan, dengan adanya permintaan suku cadang dalam jumlah tertentu, namun tidak diimbangi oleh ketepatan waktu pemasangan sering menimbulkan *deadstock* suku cadang.

Konflik lain adalah banyak unit kerja yang meminta pembelian suku cadang, sehingga seringkali dari unit Perencanaan Suku Cadang belum bisa memprioritaskan jenis barang yang harus segera didatangkan untuk menunjang proses pemeliharaan, dimana saat ini belum ada skala prioritas suku cadang tertentu berdasarkan kriteria tertentu. Konflik yang lain adalah setelah suku cadang tersebut

berhasil didatangkan di gudang, terdapat batasan anggaran yang ditentukan setiap kali pengguna melakukan pengebonan barang atau *Goods Issued*. Sehingga seringkali barang tersedia di gudang tapi terkait regulasi barang tersebut tidak bisa diambil atau digunakan.

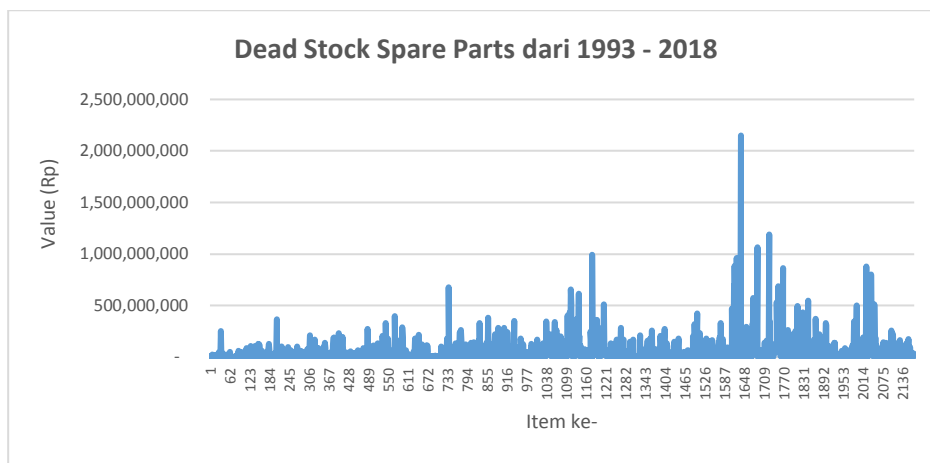
Berdasarkan gambar 1.1 terdapat kompleksitas *delay time* yang diakibatkan oleh *delay* informasi dari unit kerja yang memproses permintaan suku cadang namun tidak mengetahui kapan *part* ini digunakan dan seberapa kritis *part* ini terhadap operasional peralatan produksi, sehingga prosesnya bisa berdasarkan suka-suka (acak) dan waktu PR (*Purchasing Request*) tersebut *ter-create*. Lalu *delay* akibat *lead time* kedatangan suku cadang, dimana *User* tidak mendapat informasi yang akurat terhadap jeda waktu mereka melakukan permintaan barang hingga barang tersebut datang ke gudang, sehingga *User* seringkali meminta pembelian barang tidak sesuai dengan jumlah kebutuhan yang ada di lapangan.

Dengan demikian, beberapa akibat yang ditimbulkan dari adanya konflik tersebut adalah akumulasi *inventory turnover ratio* yang kecil dari tahun ke tahun akan menimbulkan *deadstock* suku cadang, kenaikan nilai rata-rata barang suku cadang yang disimpan, *obsolete* suku cadang di gudang karena lama tidak digunakan sedangkan terdapat teknologi baru karena *upgrade* atau penggantian peralatan yang lebih canggih.

Dari sisi Departemen Pemeliharaan, diperlukan perkiraan yang terukur untuk jumlah suku cadang yang perlu diadakan sesuai dengan waktu pemasangan, waktu kedatangan, waktu pembelian dan waktu permintaan untuk beberapa jenis suku cadang yang beragam fungsi, jenis. Potensi yang akan terjadi dan sering terjadi adalah pada saat suku cadang itu dibutuhkan seringkali tidak tersedia atau *shortage*, yang menyebabkan kerusakan pada peralatan produksi sering terjadi dan butuh waktu perbaikan yang lama. Akan tetapi jika tidak tepat dalam perencanaan pemasangan, ada dua akibat yang terjadi yaitu pertama suku cadang tersebut akan menjadi *inventory* tak bergerak yang artinya menimbulkan biaya simpan dan penyusutan nilai investasi. Kedua adalah jika terlalu sering dilakukan penggantian suku cadang maka biaya pemeliharaan dalam satu periode akan membesar dimana

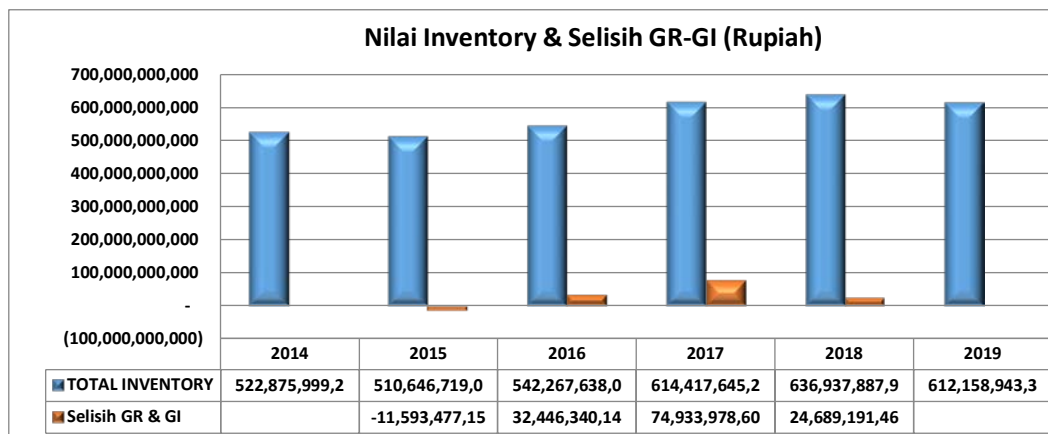
terdapat batasan anggaran yang disediakan untuk pemeliharaan khususnya pemakaian suku cadang.

Sedangkan dari sisi persediaan atau gudang terdapat *dead stock* dimana material tersebut tidak bergerak sejak tahun 1993 atau sejak berdirinya Pabrik tersebut hingga tahun 2018, Total senilai 109 Milyar Rupiah atau sebanyak 2.171 tipe atau 18.629 unit suku cadang yang pergerakan transaksi penggunaannya rendah. Seperti terlihat dari grafik di bawah ini.



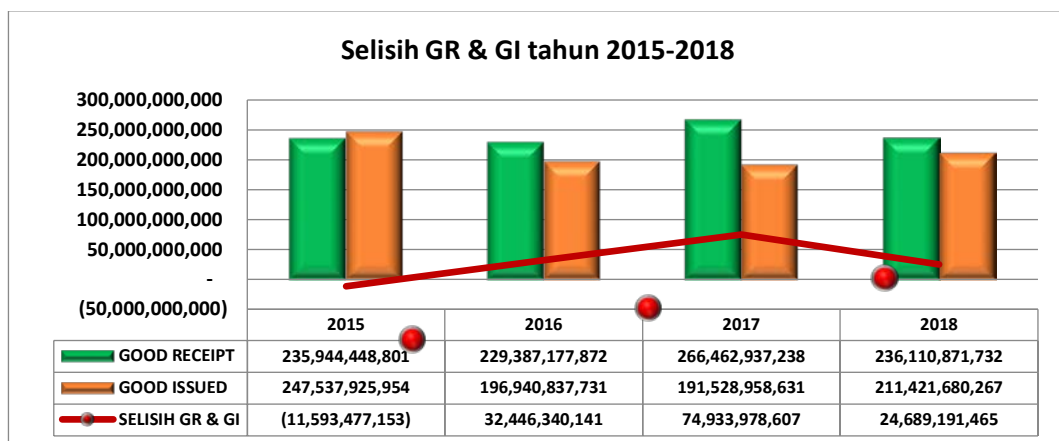
Gambar 1.2. Grafik akumulasi *deadstock spare parts* sejak 1993 – 2018

Terdapat *inventory cost* pada pengelolaan spare part yang cukup besar. Rata-rata dari tahun 2014 hingga 2019, *inventory cost* perusahaan tersebut mencapai 573 M. Namun di sisi lain jumlah barang yang dibeli lebih besar dibandingkan jumlah barang yang diambil dari gudang, yang berarti pemakaian spare part nya lebih sedikit daripada pembelian suku cadang. Terdapat *trend* pola pemeliharaan yang cenderung lebih senang melebihkan jumlah barang yang dibeli dibandingkan aktual kebutuhan barang. Hal ini bisa meningkatkan *inventory cost* yang merupakan salah satu KPI dari Unit Kerja Pengelolaan Persediaan. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.3.



Gambar 1.3. Nilai *inventory* & selisih *goods receipt - goods issued*

Goods Receipt (GR) merupakan barang yang diterima gudang atau barang yang masuk ke gudang setelah melalui proses pengadaan barang. Sedangkan *Goods Issued (GI)* merupakan barang yang keluar gudang akibat adanya transaksi pengebonan yang dilakukan oleh unit kerja pengguna. Pada table di atas terlihat sejak tahun 2015 terdapat selisih *Goods Receipt* dan *Goods Issued* yang jumlahnya cukup besar dan terus meningkat dari tahun berikutnya, kecuali pada tahun 2018 terjadi penurunan *goods receipt* namun diiringi dengan peningkatan *goods issued*, sehingga selisih GR dan GI menurun.



Gambar 1.4. Selisih *goods receipt* dan *goods issued*

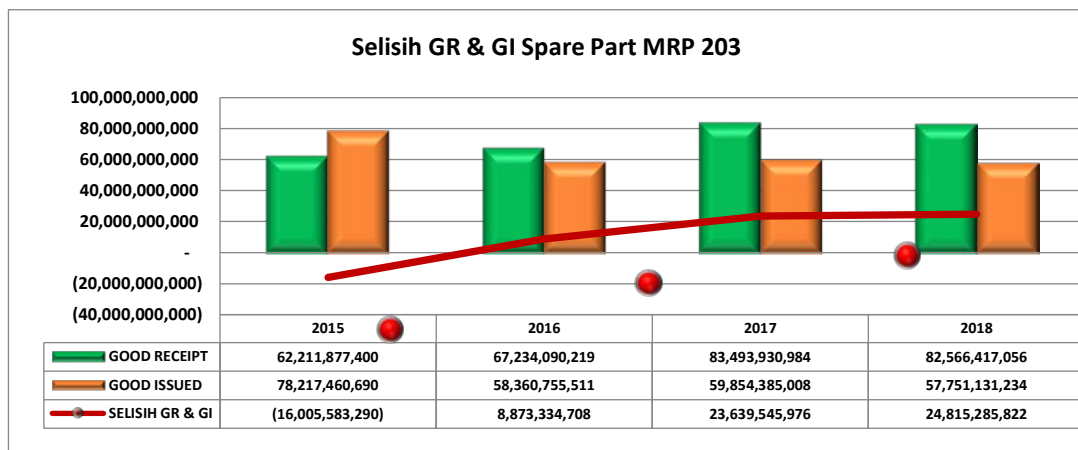
Berdasarkan trending gambar 1.4 di atas terlihat pada tahun 2015 terdapat pola penggunaan (*Goods Issued*) barang suku cadang lebih besar dibanding pembelian barang suku cadang (*Goods Receipt*). Namun sejak tahun 2016 hingga 2018 terdapat penurunan nilai *Goods Issued*, hal ini bisa disebabkan oleh kebijakan

manajemen dalam salah satu strategi Bisnisnya yaitu *Cost Transformation Program* dimana salah satu item yang dihemat adalah biaya pemeliharaan. Oleh sebab itu terdapat kebijakan manajemen dalam mengelola penggunaan suku cadang yaitu dengan cara:

1. Membatasi nilai barang yang bisa langsung issued atau diambil oleh User terkait.
2. Pengaturan atau perencanaan penggunaan suku cadang tiap bulan, sehingga apabila tidak terdapat rencana di bulan yang dimaksud dan anggaran tidak tersedia, maka *approval* hingga Kepala Departemen.

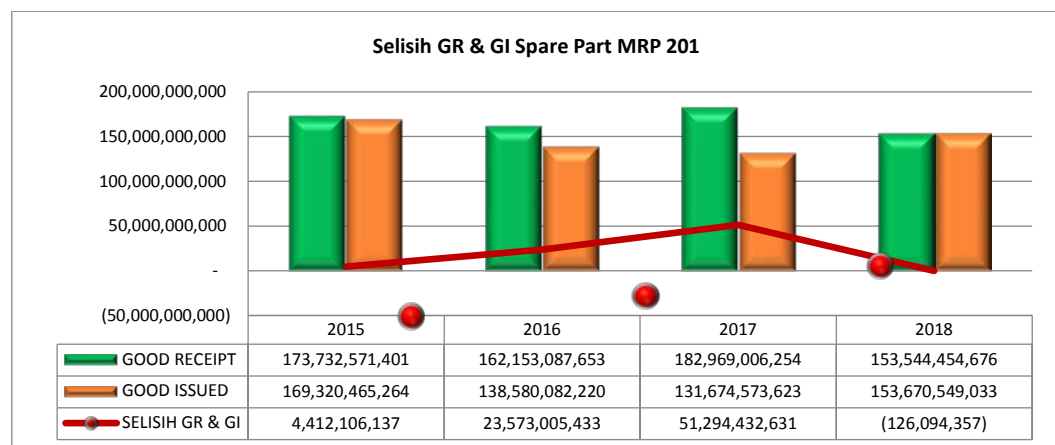
Sedangkan kondisi saat ini kategori *spare part* dibagi menjadi 2 yaitu *spare part* rutin dan *spare part* non rutin. *Spare part* rutin pemakaiannya sudah bisa ditentukan jumlahnya dalam satu tahun, karena sifatnya yang kontinyu digunakan selama setahun. Sedangkan *spare part* non rutin penggunaannya ditentukan berdasarkan *condition based* dan *time based*. Pada penelitian ini akan ditekankan pada *spare part* dengan kategori non rutin, karena pemakaiannya masih belum terukur secara pasti sehingga biaya optimal pemakaian suku cadang akan susah dikendalikan. Kemudian karena pemakaiannya belum terukur secara pasti, mengakibatkan permintaan pembelian memiliki pola yang tidak teratur.

Dari total nilai selisih *Goods Receipt* dan *Goods Issued* tersebut terdapat material rutin dan material non rutin. Material rutin merupakan material yang senantiasa dilakukan pembelian apabila mencapai level minimum yang telah ditentukan. Sedangkan material non rutin merupakan material yang proses pengadaannya melalui *approval* dari kepala unit kerja hingga ke kepala departemen pemeliharaan.



Gambar 1.5. Selisih GR & GI untuk suku cadang non rutin

Dari gambar 1.5 tersebut di atas terlihat bahwa untuk kode *Maintenance Resource Planning* (MRP) 203 merupakan material non rutin, juga mengalami penurunan pada *Goods Issued*-nya dimana nilainya rata-rata sejak tahun 2015 mencapai 10 Miliar Rupiah. Namun terdapat tahun 2015 yang masih leading *Goods Issued* nya dibandingkan *Goods Receipt*-nya



Gambar 1.6. Selisih GR & GI untuk suku cadang rutin

Namun berbeda halnya dengan kode barang rutin dengan MRP 201 yang senantiasa mengalami selisih yang cukup besar antara GR dan GI nya yaitu sekitar rata-rata 20 Miliar Rupiah. Hal ini bisa disebabkan karena regulasi konsumsi material rutin harus senantiasa “dipaksa” untuk menghabiskan *stock* barang yang ada di gudang, karena jika dalam satu tahun tingkat pengebonan suku cadang tersebut kurang dari syarat minimum *low-level* yang telah ditentukan, maka suku cadang tersebut akan dikeluarkan dari kontrak barang rutin.

Jadi dengan demikian penyumbang nilai *inventory cost* terbesar adalah dari sisi material rutin dimana pengadaan barangnya berdasarkan nilai minimum yang telah ditentukan tanpa persetujuan dari kepala Departemen Pemeliharaan, namun kebijakan langsung dari Departemen Pengadaan.

Sedangkan dari sudut pandang pemeliharaan, *spare part* non rutin pemakaiannya berdasarkan *time based* dan *conditional based*. Pemakaian *spare part* berdasarkan *time based* akan memakan biaya yang tinggi, karena tanpa melihat kondisi aktual *spare part*, dalam waktu tertentu *spare part* tersebut harus diganti. Sedangkan *conditional based* akan sangat tergantung dari inspeksi setiap peralatan, untuk peralatan mekanis yang sifatnya *visual inspection* akan dapat dengan mudah ditentukan kondisi *spare part* dari sebuah peralatan produksi. Sedangkan pada beberapa peralatan *electric* dan *instrumentation* yang sifatnya susah diinspeksi secara visual, akan susah juga dalam menentukan kondisi *spare part* tersebut, sehingga potensi kerusakan *spare part* tersebut setiap saat sangat tinggi, oleh karena itu jumlah *spare part* yang tersedia juga harus dipertimbangkan sesuai dengan jumlah peralatan yang membutuhkan *spare part* tersebut.

Namun dari sisi Pengadaan Barang, terdapat beberapa kriteria dalam pengadaan *spare part*, yaitu harga *spare part*, waktu kedatangan (*lead time*). Sedangkan dari sisi persediaan, nilai *inventory spare part* yang diharapkan seminim mungkin, *turnover ratio spare part* yg masuk ke gudang dan keluar gudang diatas 90%.

Penelitian ini akan menganalisa *inventory and maintenance performance* dalam *spare part management* yang merupakan salah satu unsur pada *supply chain management* di Perusahaan persemenan di Indonesia. Dimana 2 area tersebut yang saat ini mempunyai batasan masing-masing terkait KPI, namun *trend* ini tidak baik karena secara keseluruhan nilai *inventory* semakin besar yang bertentangan dengan *performance* Unit Kerja Pengelolaan Persediaan itu sendiri. Oleh sebab itu kebijakan yang diambil oleh manajemen saat ini dengan memperketat permintaan pembelian barang non rutin dan membatasi pengambilan barang, dimana hal ini bisa menyusahkan sisi operasional pabrik dimana dituntut ketersediaan suku cadang dan kecepatan penggantian suku cadang jika terdapat kerusakan.

Dalam menyelesaikan permasalahan di atas mula-mula penulis mengklasifikasi suku cadang yang ada di gudang menggunakan kriteria VED (*Vital, Essential, Desireable*) yang dikombinasikan dengan perpesktif logistik yaitu waktu kedatangan dan harga suku cadang. Klasifikasi itu digunakan untuk mengambil kebijakan yang berbeda-beda setiap kriteria. Pada penelitian ini klasifikasi suku cadang yang akan diteliti adalah klasifikasi suku cadang yang *vital, lead time* lama dan harga tinggi. Hasil klasifikasi suku cadang tersebut lalu diterapkan parameter kebijakan metode (R,s,S).

Namun parameter kebijakan metode (R,s,S) tersebut perlu diuji sensitifitasnya terhadap sistem yang berlaku di perusahaan menggunakan metode simulasi. Simulasi yang dipilih adalah simulasi sistem dinamik karena dengan sistem dinamik ini penulis bisa melihat variabel respon atas perilaku variabel lain yang berubah. Dengan simulasi sistem dinamik ini akan dijelaskan bahwa akibat penerapan kebijakan metode (R,s,S) yang nilainya disesuaikan dapat menurunkan nilai *deadstock* yang direpresentasikan dengan final *inventory level*. Namun disamping mengaktifkan parameter kebijakan persediaan metode (R,s,S) ternyata ada potensi lain dalam penghematan yang bisa diperoleh perusahaan yaitu dalam memberikan anggaran pemeliharaan perlu dipertimbangkan nilai persediaan setiap periode sehingga suku cadang yang ada di gudang bisa *issued* untuk digunakan oleh *User*, sehingga bisa mengurangi *deadstock* dan mengurangi potensi kehilangan produksi.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini memberikan solusi atas rencana yang akan dilakukan terhadap pengelolaan *spare part* berdasarkan multi-kriteria dan mempertimbangkan kompleksitas kepentingan antar unit kerja. *Multi-criteria spare part management* dalam hal ini melihat sudut pandang *criticality equipment* dan *logistic perspective*. Sedangkan kompleksitas kepentingan dalam penelitian ini berupa konflik kepentingan antar unit kerja yang terlibat dalam manajemen suku cadang.

Dari sudut pandang *criticality equipment* atau pemeliharaan, kinerja yang ingin ditingkatkan adalah maksimum ketersediaan suku cadang namun tetap mengedepankan minimum biaya yang diperlukan dalam proses pemeliharaan

peralatan. Sedangkan dari sudut pandang *logistic*, kinerja yang ingin ditingkatkan adalah minimum *deadstock*.

Struktur biaya yang digunakan dalam siklus hidup proses yang melibatkan suku cadang ini adalah biaya pemeliharaan peralatan (konsumsi suku cadang), biaya simpan (rata-rata nilai suku cadang yang disimpan), biaya pengadaan barang, biaya tidak tersedianya barang (*stockout cost*).

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Melakukan klasifikasi persediaan untuk memudahkan manajemen dalam memberikan skala prioritas suku cadang yang selama ini belum ada di Perusahaan. Unit kerja yang membutuhkan informasi mengenai klasifikasi persediaan ini adalah unit kerja *User*, Perencanaan Suku Cadang, Perencanaan Pemeliharaan, dan Pengadaan Barang.
2. Merancang metode pengendalian persediaan suku cadang khususnya untuk kategori persediaan yang bersifat kritis, mempunyai value tinggi dan sulit dilakukan pengadaan. Metode persediaan yang diusulkan akan dapat meminimumkan total biaya yang terlibat dalam transaksi suku cadang, yang meliputi biaya penyimpanan (*holding cost*), biaya pemesanan (*ordering cost*), biaya kekurangan (*stockout cost*), *inventory value*, *potential loss production* dan *maintenance cost*.
3. Menganalisis pengaruh metode pengendalian persediaan dalam menurunkan tren kenaikan jumlah *deadstock*, yang direpresentasikan dengan *stock* akhir suku cadang di akhir periode dan menurunkan *relevant cost* yang terdiri dari seluruh biaya yang terlibat dalam transaksi suku cadang ini. Untuk menganalisis ini akan digunakan pendekatan simulasi sistem dinamik.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang lebih kepada Perusahaan semen di Indonesia dengan target manfaat sebagai berikut:

1. Jajaran Pemeliharaan: ketepatan kebutuhan *spare part* baik dari segi kuantitas dan ketepatan waktu kedatangan dan waktu digunakan sehingga bisa mengurangi *downtime* peralatan vital.
2. Jajaran Pengadaan & *Inventory: Procurement & Inventory Cost* bisa berkurang tanpa mengorbankan menunda pembelian barang yang dibutuhkan oleh Produksi.
3. Jajaran Keuangan: Nilai suku cadang yang akan mengalami penyusutan jika tidak produktif atau tidak segera digunakan untuk kebutuhan produksi. Sehingga dengan mengatur volume input dan output persediaan bisa mempengaruhi nilai suku cadang dan nilai investasi.
4. Bidang Pendidikan: menambah *value* penelitian *spare part management* dalam industri semen di Indonesia pada ruang lingkup penggunaan *inventory policy* yang sesuai dengan kritikalitas suku cadang dan diuji dengan simulasi sistem dinamik.

1.5 Asumsi

1. Pada simulasi sistem dinamik dipilih tiga suku cadang acak untuk mewakili secara keseluruhan suku cadang hasil klasifikasi suku cadang.
2. Biaya pemeliharaan yang digunakan dalam simulasi diperoleh berdasarkan transaksi ketiga suku cadang tersebut selama 72 periode.
3. Biaya pemeliharaan setiap bulan yang disediakan oleh manajemen diasumsikan dari rata-rata nilai total penggunaan tiga suku cadang selama 72 periode.
4. Suku cadang yang diambil dari gudang (*Goods Issued*) diasumsikan langsung digunakan oleh *User* untuk dilakukan penggantian di peralatan vital produksi.

1.6 Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian terdapat beberapa batasan masalah untuk memudahkan analisa penelitian, yaitu:

1. Sistem yang akan dibuat digunakan untuk menganalisa *spare part* kategori non-rutin.

2. Pengambilan sampling data *spare part* dipilih berdasarkan kategori *spare part* yang berada dalam kategori *Vital Equipment*, *High Price* dan *High lead time*.
3. Konsumsi suku cadang di gudang tidak memperhitungkan *reliability* peralatan yang mempunyai perilaku masing-masing. Sehingga sudut pandang simulasi sistem dinamik yang dibuat hanya pada sisi ketersediaan suku cadang di *Inventory* namun mempengaruhi proses *maintenance* peralatan produksi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Manajemen Persediaan Suku Cadang

Pada bab ini akan dibahas tentang landasan teori yang digunakan dalam penelitian terhadap manajemen persediaan suku cadang. Yang pertama memahami bagaimana karakteristik persediaan yang digunakan dalam mengelola suku cadang. Kemudian macam-macam model klasifikasi persediaan suku cadang. Dan yang terakhir adalah macam-macam pengendalian persediaan atau *inventory control* dalam mengelola suku cadang. Detail dari masing-masing landasan teori diterangkan dalam sub bab di bawah ini.

2.1.1 Karakteristik Persediaan Suku Cadang

Hingga tahun 1940, kegiatan pemeliharaan tidak direncanakan, hanya dilakukan ketika kegagalan terjadi (Murthy, Atrens, & Eccleston, 2002). Antara 1950 dan 1960, pendekatan ilmiah pertama untuk manajemen pemeliharaan muncul, bergerak dari paradigma pemeliharaan korektif ke paradigma pemeliharaan preventif, mengurangi *failure* dan *downtime* yang tidak direncanakan dalam produksi (Dekker, 1996).

Dengan perencanaan perawatan, biaya perawatan lebih mudah dikendalikan dan berkurang. Biaya perawatan tidak hanya mencakup biaya tenaga kerja dan suku cadang (Chen, Ren, Bil, & Sun, 2015) tetapi juga biaya *downtime* peralatan karena kerusakan. Manajemen suku cadang yang efisien dan efektif sangat penting untuk pemeliharaan manajemen karena mempengaruhi waktu henti peralatan. Karena itu, manajemen suku cadang peralatan manufaktur mempengaruhi kinerja pemeliharaan manajemen dan, akibatnya, produktivitas organisasi. Dalam organisasi dengan ketergantungan yang tinggi pada peralatan produksi, ketersediaan peralatan yang tinggi adalah wajib. Karenanya, suku cadang merupakan sumber daya penting untuk memastikan ketersediaan (Bosnjakovic, 2010)

Manajemen inventaris suku cadang memiliki fungsi memberikan dukungan untuk layanan pemeliharaan, seperti memastikan pengoperasian sistem yang diinstal. Namun, masalah yang sangat penting dalam manajemen suku cadang

ketika mempertahankan inventaris yang tinggi dari suku cadang mengikat modal dan seringkali hasilnya dalam biaya yang relevan mengkonsumsi sebagian besar investasi modal. Suku cadangnya digunakan dalam sejumlah besar intervensi perawatan dan biaya persediaan terkait dapat terdiri dari dua jenis: biaya penyimpanan persediaan dan biaya tidak adanya suatu suku cadang yang terkait dengan penghentian produksi (Teixiera et al 2018).

Persediaan suku cadang berbeda dari persediaan produk yang diproduksi dan bahan dalam banyak aspek (Kennedy et al 2002). Meluapkan bagian dicirikan oleh besarnya biaya yang besar dan oleh yang terputus-putus dan sangat tinggi permintaan dan inventaris yang tidak menentu ditentukan oleh permintaan, dipicu oleh pencegahan dan intervensi pemeliharaan korektif.

2.1.2 Model Klasifikasi Persediaan

Dua jenis metode dapat diterapkan untuk mengklasifikasikan suku cadang: metode kuantitatif dan metode kualitatif (Cavalieri, Garetti, Macchi, & Pinto, “A decision-making framework for managing maintenance spare parts”, 2008). Dalam industri, metode klasifikasi tradisional adalah analisis ABC, yang secara luas digunakan untuk menentukan persyaratan layanan suku cadang (Molenaers, Baets, Pintelon, & Waeyaenbergh, 2012). Klasifikasi tersebut membantu perusahaan untuk menyederhanakan manajemen stok. Tujuan analisa ABC adalah untuk mengklasifikasikan barang-barang inventaris atau SKU menjadi tiga kelas, yaitu: A (item yang sangat penting); B (item yang cukup penting) dan C (relatif tidak penting item) (Hatefi, Torabi, & Bagheri, 2014; Prakash & Chin, 2017). Analisis ABC mudah untuk menggunakan dan mendukung manajemen persediaan material yang cukup homogen secara alami (Flores, 1987). Kriteria yang digunakan untuk mengklasifikasikan adalah produk tahunan permintaan dan harga satuan rata-rata (Ramanathan, 2006). Menurut (Braglia, Grassi, & Montanari, 2004) Klasifikasi ABC adalah klasifikasi yang paling terkenal dan digunakan skema untuk mengelola masalah manajemen persediaan suku cadang.

Huiskonen (2001) menyebutkan bahwa sebagai kontrol variasi karakteristik item meningkatkan klasifikasi ABC satu dimensi tidak termasuk kontrol semua persyaratan berbagai jenis barang. Dalam literatur, secara umum diakui bahwa

analisis ABC "klasik" mungkin tidak dapat memberikan klasifikasi yang baik dalam praktiknya (Altay Guvenir & Erel, 1998).

Metode kuantitatif lainnya adalah FSN, yang mengklasifikasikan item ke dalam tiga kategori: bergerak cepat (*Fast Moving*), F, bergerak lambat (*Slow Moving*), S dan tidak bergerak (*Non Moving*), N. Metode ini didasarkan pada analisis pola permintaan dan mengarah ke berbagai jenis klasifikasi, yang difokuskan pada tingkat pergerakan suku cadang (Bosnjakovic, 2010); Cavalieri et al., 2008). Klasifikasi ini berguna ketika diinginkan untuk menempatkan bukti bahwa suku cadang usang tidak bergerak setelah bertahun-tahun (Cavalieri et al., 2008).

Metode kuantitatif lain dalam klasifikasi suku cadang adalah dengan melihat pola permintaannya atau *demand pattern*, dimana terdapat dua parameter yang dapat mengukur ketidakpastian pola permintaan, yaitu *Coefficient of Variance* (CV) dan *Average Demand Interval* (ADI).

- ADI (Average inter-Demand Interval):

Rata-rata interval untuk setiap permintaan terhadap barang ke-i yang sama dalam periode tertentu.

$$ADI_i = \frac{\sum_{n=1}^{Np_i} t_i^n}{Np_i} = d_i \quad (2.1)$$

dimana pembilang dan penyebut merupakan non-zero demand.

- CV (Coefficient of Variation)

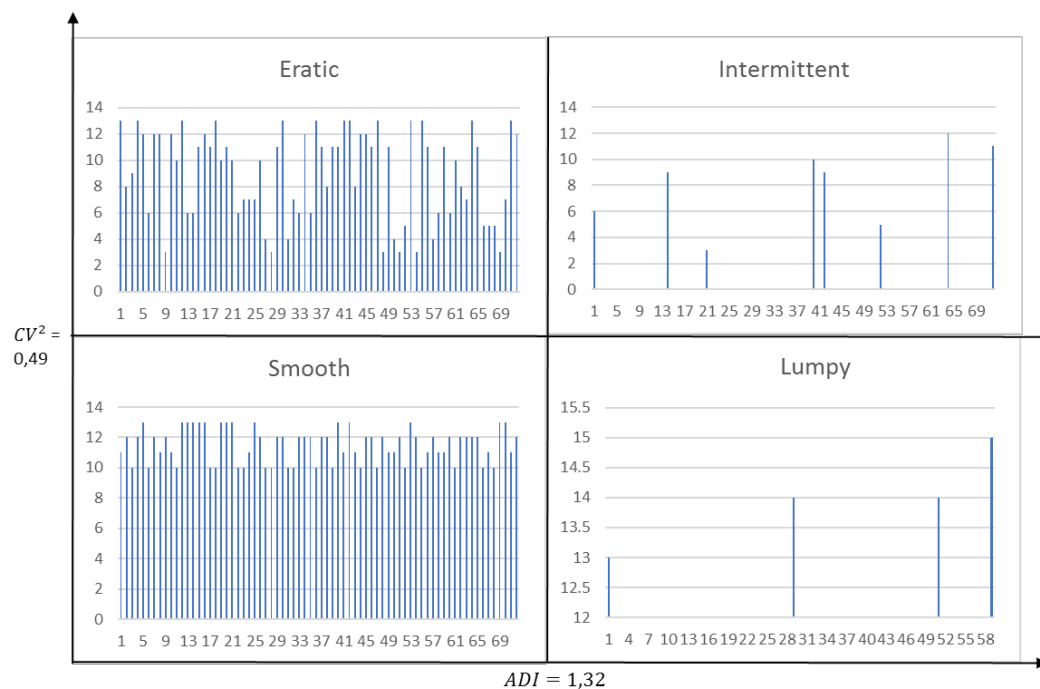
Standar deviasi dari permintaan item ke-i, dibagi dengan permintaan rata-rata d_i .

$$CV_i = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{Np_i} (d_i^n - d_i)^2}{Np_i}}}{d_i} \quad (2.2)$$

Hasil dari 2 pengukuran tersebut mengandung arti sebagai berikut:

- Smooth Demands: permintaan reguler dari waktu ke waktu dengan variasi jumlah terbatas.

- Intermittent Demands: permintaan yang sangat sporadis, tanpa variabilitas yang ditekankan dalam kuantitas dari permintaan tunggal.
- Erratic Demands: distribusi teratur dari waktu ke waktu, tetapi variasi dalam jumlah besar.
- Lumpy Demands: permintaan yang sangat sporadis, jumlah *non-zero demands* yang besar dan variasi jumlah yang besar.



Gambar 2.1. Demand patterns

Sedangkan metode kualitatif yang biasanya digunakan untuk klasifikasi suku cadang didasarkan pada penilaian kasar atau dalam metode penilaian (Cavalieri et al., 2008). Klasifikasi VED (*Vital, Essential, Desirable*) menggunakan metode kualitatif (Mukhopadhyay et al 2003). Sistem klasifikasi VED didasarkan pada pengetahuan dari para ahli pemeliharaan. Suku cadang dapat digolongkan *vital, essential* atau *desirable*. Meskipun terlihat sederhana, penataan bisa menjadi tugas yang sulit karena implementasinya dapat menyusahkan dari penilaian subyektif pengguna (Cavalieri et al., 2008). Gajpal et al (1994) menyarankan penerapan klasifikasi VED dengan Analytic Prosedur Hierarchy Process (AHP) untuk membatasi masalah penilaian subyektif.

Metode kualitatif lain yang biasanya dilaporkan dalam literatur untuk cadangan klasifikasi bagian adalah AHP. AHP telah dianggap sebagai yang terkemuka dan salah satu teknik pengambilan keputusan multi-kriteria paling populer. AHP menarik perhatian karena fakta bahwa biasanya data *input* mudah diperoleh (Triantaphyllou & Mann, 1995). Dengan demikian, metodologi ini disajikan dalam literatur sebagai suatu kemungkinan opsi untuk membuat peringkat kinerja. Ini digunakan dalam berbagai bidang, khususnya dalam manajemen operasi, untuk menyelesaikan masalah keputusan yang kompleks oleh memprioritaskan alternatif (Gass & Rapcsák, 2004; Subramanian & Ramanathan, 2012; Wang, Ji, & Chaudhry, 2014). Teknik ini bisa digunakan saat pertimbangan faktor kualitatif dan kuantitatif diperlukan dan membantu untuk menentukan faktor kritis melalui definisi struktur hierarkis yang mirip dengan silsilah keluarga (Bevilacqua & Braglia, 2000).

Dalam AHP, data yang relevan diperoleh dari penggunaan satu set berpasangan perbandingan. Penerapan AHP membantu mengurangi keputusan yang kompleks menjadi serangkaian perbandingan sederhana dan akibatnya, membantu mensintesis hasil menunjukkan keputusan terbaik dan alasan yang jelas untuk pilihan (Bevilacqua & Braglia, 2000). AHP menggunakan struktur hierarki multi-level tujuan, kriteria, subkriteria, dan alternatif. Perbandingan ini digunakan untuk menentukan bobot masing-masing kriteria dan ukuran kinerja relatif dari alternatif untuk setiap kriteria. Metode ini juga memverifikasi konsistensi perbandingan dan menyediakan mekanisme untuk memperbaikinya dalam kasus-kasus di mana perbandingan tidak konsisten (Triantaphyllou & Mann, 1995).

Implementasi AHP dapat disusun dalam tiga langkah (Bevilacqua & Braglia, 2000):

- a. Menentukan kriteria keputusan dalam bentuk hierarki tujuan, ini artinya terstruktur di berbagai tingkatan;
- b. Bobot kriteria, subkriteria, dan alternatif sebagai fungsi kepentingannya untuk elemen yang sesuai dari level yang lebih tinggi;
- c. Setelah matriks penilaian dikembangkan, vektor prioritas untuk menimbang elemen matriks dihitung.

2.1.3 Model Pengendalian Persediaan

Manajemen rantai pasokan terdiri dari beberapa sektor, salah satunya merupakan manajemen persediaan, yang merupakan bagian dari pekerjaan internal perusahaan. Jika perusahaan dapat mengelola sistem persediaan secara efektif dan efisien, maka bisa menghasilkan pengurangan biaya operasional (Chopra & Meindl, 2010). Inventaris sistem mengacu pada pemecahan masalah stok dalam bisnis. Manajemen stok yang baik akan memaksimalkan keuntungan bisnis, dan sebaliknya, kegagalan untuk mengontrol stok akan menghasilkan kerugian bagi perusahaan.

Ada dua kebijakan yang sering digunakan, yaitu *continuous review* dan *periodic review*. Tinjauan berkelanjutan atau *continuous review* menunjukkan bahwa status persediaan senantiasa diamati dan dipesan sesuai dengan lot size (Q) sudah dilakukan ketika level inventaris sudah tercapai untuk dilakukan pemesanan ulang atau *ReOrder Point* (ROP). Sementara tinjauan berkala atau *periodic review* menunjukkan status persediaan diamati secara berkala dan pemesanan ulang dilakukan untuk menaikkan tingkat persediaan ke suatu titik yang telah ditentukan sebelumnya. Kebijakan sistem inventaris ini tidak komprehensif, tetapi cukup untuk memberikan solusi masalah tentang keamanan manajemen persediaan sistem (Chopra & Meindl, 2016).

Berdasarkan Silver et al (2017) *continuous review* dibagi menjadi 2 sistem yaitu *order-point*, *order-quantity* dan *order-point, order-up to level*. Kemudian dijelaskan pula sistem pengendalian persediaan lainnya yaitu *periodic review*, *order-up to level* dan *mix review*. Berikut penjelasan lebih lengkapnya.

2.1.3.1. *Continuous Review*

2.1.3.1.1. *Order-Point, Order-Quantity (s,Q) System*

Dalam bukunya (Silver, A, E., Pyke, F, D., & Thomas, J, D. , 2017) metode ini merupakan sistem *continuous review* (yaitu, $R = 0$). Kuantitas tetap Q dipesan setiap kali inventaris posisi turun ke titik pemesanan ulang s atau lebih rendah. Perhatian terletak pada posisi persediaan bukan stok bersih, digunakan untuk memicu pesanan. Posisi persediaan, karena itu termasuk on-order stok, memperhitungkan dengan baik materi yang diminta tetapi belum diterima dari

pemasok. Sebaliknya, jika stok bersih digunakan untuk tujuan pemesanan, mungkin tidak perlu melakukan pemesanan lain hari ini meskipun pengiriman besar dijadwalkan besok. Contoh pemesanan yang bagus pada posisi dasar persediaan adalah cara seseorang minum obat untuk meredakan sakit kepala. Setelah mengambil obat, tidak perlu mengambil lebih banyak setiap 5 menit sampai sakit kepala hilang. Sebaliknya, itu dipahami bahwa bantuan sudah dipesan.

Sistem (s, Q) sering disebut sistem dua-bin karena satu bentuk fisik implementasi adalah memiliki dua nampan untuk penyimpanan suatu barang. Selama unit tetap berada di nampan pertama, permintaan terpenuhi dari itu. Jumlah di tempat sampah kedua sesuai dengan titik pemesanan. Makanya, saat ini yang kedua bin dibuka, pengisian dipicu. Ketika pengisian ulang tiba, nampan kedua adalah diisi ulang dan sisanya dimasukkan ke tempat sampah pertama. Perlu dicatat bahwa fisik dua-bin sistem akan beroperasi dengan baik hanya ketika tidak ada lebih dari satu pesanan pengisian ulang terutang di setiap titik waktu. Jadi, untuk menggunakan sistem, mungkin perlu menyesuaikan Q ke atas jauh lebih besar dari permintaan rata-rata selama waktu tunggu.

Keuntungan dari sistem kuantitas pesanan tetap (s, Q) merupakan metode yang cukup sederhana, khususnya dalam bentuk dua-bin, agar petugas stok mengerti, bahwa kesalahan cenderung terjadi, dan bahwa persyaratan produksi untuk pemasok dapat diprediksi. Kerugian utama dari sistem (s, Q) adalah bahwa dalam bentuknya yang tidak dimodifikasi, mungkin tidak dapat secara efektif mengatasi situasi di mana transaksi individu besar; khususnya, jika transaksi yang memicu pengisian ulang dalam sistem (s, Q) cukup besar, maka, pengisian ukuran Q bahkan tidak menaikkan posisi inventaris di atas titik pemesanan ulang. (Sebagai ilustrasi numerik, pertimbangkan nilai Q 10 bersama dengan transaksi permintaan ukuran 15 terjadi ketika posisi hanya 1 unit di atas s .) Tentu saja, dalam situasi seperti itu, seseorang bisa memesan kelipatan integer dari Q di mana bilangan bulat itu cukup besar untuk menaikkan posisi persediaan di atas s .

Continuous review atau yang dikenal juga dengan metode Q , memiliki makna yang sama dalam teknik *lot sizing* yaitu *Economic Order Quantity* (EOQ). Metode ini digunakan untuk meminimumkan ongkos inventori total yang terdiri

dari: ongkos pemesanan, ongkos simpan sedangkan ongkos pembelian konstan. Sehingga parameter yang harus diketahui adalah harga barang per unit, biaya setiap kali pemesanan dan biaya penyimpanan per unit per periode.

Formulasi model matematis EOQ adalah sebagai berikut:

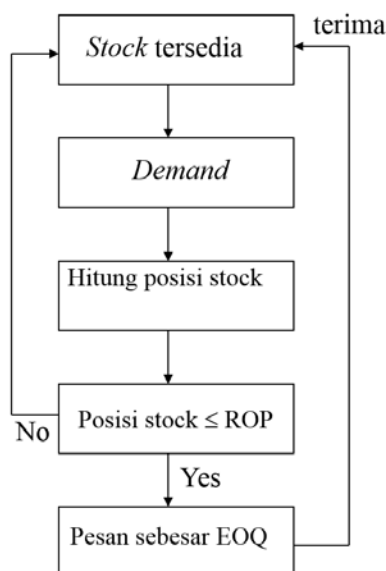
$$Q_0 = \sqrt{\frac{2 * RC * D}{HC}} \quad (2.3)$$

dimana

Q_0 = Quantity atau jumlah optimal suku cadang yang dipesan

RC = Reorder Cost atau biaya yang dikenakan setiap kali pemesanan suku cadang

HC = Holding Cost atau biaya simpan per unit per periode



Gambar 2.2. Diagram alur proses EOQ

Dari diagram alir gambar 2.2 tersebut dapat dianalisa sebagai berikut:

- Periode pemesanan tidak tetap
- Jumlah yang dipesan selalu sama
- Barang yang disimpan relatif lebih sedikit
- Memerlukan administrasi yang berat untuk selalu dapat memantau tingkat persediaan agar tidak terlambat memesan

Model EOQ hanya bisa digunakan dengan cukup baik dengan beberapa asumsi yang harus dipenuhi atau setidaknya mendekati. Asumsi pertama adalah permintaan terhadap suatu item bersifat kontinyu dengan tingkat yang seragam. Artinya item tersebut dibutuhkan dengan jumlah yang sama dari waktu ke waktu. Namun dalam kenyataannya asumsi ini tidak pernah terpenuhi (Pujawan, Supply Chain Management Edisi 3 Lengkap Membahas Strategi, Perancangan, Operasional dan Perbaikan Supply Chain untuk Menghadapi Daya Saing, 2017). Meskipun demikian model ini tetap cukup baik digunakan asalkan variasi permintaan dari waktu ke waktu tidak terlalu besar.

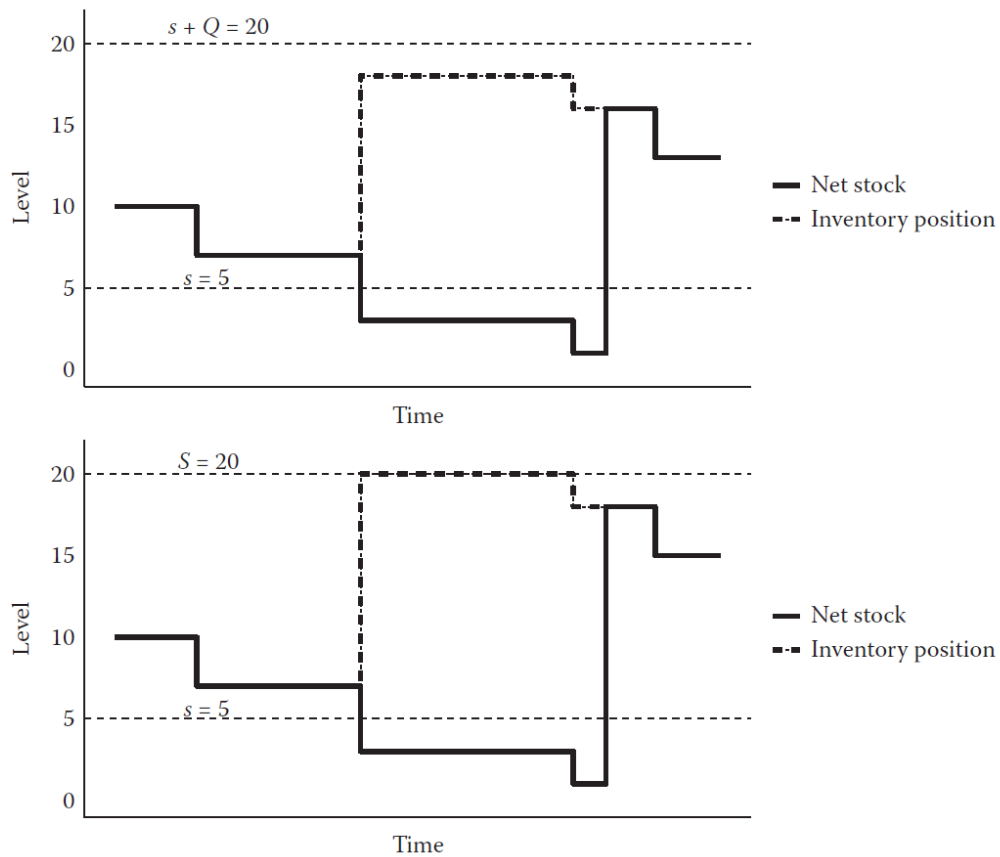
Untuk memudahkan implementasinya, sering digunakan *visual review system* dengan metode yang disebut **Two Bin System**:

- Dibuat dua *bin* (tempat) penyimpanan; Bin I berisi persediaan sebesar tingkat *reorder point*; Bin II berisi sisanya
Penggunaan *stock* dilakukan dengan mengambil isi Bin II; jika sudah habis artinya pemesanan harus dilakukan kembali; sementara menunggu pesanan datang, *stock* pada Bin I digunakan
- Penggunaan *stock* dilakukan dengan mengambil isi Bin II; jika sudah habis artinya pemesanan harus dilakukan kembali; sementara menunggu pesanan datang, *stock* pada Bin I digunakan

2.1.3.1.2. Order-Point, Order-Up-to-Level (s,S) System

Menurut (Silver, A. E., Pyke, F. D., & Thomas, J. D., 2017) dalam bukunya sistem ini juga mengasumsikan *continuous review*; dan, seperti sistem (s, Q), pengisian dilakukan setiap kali posisi persediaan turun ke titik pesanan s atau lebih rendah. Namun, berbeda dengan (s, Q) sistem, kuantitas penambahan variabel digunakan, cukup memesan untuk meningkatkan persediaan posisi ke urutan-ke-tingkat S. Jika semua transaksi permintaan adalah ukuran unit, kedua sistem tersebut identik karena permintaan pengisian akan selalu dilakukan ketika posisi persediaan tepat di s; yaitu, $S = s + Q$. Jika transaksi bisa lebih besar dari ukuran unit, pengisian ulang kuantitas dalam sistem (s, S) menjadi variabel. Perbedaan antara sistem (s, Q) dan (s, S) adalah diilustrasikan pada Gambar x Sistem (s, S)

sering disebut sebagai sistem *min-max* karena posisi persediaan, kecuali kemungkinan penurunan sesaat di bawah titik pemesanan ulang, selalu antara nilai minimum s dan nilai maksimum S .



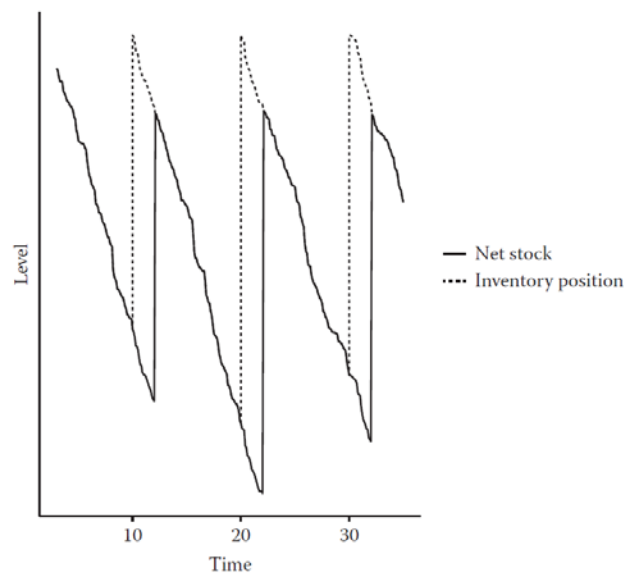
Gambar 2.3. Dua tipe *continuous review system*

Sistem (s, S) terbaik dapat ditunjukkan memiliki total biaya pengisian ulang, membawa inventaris, dan kekurangan yang tidak lebih besar dari yang terbaik (s, Q) sistem. Namun, komputasi upaya untuk menemukan pasangan (s, S) terbaik jauh lebih besar. Dengan demikian, (s, Q) mungkin merupakan pilihan yang lebih baik, kecuali mungkin ketika berhadapan dengan item di mana penghematan potensial cukup besar (mis., sebuah item A). Sangat menarik bahwa sistem (s, S) sering dijumpai dalam praktiknya. Namun demikian nilai-nilai parameter kontrol biasanya diatur dengan cara yang agak sewenang-wenang. Untuk item B (dan bahkan kebanyakan item A), optimalitas matematis tidak masuk akal; sebaliknya, kita membutuhkan cara yang cukup sederhana untuk mendapatkan nilai wajar s dan S . Ini akan dibahas lebih lanjut dalam bab berikutnya, yang berurusan dengan item A.

Salah satu kelemahan sistem (s, S) adalah kuantitas pesanan variabel. Pemasok bisa membuat kesalahan lebih sering; dan mereka tentu saja lebih menyukai prediktabilitas pesanan tetap kuantitas, terutama jika ukuran lot yang telah ditentukan nyaman dari kemasan atau penanganan sudut pandang (mis., palet, wadah, atau truk.)

2.1.3.2. *Periodic Review, Order-Up-to-Level (R,S) System*

Menurut (Silver, A. E., Pyke, F. D., & Thomas, J. D. , 2017) sistem ini, juga dikenal sebagai sistem siklus pengisian ulang, umum digunakan, terutama di perusahaan tanpa kontrol komputer yang canggih. Ini juga sering terlihat ketika barang dipesan dari pemasok yang sama, atau memerlukan pembagian sumber daya. Prosedur pengendaliannya adalah bahwa setiap unit R waktu (yaitu, pada setiap tinjauan instan) cukup dipesan untuk menaikkan posisi inventaris ke level S. Perilaku khas dari jenis sistem ini ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Sistem (R, S).
Pesanan dilakukan setiap 10 periode. *Lead time* 2 periode.

Karena properti ulasan berkala, sistem ini lebih disukai untuk memesan sistem poin dalam hal mengoordinasi pengisian item terkait. Misalnya, saat memesan dari di luar negeri, seringkali perlu mengisi wadah pengiriman untuk menjaga agar biaya pengiriman tetap terkendali. Itu koordinasi yang diberikan oleh sistem tinjauan berkala dapat memberikan penghematan yang signifikan. Selain itu,

(R, S) sistem menawarkan peluang reguler (setiap unit R waktu) untuk menyesuaikan urutan-ke-tingkat S, properti yang diinginkan jika pola permintaan berubah seiring waktu. Kerugian utama dari (R, S) sistem adalah bahwa jumlah pengisian bervariasi dan bahwa biaya tercatat lebih tinggi dari dalam sistem tinjauan kontinu atau *continuous review*.

Periodic review atau yang dikenal juga dengan metode P, melihat periode atau waktu yang tepat untuk memesan barang atau dalam teknik lot sizing adalah *Economic Order Interval* (EOI) atau *Period Order Quantity* (POQ). Aturan ukuran lot kuantitas pesanan (POQ) didasarkan pada teori yang sama dengan kuantitas pesanan ekonomi. Ini menggunakan rumus EOQ untuk menghitung waktu ekonomi antara pesanan. Perhatikan bahwa POQ tidak menghitung kuantitas tetapi sebenarnya menghitung jumlah periode yang harus dicakup. POQ dihitung dengan membagi EOQ dengan permintaan menilai. Ini menghasilkan interval waktu untuk pemesanan. Alih-alih memesan kuantitas yang sama (EOQ), pesanan ditempatkan untuk memenuhi persyaratan untuk waktu antar periode.

Jumlah pesanan yang ditempatkan dalam satu tahun kurang lebih sama dengan untuk jumlah ekonomi pesanan, tetapi jumlah yang dipesan setiap kali bervariasi. Dengan demikian, biaya pemesanan adalah sama seperti saat menggunakan EOQ tetapi karena jumlah pesanan ditentukan oleh permintaan aktual, biaya tercatat berkurang.

Formulasi model matematis EOI adalah sebagai berikut:

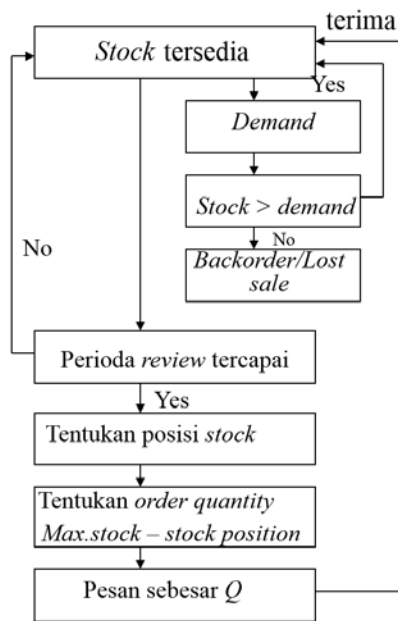
$$T_0 = \sqrt{\frac{2*RC}{D*HC}} \quad (2.4)$$

dimana

T_0 = Waktu optimal suku cadang yang dipesan

RC = Reorder Cost atau biaya yang dikenakan setiap kali pemesanan suku cadang

HC = Holding Cost atau biaya simpan per unit per periode



Gambar 2.5. Diagram alur proses EOI

Dari diagram alur gambar 2.5 tersebut diperoleh analisa sebagai berikut:

- Periode pemesanan tetap = T
- Jumlah yang dipesan sangat bergantung pada sisa *inventory* pada saat periode pemesanan tercapai; sehingga setiap kali pemesanan dilakukan, ukuran lot pesanan tidak sama
- Terdapat kemungkinan persediaan sudah habis tetapi periode pemesanan belum tercapai
- Akibatnya, *safety stock* yang diperlukan relatif lebih besar (untuk T dan untuk $LT = \text{Lead Time}$) : untuk melindungi variansi *demand* dan juga untuk *demand* selama periode pesan belum sampai
- Permasalahan utama:
 - ✓ interval antar pemesanan (*periode review*)
 - ✓ target *stock level*
- Pendekatan umum: hitung EOQ kemudian tentukan periode pemesanan berdasarkan ukuran pemesanan (keputusan final: management judgement)
- Berapapun interval yang ditetapkan, harus sesuai dengan target *stock level*
- Administrasi ringan

$$\text{Order quantity} = \text{target stock level} - \text{stock on hand}$$

2.1.3.3. (R, s, S) Periodic Review

Metode ini menggabungkan antara *continuous review* s, S dan *periodic review* R, S yaitu kapan jumlah optimal suku cadang dipesan. Dimana R merupakan interval waktu antar periode yang dilihat, s merupakan reorder point, dan S merupakan maksimum nilai persediaan (Silver, A. E., Pyke, F. D., & Thomas, J. D., 2017).

Ide awal dari metode *mix review* ini menggunakan prinsip *periodic review* namun dikombinasikan antara sistem (s, S) dan (R, S) . Bahwa setiap R unit waktu diperiksa posisi persediaannya. Jika berada pada atau di bawah titik pemesanan ulang, maka memesan cukup untuk menaikkannya ke S . Jika posisi di atas s , tidak ada yang dilakukan sampai pada periode berikutnya. Sistem (s, S) adalah kasus khusus di mana $R = 0$, dan (R, S) adalah kasus khusus di mana $s = S - 1$. Atau, dapat dianggap sistem (R, s, S) sebagai versi berkala dari sistem (s, S) . Juga, situasi (R, S) dapat dilihat sebagai implementasi periodik dari (s, S) dengan $s = S - 1$.

Telah ditunjukkan bahwa, di bawah asumsi yang cukup umum mengenai pola permintaan dan faktor biaya yang terlibat, sistem (R, s, S) terbaik menghasilkan total biaya pengisian ulang yang lebih rendah, pengangkutan, dan kekurangan dibandingkan sistem lainnya. Namun, komputasi upaya untuk mendapatkan nilai terbaik dari tiga parameter kontrol lebih intens daripada untuk sistem lain, tentu saja untuk item kelas B. Oleh karena itu, untuk barang-barang tersebut, metode yang disederhanakan sering digunakan untuk menemukan nilai-nilai yang wajar. Sistem ini juga lebih sulit untuk dipahami daripada beberapa sistem yang disebutkan sebelumnya. (R, s, S) sistem ditemukan dalam praktik di mana R sebagian besar dipilih untuk kenyamanan (mis., 1 hari) bahkan ketika Peralatan memungkinkan peninjauan terus menerus terhadap posisi persediaan.

2.2 Pendekatan Simulasi

Model simulasi digunakan sehari-hari sehingga konsep simulasi tidak asing lagi bagi kita. Misalnya, peramal cuaca setiap hari menunjukkan kepada kita simulasi sistem cuaca, di mana kita melihat pergerakan cuaca di atas beberapa hari ke depan. Banyak dari kita memiliki konsol game yang mensimulasikan berbagai

variasi kegiatan, memungkinkan kami untuk menguji keterampilan kami sebagai pembalap, petualang dan olahraga. Simulasi tidak harus berbasis komputer. Kereta api model dan jarak jauh perahu kontrol adalah contoh simulasi fisik yang lazim (Robinson, 2014).

Berdasarkan maknanya, simulasi berarti imitasi dari suatu keadaan tertentu. Simulasi merupakan suatu metode yang digunakan untuk meniru perilaku dari sebuah sistem dengan memanfaatkan bantuan software yang sesuai (Kelton et al, 2009). Dengan kata lain, simulasi merupakan tiruan dari sistem yang dinamik dengan menggunakan model computer untuk mengevaluasi dan meningkatkan performansi dari system tersebut. Statistik dari performansi sebuah sistem dapat dikumpulkan selama proses simulasi dan dirangkum secara otomatis untuk selanjutnya dianalisis. Awalnya simulasi dianggap sebagai sesuatu yang sangat rumit karena melibatkan banyak data dan bahasa pemrograman yang kompleks. Namun dengan semakin berkembangnya teknologi dan sistem informasi, perangkat lunak untuk simulasi yang tersedia saat ini pun sudah semakin mudah digunakan, bahkan diantaranya yang mampu menghasilkan animasi grafis dari sebuah sistem yang dimodelkan (Siswanto et al, 2018).

Apabila dibandingkan dengan metode trial and error, simulasi mampu menghasilkan keputusan secara tepat dan murah. Hal ini sangat jelas karena simulasi tidak melibatkan system yang sesungguhnya, sehingga tidak ada kerusakan yang akan ditimbulkan karena perubahan elemen system dalam model simulasi. Namun, kelebihan ini tidak berlaku untuk segala kondisi. Apabila dampak negative dari trial and error, baik finansial maupun non finansial, tidak signifikan dirasakan pada system yang sesungguhnya, maka tidak ada salahnya melaksanakan metode ini. Hanya ketika dampak metode trial and error signifikan bahkan cenderung besar, maka sebaiknya digunakan metode simulasi.

Beberapa kondisi dimana metode simulasi sesuai untuk digunakan (Harrel et al, 2004):

- Keputusan yang dibuat berupa keputusan operasional, terkait dengan kegiatan harian produksi atau pelayanan.

- Proses yang dianalisa dapat digambarkan dengan jelas dan merupakan proses yang berulang. Ketika proses bersifat untuk dan tidak berulang, simulasi dapat dilakukan namun tidak memberikan hasil yang representative. Proses yang tidak berulang mengingingkan tersedianya data historis. Selain itu karena proses tidak berulang, maka hasil dari simulasi tidak akan diperlukan untuk mengestimasi kejadian berikutnya.
- Adanya saling ketergantungan dan variabilitas pada aktivitas-aktivitas di dalam system ataupun elemen-elemennya, misalnya proses yang terjadi berurutan atau dalam system terdapat shared resource yang digunakan dalam beberapa proses yang berbeda. Saling ketergantungan juga dapat ditemui pada kejadian yang bersifat kondisional, artinya apa yang terjadi berikutnya sangat bergantung pada proses sebelumnya.
- Biaya yang diakibatkan oleh keputusan yang diambil lebih besar daripada biaya yang dikeluarkan dalam membuat simulasi. Dengan kata lain, keputusan yang diambil akan sangat beresiko jika dampaknya tidak diperkirakan atau dianalisa secara mendalam.
- Biaya yang dikeluarkan untuk eksperimen pada system actual lebih besar daripada biaya untuk membuat simulasi.

Menurut Siswanto et al (2018) terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan dalam metode simulasi:

Kelebihan:

- Mampu memodelkan keterkaitan dan ketergantungan antar elemen pada suatu system yang tidak mampu diperoleh dari metode analitis.
- Fleksibel untuk berbagai jenis model system walaupun belum tentu merupakan pendekatan yang paling efektif.
- Dapat menunjukkan penghematan waktu dan biaya, terutama untuk permasalahan skala besar.
- Tidak merusak atau mengganggu system yang sebenarnya.
- Menyediakan informasi bukan hanya pada satu ukuran performansi system, namun beberapa ukuran sekaligus.

- Hasil dari simulasi mudah untuk dimengerti dan dikomunikasikan sehingga orang yang tidak memahami teorinya pun dapat memahami dengan baik.
- menekankan pada detail system.

Kekurangan:

- Karena input pada model simulasi adalah bilangan random, maka output dari model simulasi pun bersifat random. Oleh karena itu dikenal istilah random in random out (RIRO). Dalam hal ini, analisis perlu memastikan bahwa data yang digunakan sebagai dasar penentuan kerandoman sudah valid dan representatif menggambarkan kejadian yang dimaksudkan.
- Simulasi tidak menyediakan hasil yang tepat, hanya berupa estimasi.
- Simulasi membutuhkan data yang banyak untuk mendapatkan hasil yang baik. Faktanya seringkali data dari masa lalu tidak tersedia, sehingga tidak memungkinkan dilakukan simulasi yang representative. Walaupun bisa, perlu dilakukan upaya pengambilan data primer yang sangat memakan waktu dan membutuhkan banyak biaya.

2.2.1 Jenis-jenis Simulasi Secara Umum

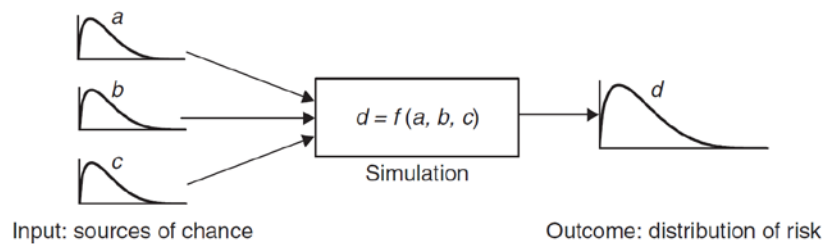
Menurut Robinson et al (2014), metode pendekatan simulasi dibagi menjadi simulasi kejadian diskrit, simulasi Monte Carlo, sistem simulasi berbasis dinamika dan agen.

2.2.1.1 Discrete-Event Simulation

Simulasi discrete-event digunakan untuk pemodelan sistem antrian. Sebuah system direpresentasikan sebagai entitas yang mengalir dari satu aktivitas (secara efektif penundaan waktu) ke yang lain. Aktivitas dipisahkan oleh antrian. Antrian terjadi ketika entitas mencapai tingkat yang lebih cepat daripada yang dapat diproses oleh aktivitas berikutnya. Di permukaan di sana mungkin tampak sebagai seperangkat keadaan yang terbatas digambarkan sebagai sistem antrian, tetapi aplikasinya banyak dan beragam. Memang, banyak sistem dapat dipahami sebagai sistem antrian, apakah itu manusia, item fisik atau informasi yang diwakili oleh entitas yang bergerak melalui sistem. Sebagai hasilnya, simulasi peristiwa diskrit banyak digunakan di seluruh seluruh jajaran organisasi.

2.2.1.2 Monte Carlo Simulation

Simulasi Monte Carlo mengambil namanya dari kasino terkenal di Kerajaan Monako. Seperti namanya, tujuan simulasi Monte Carlo adalah untuk memodelkan risiko di lingkungan di mana hasilnya adalah subyek yang akan mengalami perubahan. Dunia dipahami sebagai seperangkat distribusi yang mewakili variable yang menggambarkan sumber-sumber peluang. Distribusi digabungkan dalam beberapa cara untuk menentukan hasilnya. Gambar 2.6 mengilustrasikan ide tersebut, menunjukkan tiga sumber peluang (a, b dan c), yang digabungkan dalam simulasi (menggunakan fungsi f) untuk menghasilkan hasil d, yang merupakan distribusi hasil yang mungkin diperoleh.



Gambar 2.6. Simulasi Monte Carlo

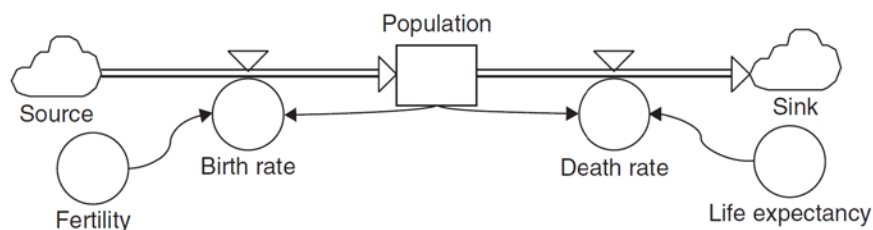
Sebagai contoh sederhana, a, b dan c masing-masing dapat mewakili peran mati, memberi angka antara 1 dan 6 dengan probabilitas yang sama. Hasil yang menarik, d, adalah total dari tiga peran dadu (membuat $f = a + b + c$). Jika sistem ini disimulasikan sekali, maka hasil tunggal diperoleh. Misalnya, $a = 3$, $b = 2$, $c = 5$ memberi $d = 10$. Tetapi ini hanyalah salah satu dari banyak hasil yang mungkin. Untuk menentukan rentang hasil dan probabilitasnya, sistem ini bisa disimulasikan berkali-kali untuk menentukan distribusi hasil untuk d. Risiko mendapatkan, katakanlah, nilai $d > 15$ kemudian dapat ditentukan.

Kasus di atas merupakan contoh yang sangat sederhana untuk distribusi d dapat ditentukan dengan menuliskan semua kombinasi lemparan mati. Pendekatan Monte Carlo digunakan secara luas dalam hal yang jauh lebih kompleks dan bermakna lingkungan, terutama untuk manajemen portofolio. Dalam jasa keuangan, Metode Monte Carlo digunakan untuk memodelkan portofolio masa depan suatu investasi. Di dalam hal ini, input adalah stok dalam portofolio, masing-masing dengan distribusinya sendiri dari kemungkinan hasil dalam hal harga saham

di masa depan. Hasilnya adalah nilai total portofolio pada suatu titik di masa depan. Simulasi Monte Carlo juga digunakan dalam industri farmasi untuk memprediksi keuangan masa depan untuk melihat kinerja seperangkat investasi dalam penelitian dan pengembangan obat-obatan baru. Sebenarnya, simulasi ini tidak harus memodelkan progresi waktu, sesuai definisi simulasi kita di atas, tetapi simulasi Monte Carlo sering digunakan untuk mensimulasikan hasil di beberapa titik masa depan dan bahkan lebih pada serangkaian periode waktu (minggu, bulan atau tahun).

2.2.1.3 System dynamic simulation

Sistem dinamik adalah pendekatan simulasi berkelanjutan yang mewakili dunia sebagai seperangkat persediaan dan aliran (Forrester, 1961; Coyle, 1996; Sterman, 2000). Saham adalah akumulasi (mis. Barang, orang, uang) dan arus menyesuaikan tingkat stok dengan arus masuk meningkatkan stok dan arus keluar menguranginya. Saham berubah secara terus menerus sebagai respons terhadap keseimbangan arus masuk dan keluar dari stok; maka kebutuhan untuk memodelkan waktu secara terus menerus.



Gambar 2.7. Simulasi sistem dinamik

Gambar 2.7 menunjukkan model populasi sistem dinamik sederhana. Populasi, yang merupakan stok, meningkat dengan tingkat kelahiran, arus masuk, dan dikurangi dengan tingkat kematian, arus keluar. Lingkaran mewakili variabel dan panahnya hubungan. Tingkat kelahiran ditentukan oleh ukuran populasi dan kesuburan populasi. Tingkat kematian juga ditentukan oleh populasi dan harapan hidup. Persamaan digunakan untuk menggambarkan sifat hubungan ini.

Sistem dinamik terutama berfokus pada pemodelan umpan balik informasi dalam suatu sistem. Dalam contoh di gambar 2.7, umpan balik terjadi antara tingkat kelahiran dan populasi seperti yang ditunjukkan oleh aliran ke populasi dan

informasi panah kembali dari populasi. Sebagai tingkat kelahiran meningkat, populasi tumbuh pada tingkat yang lebih cepat (semua hal lain dianggap sama) dan karenanya tingkat kelahiran meningkat lebih lanjut.

Ada berbagai aplikasi yang sangat luas untuk sistem dinamik terutama cocok untuk menyelidiki masalah strategis. Sterman (2000) memberikan contoh yang mencakup pemodelan pertumbuhan perusahaan teknologi tinggi, perkiraan konsumsi energi dan harga komoditas, pemodelan pasokan rantai dan menganalisis siklus bisnis.

Ada beberapa situasi di mana sistem dinamik dapat digunakan tempat simulasi secara diskrit, atau sebaliknya. Misalnya, keduanya digunakan untuk memodelkan rantai pasokan (Tako dan Robinson, 2012) dan masalah perawatan kesehatan (Evenden et al, 2005; Rauner et al., 2005). Beberapa penelitian terbaru telah diselidiki persamaan dan perbedaan antara simulasi kejadian diskrit dan sistem dinamik (Morecroft dan Robinson, 2005; Tako dan Robinson, 2009; Tako dan Robinson, 2010). Secara umum, simulasi kejadian diskrit lebih banyak sesuai ketika suatu sistem perlu dimodelkan secara rinci, terutama saat item individual perlu dilacak melalui sistem.

2.2.1.4 Agent-based Simulation

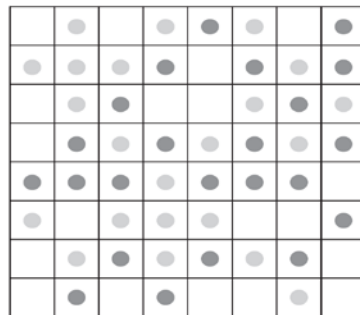
Asal usul simulasi berbasis agen terletak pada keinginan untuk mempelajari kompleks (adaptif) sistem dan perilaku mereka yang muncul (Heath and Hill, 2010). Pendekatan tersebut yang dipopulerkan oleh Sante Fe Institute melalui perangkat lunak Swarm, telah diterapkan di berbagai bidang untuk mempelajari biologi, sistem fisik dan sosial, misalnya. Ide dasarnya adalah memodelkan system dari bawah ke atas sebagai seperangkat agen, dengan perilaku individu, yang berinteraksi lemah. Tujuan dari pemodelan sistem dengan cara ini adalah untuk mengamati perilaku, pola dan struktur yang muncul (Macal dan Utara, 2010).

Macal dan North (2010) menggambarkan struktur simulasi berbasis agen model yang terdiri dari tiga elemen:

- Agen: dengan atribut dan perilaku
- Hubungan agen: menentukan dengan siapa agen berinteraksi dan bagaimana.

- Lingkungan agen: lingkungan di dalam, dan dengan, di mana agen berinteraksi

Model segregasi Schelling adalah contoh awal simulasi berbasis agen (Dalam kasusnya bukan pada komputer) di mana dinamika suatu populasi, yang dibagi menjadi dua kelompok yang bertujuan untuk tingkat pemisahan yang diinginkan, diselidiki (Schelling, 1971). Gambar 2.8 menunjukkan contoh model ini. Dunia direpresentasikan sebagai kotak dengan token abu-abu terang dan gelap. Token menginginkan sejumlah tetangganya dari jenis yang sama. Jika mereka adalah tidak, maka token bergerak ke ruang lain di *grid*. Proses ini berlanjut sampai semua token puas dengan lingkungan mereka. Model menunjukkan bahwa biasanya tingkat pemisahan yang jauh lebih tinggi tercapai daripada yang diinginkan oleh masing-masing individu.

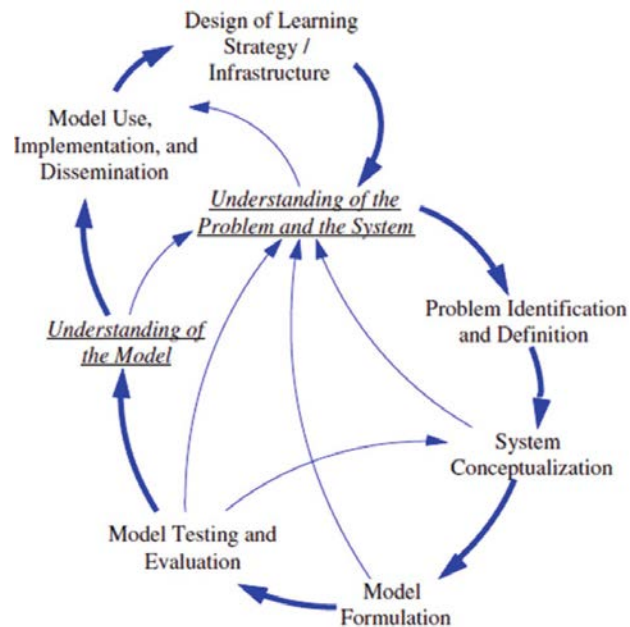


Gambar 2.8. Simulasi berbasis agen. Model segregasi Schelling

2.2.2 Penelitian Simulasi Sistem Dinamik

Untuk meningkatkan pemikiran sistem dan pembelajaran sistem, sistem harus dimodelkan dan disimulasikan. Pada dasarnya, ada enam langkah penting dalam membangun model sistem dinamik. Dimulai dengan identifikasi dan definisi masalah, diikuti oleh sistem konseptualisasi, formulasi model, pengujian dan evaluasi model, penggunaan model, implementasi dan penyebaran serta desain pembelajaran / strategi / infrastruktur.

Ada umpan balik dalam langkah ini dan diilustrasikan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Tinjauan umum tentang pendekatan pemodelan sistem dinamik (Sumber: Martinez-Moyano dan Richardson 2013)

Oleh karena itu, menurut Bilash et al (2017) langkah-langkah yang diperlukan untuk pemodelan dan simulasi sistem yang kompleks didasarkan pada pemikiran sistem adalah:

1. Identifikasi masalahnya.
2. Kembangkan hipotesis dinamik yang menjelaskan penyebab masalah.
3. Buat struktur dasar grafik kausal.
4. Tambahkan grafik kausal dengan informasi lebih lanjut.
5. Konversikan grafik sebab akibat yang diperbesar menjadi grafik aliran sistem dinamik.
6. Terjemahkan grafik aliran sistem dinamik ke dalam program Stella atau Vensim atau persamaan.

Setelah masalah diidentifikasi, langkah selanjutnya adalah mengembangkan teori yang disebut dinamik hipotesis berdasarkan perilaku mode referensi selama jangka waktu tertentu. Hipotesis dinamik tersebut dalam hal *causal loop* diagram dan *flowchart* diagram sistem dapat menjelaskan dinamika masalah. Hipotesis ini bersifat sementara dan bisa direvisi yang semata-mata tergantung pada yang

diamati dan mode referensi perilaku yang disimulasikan selama jangka waktu tertentu.

Proses pemodelan terdiri atas langkah-langkah sebagai berikut (Stermann, 2000):

1. Perumusan masalah dan pemilihan batasan dunia nyata. Tahap ini meliputi kegiatan pemilihan tema yang akan dikaji, penentuan variabel kunci, rencana waktu untuk mempertimbangkan masa depan yang jadi pertimbangan serta seberapa jauh kejadian masa lalu dari akar masalah tersebut dan selanjutnya mendefinisikan masalah dinamikanya.
2. Formulasi hipotesis dinamik dengan menetapkan hipotesis berdasarkan pada teori perilaku terhadap masalahnya dan membangun peta struktur kausal melalui gambaran model mental pemodel dengan bantuan alat-alat seperti *causal loop diagram*, *Stock flow diagram*, dan alat bantu lainnya. Model mental adalah asumsi yang sangat dalam melekat, umum atau bahkan suatu gambaran dari bayangan atau citra yang berpengaruh pada bagaimana kita memahami dunia dan bagaimana kita mengambil tindakan (Senge 1995).
3. Tahap formulasi model simulasi dengan membuat spesifikasi struktur, aturan keputusan, estimasi parameter dan uji konsistensi dengan tujuan dan batasan yang telah ditetapkan sebelumnya.
4. Pengujian meliputi pengujian melalui perbandingan dari model yang dijadikan referensi, pengujian kehandalan (*robustness*) dan uji sensitivitas.
5. Evaluasi dan perancangan kebijakan berdasarkan skenario yang telah diujicobakan dari hasil simulasi. Perancangan kebijakan mempertimbangkan analisis dampak yang ditimbulkan, kehandalan model pada skenario yang berbeda dengan tingkat ketidakpastian yang berbeda pula serta keterkaitan antar kebijakan agar dapat bersinergi.

Tahapan-tahapan pemodelan:

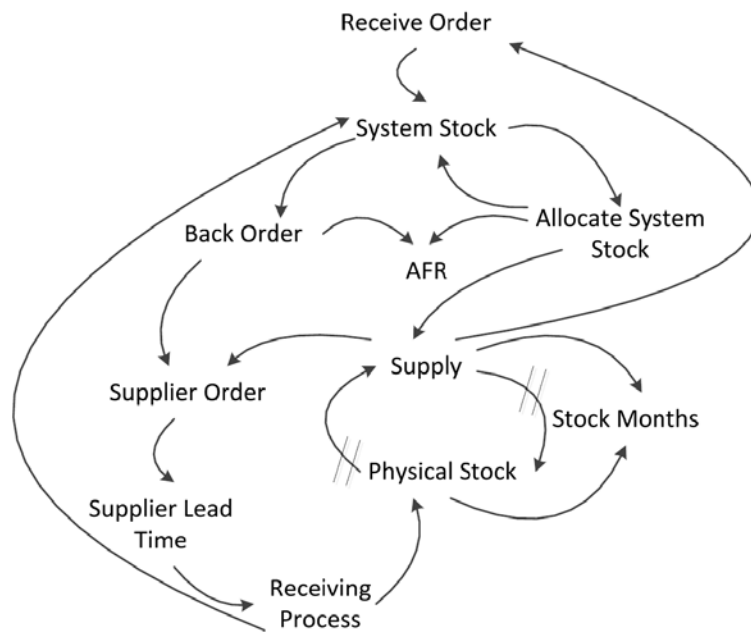
1. Mendefinisikan masalah dan tujuan model
2. Menentukan variabel tujuan
3. Memilih variabel control
4. Memilih parameter variabel control

5. Menguji model yang dihasilkan
6. Melihat bagaimana model akan bekerja, memilih horizon waktu atau perilaku dinamik dalam waktu
7. Jalankan model
8. Mengganti parameter dengan alasan ekstrim
9. Membandingkan hasil dengan data eksperimen
10. Perbaiki model berdasarkan parameter yang ada

2.2.3 Simulasi pada Manajemen Persediaan

Beberapa penelitian tentang manajemen persediaan telah banyak dilakukan dengan menggunakan simulasi, beberapa ada yang menggunakan simulasi diskrit dan beberapa ada yang menggunakan simulasi dinamik. Pada subbab ini akan dijelaskan penelitian di bidang manajemen persediaan berbasis simulasi sistem dinamik. Seperti penelitian yang telah dilakukan oleh (Botha, Grobler, & Yadavalli, 2017) dalam membandingkan 3 model persediaan pada industry automotive dengan metode simulasi sistem dinamik.

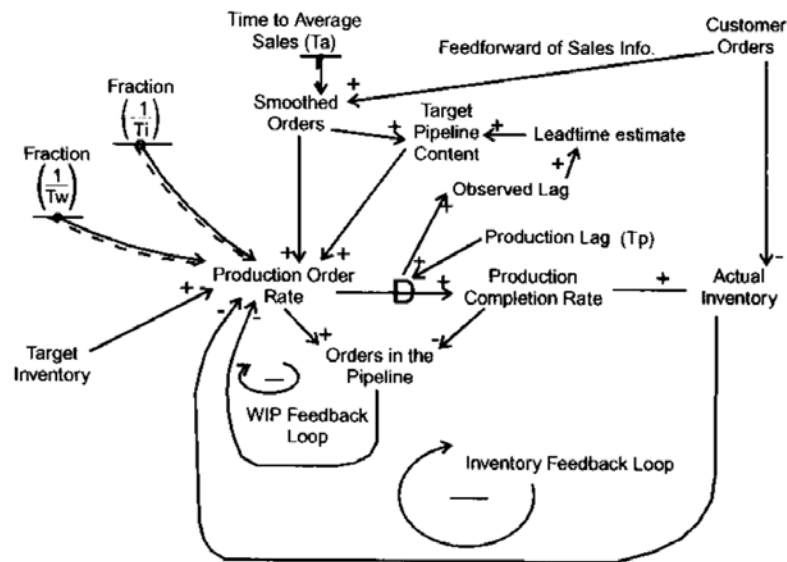
Seperti yang terlihat pada gambar 2.10 berikut yang merupakan diagram sebab akibat dalam jaringan *supply chain management* pengadaan suku cadang di industri otomotif di Afrika Selatan. Rantai pasokan suku cadang otomotif mengukur keberhasilannya dalam hal ketersediaan suku cadang dan stok yang diperlukan untuk mencapai target ketersediaan, diukur sebagai tingkat alokasi pengisian atau *Allocation Fill Rate* (AFR). Rantai pasokan berusaha untuk mencapai target AFR 95,5% dengan menjaga tingkat stok tetap rendah.



Gambar 2.10. *Causal loop diagram inventory management in automotive industry*

System Dynamic Simulation Model dibangun menggunakan bahasa stok dan arus untuk mewakili serangkaian persamaan diferensial yang membentuk deskripsi model. Bahasa simulasi digunakan pada model tersebut menggunakan iThink® dari iseesystems Inc. iThink® adalah salah satu dari sejumlah bahasa simulasi berorientasi objek secara khusus dirancang untuk mengembangkan SDSM. Masalah yang diselidiki akan dibagi menjadi dua bidang utama, yaitu: pemasok impor dan pemasok lokal. Pemasok komponen impor menerima dan memproses pesanan setiap hari, tetapi kirim mingguan dengan waktu tunggu pesanan 63 hari, sedangkan pemasok komponen lokal mengirim setiap hari dengan waktu kedatangan 7 hari atau 28 hari (Botha et al 2017).

Penelitian lain yang menggunakan pendekatan simulasi sistem dinamik untuk kasus *bullwhip effect* pada *inventory* adalah yang dilakukan oleh Disney dan Towill (1997) dalam memodelkan *lean logistic* seperti yang ada pada gambar 2.11 dimana peneliti tersebut memodelkan *causal loop diagram* untuk sistem produksi dan distribusi dalam *APIOBPCS (Automatic Pipeline, Inventory and Order Based Production Control System)*. Sistem tersebut mempunyai 3 pengendali yaitu *WIP, demand* dan *inventory* (Disney, S.M., , Naim, M.M., , & Towill, D.R., , 1997).



Gambar 2.11. Causal loop diagram APIOBCS

Semua sistem tersedia di sana untuk menunjukkan bagaimana pengendali ini mempengaruhi persyaratan produksi, bagaimana mereka berinteraksi masing-masing, dan bagaimana penekanannya dapat digeser dari satu pengontrol ke pengontrol lainnya dengan mengubah nilai-nilai T_i , T_a , dan T_w . Dengan demikian dapat dilihat dengan inspeksi bahwa struktur akan mempengaruhi respon sistem. Akan ditunjukkan bahwa pemahaman yang tepat tentang struktur akan mengarah pada keputusan berdasarkan informasi yang dapat meningkatkan daya saing perusahaan. Rata-rata penjualan, inventaris dan WIP *feedback loop* adalah pengaruh utama pada sistem (Disney et al 1997).

2.3 Decision Tree Diagram

Algoritma *decision tree* adalah teknik pembelajaran mesin yang penting dan mapan yang telah digunakan untuk berbagai aplikasi, terutama untuk klasifikasi masalah (Grajski, Breiman et al. 1986; Quinlan 1996). Pohon keputusan menyediakan sebuah metode nonparametrik untuk mempartisi dataset. Teknik alternatif penambangan data termasuk model regresi atau ANOVA yang mewakili interaksi antara variabel sebagai lintas-produk di antara mereka. Pohon keputusan dipilih untuk studi kasus ini karena kemampuannya untuk mengubah kumpulan data besar yang kompleks menjadi informasi yang mudah dipahami dan kaya

informasi tampilan grafis. Lebih khusus lagi, representasi pohon gambar yang dihasilkan dianggap sebagai alat yang berguna untuk penjelasan cepat kombinasi parameter kritis nilai-nilai yang menyebabkan kehilangan produk yang tidak dapat diterima yang kemudian dapat dikonversi menjadi satu set aturan. Keuntungan lebih lanjut menggunakan algoritma pohon keputusan termasuk minimal persyaratan untuk persiapan data dan kinerja yang kuat pada dataset besar.

CART (*Classification and Regression Tree*) membagi data dalam himpunan bagian homogen menggunakan partisi rekursif biner. Variabel yang paling diskriminatif pertama kali dipilih sebagai root simpul untuk mempartisi data yang ditetapkan menjadi simpul cabang.

Partisi diulang sampai simpul cukup homogen menjadi terminal yang disebut daun. Jadi di pohon struktur, daun mewakili label kelas dan cabang mewakili konjungsi fitur yang mengarah ke label kelas tersebut. Rincian lebih lanjut tentang algoritma CART dapat ditemukan di Grajski, Brieman et al, (1986).

2.4 Penelitian Sejenis

2.4.1 Penelitian Terdahulu

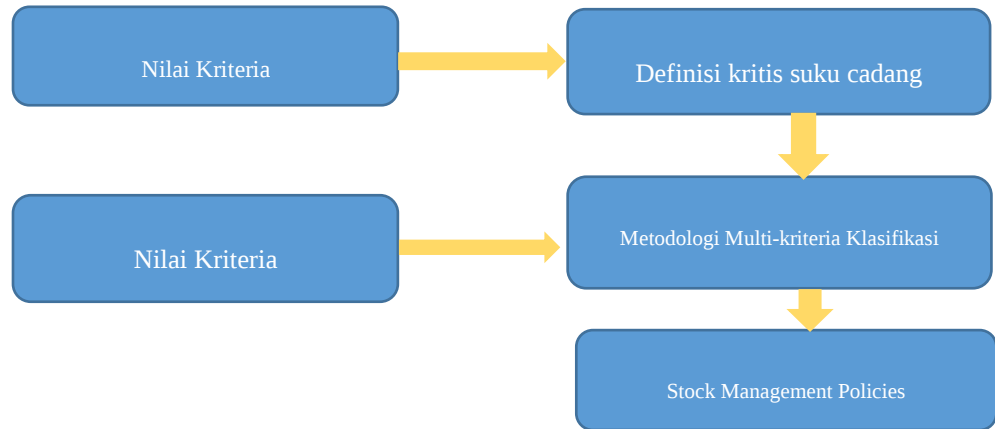
Beberapa penelitian telah dilakukan dalam mengklasifikasikan suku cadang menjadi beberapa multi kriteria, seperti pada table berikut:

Tabel 2.1. Pemilihan kriteria dalam studi kasus

No	Criteria	Botter and Fortuin (2000)	Braglia et al (2004)	Carkir and Cabloot (2008)	Bosnjakovic (2010)	Molenaers et al (2012)	Stoll et al (2015)	Mukhopadhyay (2003)
1	Lead Time	V	V	V		V	V	
2	Price	V	V	V				
3	Probability of failure		V			V	V	
4	Number of potential suppliers		V		V	V		
5	Annual demand	V		V				
6	Availability of equipment					V	V	
7	Inventory problem		V		V			
8	Availability of technical specifications					V		
9	Instalation time						V	
10	Criticality Equipment (VED)							V

Menurut Texeira (2018) klasifikasi multi-kriteria suku cadang dikembangkan untuk menetapkan suatu kebijakan persediaan yang memadai untuk

masing-masing suku cadang, yang menggabungkan serangkaian kriteria. Metodologi untuk klasifikasi suku cadang dibagi menjadi dua langkah (Gambar 2.12), divisi ini terkait dengan fakta bahwa departemen pembelian tidak cukup informasi tentang suku cadang yang penting untuk pemeliharaan dan dampaknya terhadap produksi (Teixeira et al 2018).



Gambar 2.12. *Input dan output dari metodologi klasifikasi*

Langkah pertama terdiri dari menentukan kekritisitas suku cadang untuk proses tersebut. Kekritisitas suku cadang didefinisikan mengidentifikasi kepentingan dan kebutuhan suku cadang bagian untuk produksi. Dalam hal ini, itu dimaksudkan untuk mengevaluasi konsekuensi itu kurangnya suku cadang dapat menyebabkan produksi. Tujuan utamanya adalah untuk menetapkan setiap suku cadang tingkat kekritisitas menggunakan tiga kategori: *Vital*, *Essential* dan *Desireable*.

- *Vital*: Kegagalan bagian memiliki dampak besar pada proses produksi.
- *Essential*: Kegagalan bagian memiliki dampak menengah pada proses produksi.
- *Desireable*: Kegagalan bagian tidak menimbulkan risiko pada proses produksi.

Karena itu, hasil dari langkah ini adalah untuk menetapkan suku cadang ke salah satu dari tiga level kekritisitas. Langkah ini akan digunakan dalam klasifikasi kedua yang bertujuan untuk membuat grup suku cadang berbagi kebijakan manajemen stok yang sama.

Sebelum mendefinisikan aturan untuk penentuan kritikalitas, penentuan kriteria harus dipilih yang paling tepat. Dua kriteria, yaitu Fungsi dan Dampak pada Produksi, didefinisikan. Pilihan kriteria didasarkan pada analisis literatur. Ini dilakukan untuk mengetahui pentingnya mengukur kekritisitas suku cadang, yaitu,

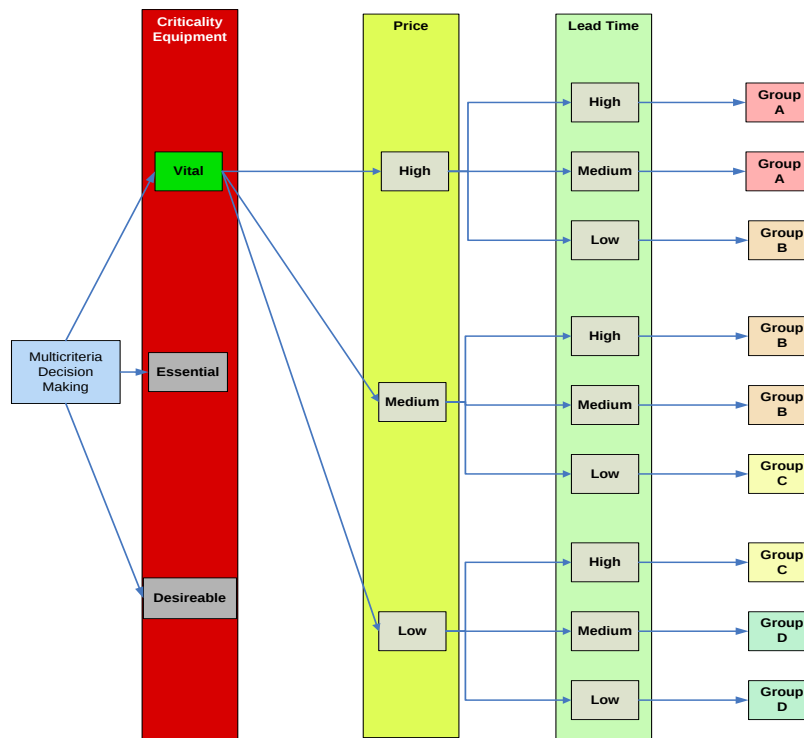
untuk mengetahui berdampak pada kegagalan suku cadang tertentu pada proses produksi.

Kriteria Fungsi dibagi menjadi tiga tingkatan dan kriteria Dampak pada Produksi dalam empat tingkatan. Pada langkah kedua kriteria yang terkait dengan manajemen persediaan ditambahkan. Dengan langkah ini, metodologi mempertimbangkan masalah tidak hanya terkait dengan pemeliharaan dan produksi tetapi juga masalah yang berkaitan dengan manajemen persediaan.

Informasi yang berkaitan dengan kriteria harga dan lead time diperoleh dari departemen yang bertanggung jawab untuk pembelian dan pengelolaan suku cadang. Pada langkah ini, dimaksudkan untuk mengumpulkan informasi dari departemen ini untuk departemen pemeliharaan dalam metodologi klasifikasi suku cadang yang sama.

Lead time adalah aspek yang relevan untuk dipertimbangkan dalam klasifikasi suku cadang. Secara logistik, ada keterlambatan antara urutan suku cadang dan kedatangan mereka. Situasi ini bahkan lebih penting ketika suku cadang sangat penting karena suku cadang tidak selalu tersedia di pemasok (Godoy, Pascual, & Knights, 2013).

Biaya bagian (biaya unit atau persediaan) adalah kriteria yang paling populer (Bacchetti, Plebani, Saccani, & Syntetos, 2010). Dalam hal ini, harga satuan digunakan untuk klasifikasi.

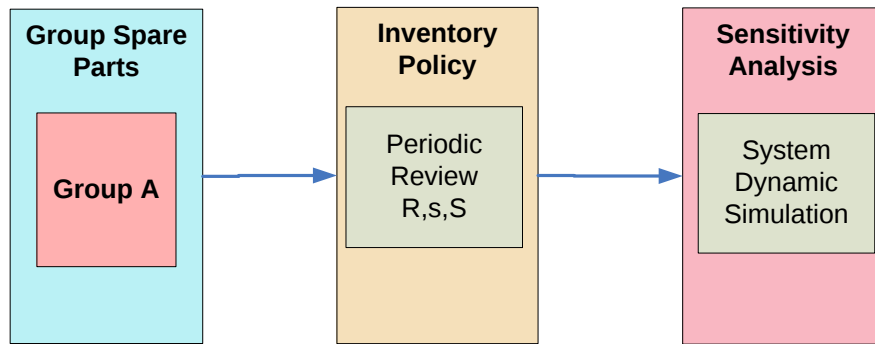


Gambar 2.13. *Decission tree* klasifikasi suku cadang (Teixeira et al 2018)

Pada gambar 2.13 merupakan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan membuat klasifikasi suku cadang berdasarkan *criticality equipment*, *price* dan *lead time*. Dari beberapa kriteria tersebut dikelompokkan menjadi 4 group yang mempunyai karakteristik berbeda.

2.4.2 Penelitian Saat Ini

Penelitian ini mengembangkan langkah yang akan diambil setelah dilakukan klasifikasi beberapa spare part berdasarkan multi kriteria yang telah ditentukan. Kemudian berdasarkan pola permintaan masa lalu, diaplikasikan kebijakan persediaan untuk menghitung jumlah suku cadang optimal yang dibeli dan kapan suku cadang tersebut digunakan. Kebijakan persediaan juga akan berdampak pada anggaran yang harus disediakan oleh Departemen Pemeliharaan supaya suku cadang yang dibeli bisa digunakan oleh User.



Gambar 2.14. *Decission tree* penelitian

Tabel 2.2. Posisi penelitian manajemen suku cadang

No	Researcher	Papers Related						
		Multi Criteria Spare part Management	Inventory Policy for spare part management	Simulation				Criticality Analysis for spare part management
				General System Dynamics	System Dynamics for Inventory management	System Dynamics for Lean Logistics	General Inventory management	
1	Teixeira et al (2018)	V						V
2	Molenaers et al (2012)							V
3	Huiskonen (2001)	V						V
4	Antosz et al (2019)	V						V
5	Archibald et al (1978)		V					
6	Babai et al (2010)		V					
7	Cagliano et al (2010)						V	
8	Botha et al (2017)				V			
9	Bertolini et al (2002)						V	
10	Ronald H. Ballou (2000)		V					
11	Barlas (1989)			V				
12	Disney et al (1997)					V		
13	This Research	V	V		V		V	V

Namun seiring kompleksitas manajemen suku cadang dalam studi kasus ini maka *inventory policies* saja tidak cukup untuk mengakomodir kompleksitas yang ada dalam studi kasus ini, sehingga diperlukan satu metode lagi yaitu simulasi sistem dinamik. Diharapkan dengan simulasi sistem dinamik ini beberapa parameter bisa disesuaikan dengan kebutuhan yang ada di pabrik tersebut, seperti *lead time* kedatangan barang dan waktu pengebonan suku cadang. Selain itu

simulasi ini digunakan untuk menganalisa sensitifitas sistem yang dibuat dan menguji ketahanan sistem yang akan dibuat.

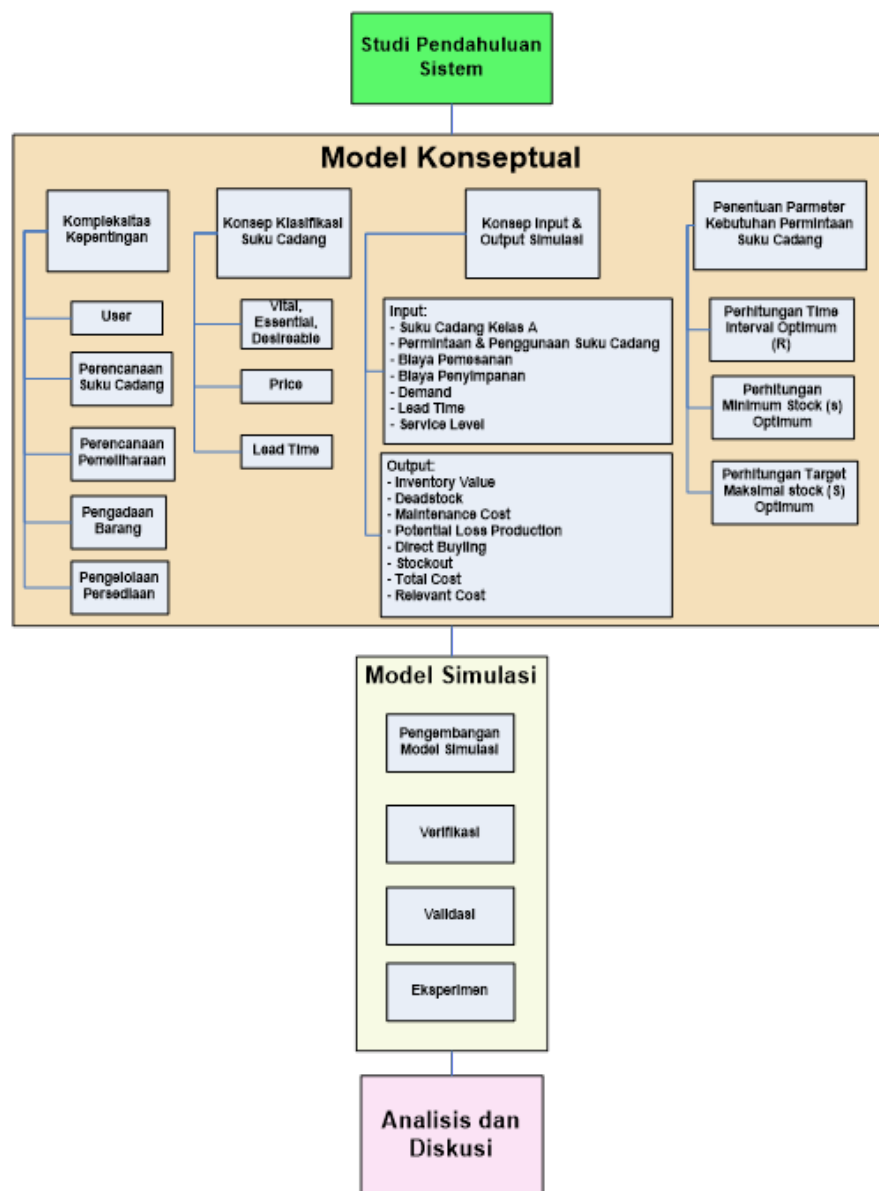
Pemilihan sistem dinamik dalam penelitian ini adalah untuk memudahkan manajemen dalam memastikan dampak positif yang bisa diambil terhadap beberapa parameter yang saling terkait dalam sistem. Penelitian ini tidak diperlukan proses antrian pembelian dan penggunaan suku cadang sehingga tidak perlu simulasi diskrit yang mengharuskan antrian setiap suku cadang.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai prosedur yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan yang diusulkan untuk mencapai tujuan penelitian yang dideskripsikan pada subbab 1.3. Ringkasan langkah penyelesaian masalah diilustrasikan pada Gambar 3.1, dan uraian detail untuk masing-masing langkah yang terdapat pada gambar tersebut disampaikan pada subbab berikut ini.



Gambar 3. 1. Diagram alur metodologi penelitian

3.1 Pengembangan Model Konseptual

Model simulasi yang dibuat harus mampu memodelkan konflik kepentingan yang melibatkan antar Unit Kerja dan digambarkan dalam diagram sebab akibat. Dalam menganalisa sensitifitas parameter yang telah diperhitungkan di sub bab sebelumnya dibuatlah simulasi untuk memastikan apakah parameter tersebut bisa dijalankan dalam sistem yang ada di perusahaan mengingat kompleksitas kepentingan yang ada dalam perusahaan tersebut. Untuk memastikan simulasi yang dibuat sama dengan kondisi sebenarnya maka model yang dibuat harus diverifikasi dan divalidasi sesuai dengan kaidah yang ada.

3.1.1 Studi Pendahuluan Sistem

Sub bab ini membahas tentang manajemen suku cadang yang ada di perusahaan ini dimana suku cadang tidak diklasifikasikan secara keseluruhan dan tidak ada perencanaan kebijakan persediaan yang mengakomodir seluruh kebutuhan pemangku kepentingan di perusahaan ini.

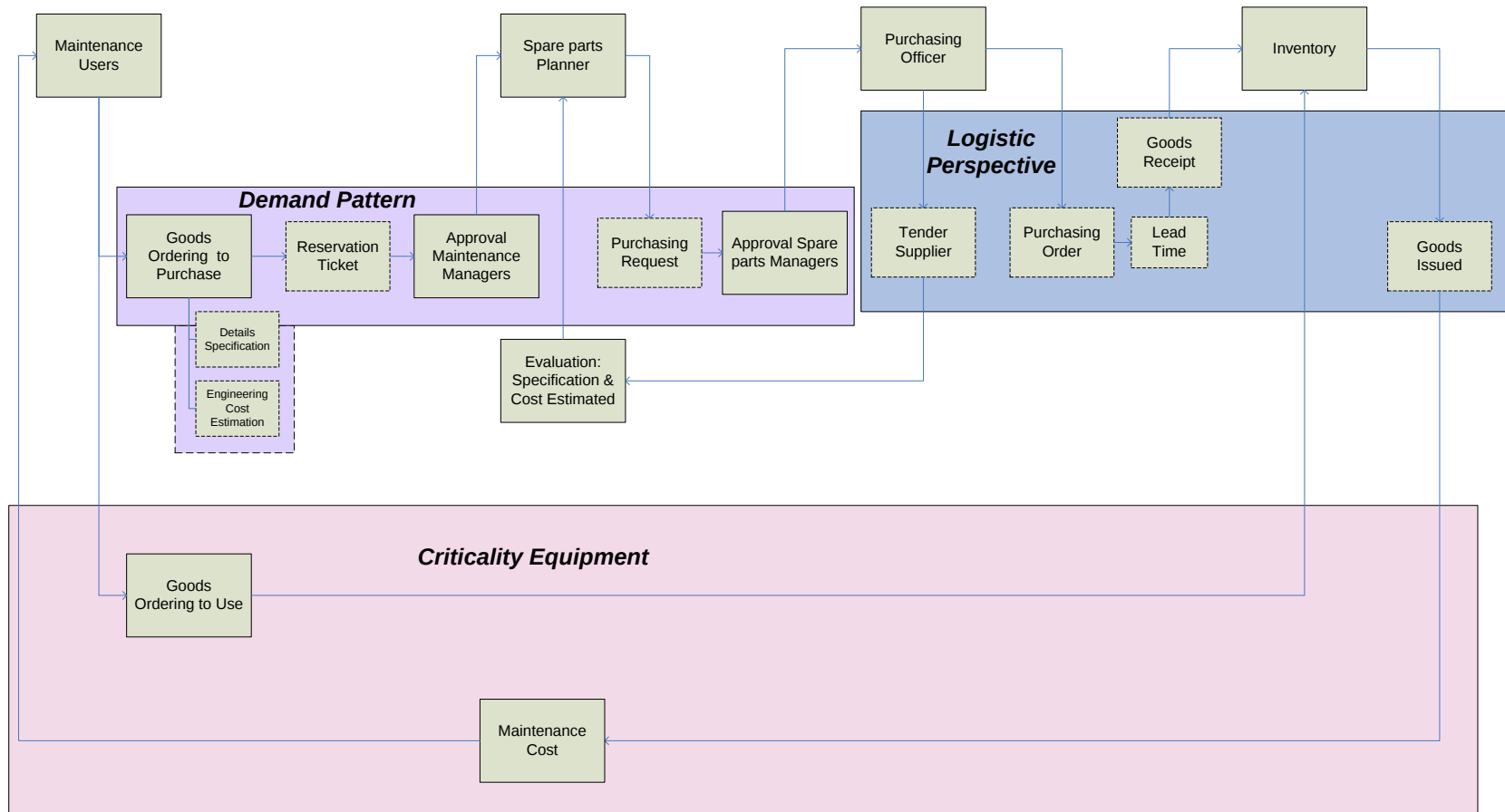
3.1.2 Model Konseptual

Model konseptual ini berupa data dan informasi umum yang dibutuhkan dalam membuat simulasi manajemen suku cadang berbasis sistem dinamik. Model ini juga berisi kerangka berfikir simulasi yang dituangkan dalam flowchart masing-masing proses yang ada dalam manajemen suku cadang di perusahaan ini.

3.1.2.1 Kompleksitas Kepentingan

Model yang dibuat harus mampu menggambarkan kompleksitas kepentingan antar unit kerja sehingga sesuai dengan motivasi pemilihan simulasi sistem dinamik.

3.1.2.2 Konsep Input Data Simulasi



Gambar 3. 2. Flow process spare parts perusahaan semen di Indonesia

Sub bab ini menjelaskan data input yang akan dimasukkan ke dalam simulasi diperoleh dari mana. Data yang akan diproses dalam sistem tersebut berasal dari 2 perseptif, yaitu aspek pemeliharaan dan aspek logistik. Perspektif pemeliharaan, data diperoleh seperti pada gambar 3.2 berasal dari unit kerja pengguna, perencanaan suku cadang, perencanaan pemeliharaan. Sedangkan perspektif logistik diperoleh dari unit kerja pengelolaan persediaan dan pengadaan suku cadang. Semua data yang akan diambil dan diproses adalah data selama tahun 2015-2019, dimana data tersebut yang bisa dijadikan role model terhadap sistem yang akan dibuat di tahun 2020 dan seterusnya.

Data dari unit kerja pengguna berhubungan dengan permintaan pembelian suku cadang dan pemakaian suku cadang. Sedangkan data yang diperoleh dari unit kerja perencanaan suku cadang, berhubungan dengan data permintaan pembelian suku cadang. Sedangkan data dari unit kerja perencanaan pemeliharaan berkaitan dengan konsumsi suku cadang yang diambil dari gudang suku cadang, batasan anggaran yang ditetapkan dari tahun ke tahun untuk setiap unit kerja pengguna.

Data dari unit kerja pengadaan barang berhubungan dengan harga barang dan waktu kedatangan yang menjadi pertimbangan pembelian suku cadang. Masing-masing kelompok suku cadang yang sudah diklasifikasikan tersebut ditentukan batasan harga dan waktu kedatangan suku cadang yang dipesan.

3.1.2.3 Konsep Output Data Simulasi

Sub bab ini akan menjelaskan macam-macam *output* data yang dihasilkan dari simulasi yang akan digunakan untuk menganalisa sistem yang dibuat sesuai tujuan yang telah dijelaskan pada bab 1.3.

3.1.2.4 Konsep Klasifikasi suku cadang

Klasifikasi suku cadang ini dilihat dari perspektif pemeliharaan peralatan dan perseptif logistik. Pada subbab ini akan dijelaskan metode yang digunakan untuk mengklasifikasi suku cadang menjadi beberapa kriteria berdasarkan perspektif pemeliharaan dan perspektif logistik.

3.1.2.5 Penentuan Kebijakan Persediaan Suku Cadang

Setelah mengklasifikasi suku cadang dengan metode di atas, maka langkah selanjutnya adalah penentuan parameter kebutuhan permintaan suku cadang. Kebijakan yang digunakan adalah metode (R,s,S) untuk menentukan jumlah setiap *spare part* yang ada dalam setiap kelompok suku cadang.

3.1.2.6 Flowchart Model

Model konseptual ini juga berupa *flowchart* masing-masing proses yang ada dalam manajemen suku cadang di perusahaan ini.

3.2 Model Simulasi dan Eksperimen

Bab ini membahas input data yang akan digunakan dalam simulasi. Dan tentunya model simulasi yang digunakan dalam menganalisa sensitifitas parameter kebijakan persediaan yang diusulkan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini.

3.2.1 Input Simulasi

Sub bab ini akan menampilkan rangkuman beberapa input data yang akan digunakan dalam pemodelan simulasi.

3.2.2 Model Simulasi

Sub bab di bawah ini membahas *detail* sub model sistem dinamik yang merepresentasikan kondisi di perusahaan. Sub model berikut ini sesuai dengan *flowchart* yang dibuat di sub bab sebelumnya yang memperhitungkan kondisi *existing* tanpa kebijakan persediaan dan usulan penggunaan kebijakan persediaan metode (R,s,S).

3.2.3 Verifikasi dan Validasi

Dalam membuat model simulasi juga dilakukan verifikasi dan validasi model untuk memastikan bahwa model yang dibuat tidak jauh berbeda dengan kondisi di dunia nyata.

3.2.4 Eksperimen

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai skenario kebijakan yang akan dilakukan. Yang pertama model eksisting harus dibuat terlebih dahulu sebagai

acuan maupun pembandingan dalam merancang skenario-skenario selanjutnya yang bertujuan untuk mendapatkan kebijakan-kebijakan yang sesuai dengan berbagai kemungkinan yang dapat terjadi di masa mendatang.

3.3 Analisis dan Diskusi

Dampak, kontribusi dan manfaat penelitian bagi perusahaan yang disertai bukti dari analisis hasil dari model-model yang telah dikembangkan sebelumnya. Diharapkan klasifikasi suku cadang ini akan berdampak pada penurunan biaya *inventory*, penurunan biaya pemeliharaan namun ketersediaan suku cadang tepat guna dan tepat waktu pemasangan untuk menunjang produksi di perusahaan tersebut. Selain itu, dalam analisa juga perlu dibandingkan apakah model yang diusulkan ini benar-benar memberikan perbaikan pada sistem eksisting sehingga semua tujuan yang telah dijelaskan di bab sebelumnya bisa tercapai dengan baik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

PENGEMBANGAN MODEL KONSEPTUAL

Pada bab ini akan menjelaskan rancangan dari simulasi model termasuk model konseptual dan model simulasi dalam Software Stella isee system. Hasil dari simulasi ini akan diverifikasi dan divalidasi untuk memastikan model yang dibuat merepresentasikan sistem yang sebenarnya.

Sistem ini digunakan untuk mengamati sensitifitas dari parameter kebutuhan suku cadang yang akan dihitung pada sub bab di bawah ini dimana terdapat beberapa suku cadang yang mempunyai nilai (R,s,S) yang berbeda. Namun pada simulasi ini untuk melihat kompleksitas manajemen suku cadang di perusahaan ini dibuatlah 3 suku cadang yang dimasukkan dalam satu sistem secara bersamaan. Dan mempengaruhi total biaya yang dihasilkan dari masing-masing perubahan parameter pada metode (R,s,S) untuk setiap suku cadang yang ditentukan tersebut.

4.1 Studi Pendahuluan Sistem

Sistem ini merepresentasikan sistem manajemen suku cadang yang ada pada perusahaan semen di Indonesia. Dimulai dari system perencanaan permintaan pembelian suku cadang, pengadaan, penyimpanan dan penggunaan suku cadang, dimana masing-masing proses sangat erat kaitannya dengan proses yang lainnya.

Proses permintaan pembelian suku cadang ini melibatkan *User*, Perencanaan Suku cadang dan Pengadaan Barang. *User* sebagai peminta pembelian, sedangkan Perencanaan suku cadang yang menerbitkan *purchasing request* hingga *approval* permintaan suku cadang hingga mengevaluasi secara teknis dan harga secara spesifikasi teknis dan perkiraan harga suku cadang tersebut.

Proses pembelian suku cadang melibatkan Unit Kerja Pengadaan barang dan Perencanaan Suku Cadang. Setelah PR tersebut *approved* oleh manager proses selanjutnya adalah Unit Kerja Pengadaan Barang mengundang vendor yang berkompeten untuk mengikuti tender terhadap pengadaan suku cadang yang diminta oleh *User*. Dokumen tender berupa dokumen teknis tersebut nantinya akan dievaluasi oleh Unit Kerja Perencanaan Suku Cadang, jika sesuai spesifikasi dan

perkiraan harga, maka vendor tersebut akan diundang untuk mengikuti tender Harga secara tertutup melalui e-auction. Sehingga setelah ada pemenang tender tersebut, Unit Kerja Pengadaan Barang akan menerbitkan *Purchasing Order* yang berisi jumlah suku cadang dan lead time suku cadang tersebut.

Setelah barang tersebut dikirim oleh vendor sesuai dengan lead time realitasnya, maka barang yang datang tersebut diterima oleh Unit Kerja Pergudangan untuk dilakukan pengecekan dahulu secara jumlah dan spesifikasi. Proses ini juga melibatkan *User* selain Pergudangan untuk memastikan bahwa barang yang datang sesuai dengan barang yang dipesan. Selanjutnya jika sesuai maka barang tersebut disimpan dalam gudang dan masuk pencatatan sebagai *goods receipt*.

Proses selanjutnya adalah proses penggunaan suku cadang atau *goods issued* dimana barang yang ada di gudang diambil secara fisik dan secara sistem terdokumentasi. Terdapat beberapa pihak yang terlibat dalam proses penggunaan suku cadang di gudang tersebut, diantaranya *User*, Perencanaan Pemeliharaan, Manajemen Pemeliharaan (selaku manajemen pusat pemeliharaan).

Dalam proses pengambilan barang di gudang, *User* dipastikan mempunyai anggaran yang sesuai dengan harga suku cadang tersebut disamping telah melakukan perencanaan penggunaan suku cadang tersebut di periode yang sama. Kemudian setiap barang yang diambil di gudang mempunyai batasan dalam sekali melakukan transaksi atau *locking budget*. Jika melebihi dari nilai yang telah ditentukan tersebut, maka *User* harus meminta persetujuan dari Perencanaan Pemeliharaan dengan parameter apakah ada rencana penggunaan suku cadang tersebut di periode tersebut.

Anggaran yang dimiliki oleh *User* diberikan oleh Unit Kerja Perencanaan Pemeliharaan dimana parameternya adalah *history* penggunaan suku cadang di periode tahun-tahun sebelumnya, perencanaan penggunaan suku cadang secara tahunan dan kebijakan dari Pusat Manajemen Pemeliharaan.

Setiap tahun perusahaan ini melakukan stock opname terhadap gudang suku cadang sehingga status suku cadang bisa terlihat pergerakannya. Suku cadang yang masih tersedia di atas 5 tahun oleh Unit Pengelolaan Persediaan dikategorikan

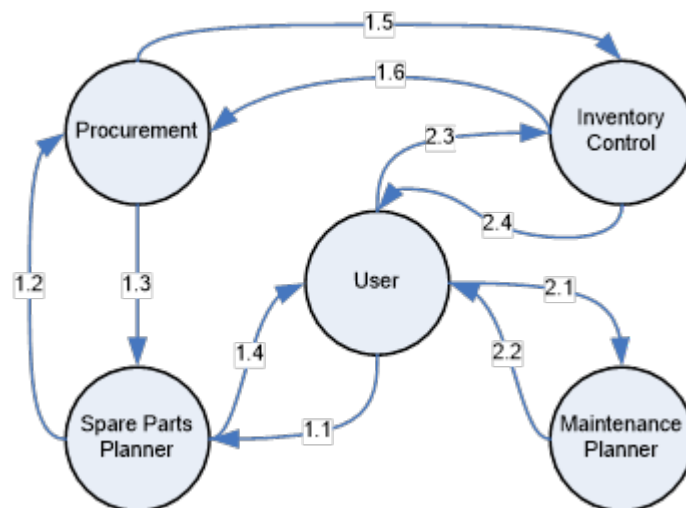
sebagai *deadstock*. Sehingga pada penelitian ini pendekatan *deadstock* suku cadang merupakan *inventory level* di akhir periode penelitian ini (72 bulan).

4.2 Model Konseptual

Konsep simulasi yang akan dibuat ini mempengaruhi apakah simulasi sistem dinamik yang dibuat bisa merepresentasikan kondisi keterkaitan suku cadang dalam perspektif pengadaan, pemeliharaan dan persediaan.

4.2.1 Kompleksitas Kepentingan

Gambar 4.1 di bawah merupakan diagram keterkaitan antar unit kerja yang terlibat dalam manajemen suku cadang di perusahaan ini. Dimulai dari proses permintaan pembelian suku cadang yang ada di node 1.1 dimana permintaan pembelian dari User akan diproses oleh unit kerja perencanaan suku cadang yang kemudian akan diproses oleh unit kerja pengadaan barang sesuai node 1.2 untuk dilakukan tender ke beberapa vendor terkait.



Gambar 4. 1 Diagram keterkaitan antar Unit Kerja

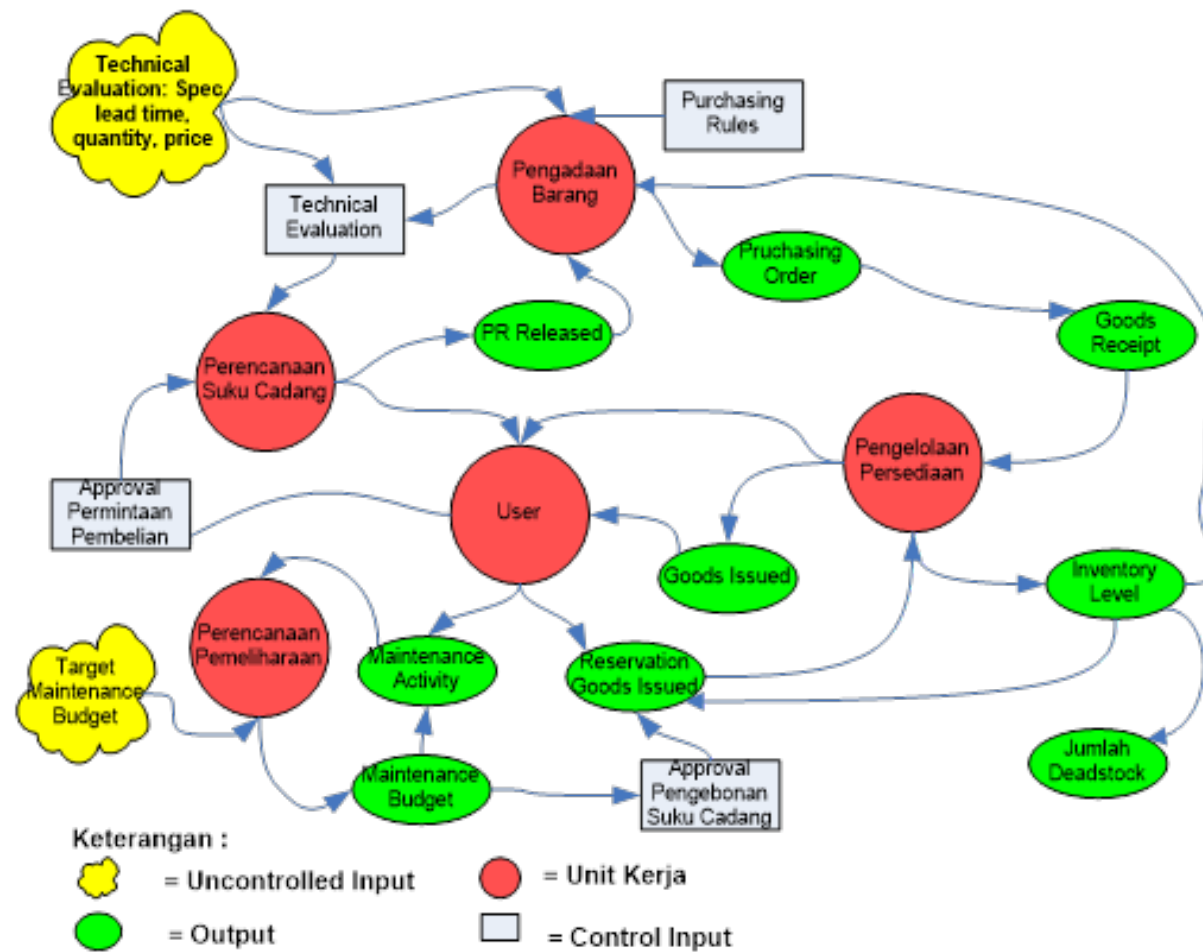
Namun sebelum proses tender, pihak pengadaan barang melihat *inventory level* untuk suku cadang tersebut, sehingga jika levelnya berada di bawah jumlah yang dibutuhkan oleh User maka proses dilanjutkan, dan sebaliknya jika level di atas kebutuhan User, proses tender ditunda dulu. Pada proses tender, dari beberapa vendor tersebut mengirimkan berkas evaluasi teknis untuk dipastikan penawaran teknis tersebut sesuai dengan kebutuhan *User*, sehingga pada node 1.3 dokumen

penawaran teknis tersebut mengalir kembali ke perencanaan suku cadang dan jika secara teknis masih butuh konfirmasi ke *User* maka dokumen tersebut mengalir ke *User* sesuai node 1.4.

Setelah dokumen tersebut terkonfirmasi oleh *User* terkait spesifikasi, lead time, harga dan jumlah, maka dokumen tersebut dikembalikan ke perencanaan suku cadang untuk diteruskan ke pengadaan barang untuk dilakukan proses selanjutnya yaitu tender harga melalui *e-procurement* dengan peserta tender adalah vendor yang memenuhi persyaratan penawaran teknis. Setelah terdapat pemenang tender harga, maka muncul dokumen *purchasing order* dengan *lead time* tertentu hingga barang tersebut dikirim sesuai kesepakatan tender maka proses berikutnya adalah *goods receipt* sesuai node 1.5.

Sedangkan pada proses pengebonan barang atau *goods issued* dimulai dari node 2.1 dimana setiap bulan, *User* mengirimkan dokumen rencana aktifitas pemeliharaan kepada unit kerja perencanaan pemeliharaan sebagai pembanding budget yang disediakan oleh perencanaan pemeliharaan sesuai dengan rencana aktifitas pemeliharaan tersebut. Kemudian pada node 2.2 merupakan aliran informasi berupa maintenance budget yang disediakan oleh perencanaan suku cadang kepada *User* untuk melakukan aktifitas pengebonan suku cadang di gudang. Pada node 2.3 dalam proses pengebonan barang, *User* perlu aliran informasi dari pengelolaan persediaan berupa *inventory level* suku cadang sesuai node 2.4. Jika level suku cadang tersebut sesuai kebutuhan *User* maka transaksi *goods issued* bisa diteruskan.

Sistem dinamik ini diharapkan mampu mewakili kompleksitas sistem pada manajemen suku cadang di perusahaan ini. Yaitu adanya perbedaan waktu kedatangan suku cadang ke gudang dan waktu pemakaian atau pengebonan suku cadang di gudang. Gambar 4.2 di bawah ini merupakan diagram sebab akibat pada proses yang melibatkan antar unit kerja. Gambar ini merepresentasikan detail dari gambar 4.1 dimana setiap aktifitas dari masing-masing unit kerja terakomodir.



Gambar 4. 2. Causal loop diagram persediaan suku cadang

Waktu kedatangan atau *lead time* suku cadang di gudang ditentukan oleh beberapa faktor yaitu kapan *User* melakukan permintaan pembelian hingga permintaan pembelian itu disetujui oleh Kepala Departemen Pemeliharaan, kapan reservasi permintaan pembelian itu diproses menjadi *Purchasing Request (PR)* oleh unit kerja perencanaan suku cadang hingga disetujui oleh Kepala Departemen Pemeliharaan, kapan PR tersebut diproses oleh Unit kerja Pengadaan Barang untuk dilakukan *Request for Quotation* lalu mengundang vendor terkait untuk melakukan penawaran teknis dan harga, kapan form penawaran teknis tersebut dievaluasi oleh unit perencanaan suku cadang yang terkadang butuh konfirmasi ke *User* lagi, kapan penentuan pemenang vendor tersebut disampaikan ke vendor hingga muncul *Purchasing Order (PO)*, dan terakhir menjadi *lead time* pengiriman barang dalam hal ini suku cadang ditentukan dan diterima oleh pihak unit pengelolaan persediaan.

Sedangkan waktu pemakaian suku cadang atau waktu pengebonan suku cadang di gudang juga belum bisa ditentukan waktunya sehingga ada potensi besar barang tersebut menjadi *deadstock* karena *obsolete* atau usang dan rusak karena *life time*. Waktu pemakaian ini juga tergantung dari budget yang dimiliki oleh *User*, jika budget masih tersedia maka suku cadang bisa diambil dari gudang dan sebaliknya jika *budget* tidak cukup tersedia maka suku cadang tersebut tidak bisa diambil dari gudang.

Sehingga terjadi perbedaan 2 kutub yang saling berkebalikan dalam pengelolaan persediaan ini, di satu sisi diharapkan ketersediaan suku cadang senantiasa tersedia dan di satu sisi lainnya meskipun suku cadang tersedia namun jika anggaran pemeliharaan dalam hal ini anggaran *User* terbatas maka suku cadang tidak bisa diambil dari gudang yang berpotensi besar terjadi *deadstock*. Berdasarkan kompleksitas itulah simulasi sistem dinamik digunakan untuk melihat titik keseimbangan nilai *inventory* suku cadang dengan memperhatikan faktor pemeliharaan dan logistik.

4.2.2 Input Simulasi

Tujuan dari simulasi ini adalah untuk menguji kebijakan persediaan metode (R,s,S) ke dalam kondisi sebenarnya di perusahaan. Maka input simulasi ini berupa suku cadang yang akan diklasifikasi sesuai langkah di bawah ini, kemudian

menghitung permintaan pembelian dan penggunaan suku cadang tersebut yang diperoleh dari data perusahaan. Dari data tersebut maka dapat dihitung biaya pesan, biaya simpan, dan beberapa parameter input yang akan dijelaskan lebih detail di sub bab di bawah ini.

4.2.2.1 Konsep Klasifikasi Suku Cadang

Pada saat ini perusahaan mengklasifikasi suku cadang yang digunakan pada sistem operasinya berdasarkan 2 tipe yaitu barang rutin dan barang non rutin. Untuk barang dengan kategori rutin pembelian dan penggunaannya harus sesuai dengan kriteria yang ditetapkan oleh Unit Kerja Pengadaan Barang. Namun untuk kategori barang non rutin, pola permintaan dan penggunaan suku cadang berdasarkan permintaan semata-mata dari *User*. Sedangkan pada unit kerja pengadaan barang belum ada prioritas terhadap barang non rutin tersebut mana suku cadang yang harus dibeli dulu sesuai dengan kebutuhan dan anggaran yang dimiliki oleh perusahaan.

Langkah klasifikasi yang pertama adalah bagaimana skala prioritas suku cadang dipandang dari sudut pandang maintenance atau *criticality equipment*. Dalam menentukan tingkat kekritisan suku cadang dalam perspektif pemeliharaan terdapat 2 langkah yang akan dilakukan yaitu mendefinisikan kemudian mengklasifikasikan tingkat kekritisan suku cadang.

Pada tahap pertama yaitu mendefinisikan tingkat kritis spare part terhadap kelangsungan sebuah proses produksi di perusahaan tersebut. Semua spare part dikategorikan menjadi 3 **Level yaitu Vital, Essential dan Desirable**, dimana masing-masing level dikategorikan terhadap dampak resiko yang akan dibebankan terhadap kelangsungan operasional mesin produksi. Tujuan dari mendefinisikan *spare part* ini adalah sebagai bahan dalam pengambilan keputusan terhadap manajemen persediaan.

Pada tahap kedua yaitu mengklasifikasikan macam-macam *spare part* menjadi beberapa kriteria dari segi fungsi dan dampak terhadap produksi. Kemudian sudut pandang lain yang dipilih pada pemilihan kriteria ini tidak hanya pada produksi dan pemeliharaan saja namun juga dari segi manajemen persediaan.

Pada kasus ini kriteria klasifikasi suku cadang dari sudut pandang Produksi adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 1. Kriteria suku cadang dari sudut pandang Pemeliharaan (Produksi)

Kriteria	Deskripsi
Fungsi :	Fungsi <i>spare part</i> pada proses produksi
1. Tambahan	Fungsi <i>spare part</i> digunakan untuk <i>supporting</i> terhadap peralatan operasi, tidak berdampak langsung terhadap produksi. (Contoh sifat: kenyamanan, ekonomis).
2. Keselamatan	Fungsi <i>spare part</i> untuk menjaga keselamatan <i>operator</i> .
3. Tak tergantikan	<i>Spare part</i> digunakan pada peralatan utama sebuah mesin produksi.
Dampak Produksi	Dampak kerusakan <i>spare part</i> pada proses produksi
0. No Impact	Kerusakan <i>spare part</i> tidak berdampak pada produksi
1. Quality Losses	Kerusakan <i>spare part</i> berdampak pada kerusakan hasil produksi
2. Productivity	Kerusakan <i>spare part</i> menyebabkan berkurangnya jumlah produk yang dihasilkan.
3. Sudden Stop	Kerusakan <i>spare part</i> menyebabkan berhentinya mesin secara tiba-tiba yang menyebabkan shutdown peralatan keseluruhan.

Matriks Pengelompokan Kriteria Kritis dari sudut pandang Pemeliharaan Peralatan Produksi diharapkan seperti table di bawah ini.

Tabel 4. 2. Matriks pengelompokan *criticality equipment*

		Production Impact			
		0	1	2	3
Function	1	1	2	3	
	2	2	3	4	5
	3		4	5	6

Desirable
Essential
Vital

Langkah kedua klasifikasi suku cadang adalah bagaimana skala prioritas suku cadang dilihat dari sudut pandang logistik yaitu *lead time* dan *price*. *Lead time* dan *Price* merupakan 2 kriteria utama dalam menyediakan barang sesuai dengan permintaan *User* yaitu departemen pemeliharaan.

Kemudian dari beberapa kriteria yang perlu dipertimbangkan tersebut, maka diperlukan metode yang akan digunakan untuk menilai skala prioritas dari beberapa kriteria sudut pandang suku cadang, dalam penelitian ini menggunakan *Decision Tree Analysis* seperti yang terlihat di gambar 2.13 dan 2.14 pada bab 2.

Klasifikasi suku cadang ini terdapat 3 langkah yang akan diambil yaitu klasifikasi tingkat kekritisitas suku cadang, klasifikasi harga dan klasifikasi *lead time*. Langkah pertama adalah mengklasifikasikan suku cadang berdasarkan tingkat kekritisitas suku cadang. Terdapat 377 item suku cadang kategori non rutin yang telah diklasifikasikan dengan tingkat kekritisitas vital. Kemudian dari 377 item suku cadang

vital tersebut, diklasifikasikan suku cadang berdasarkan harganya menjadi 3 kategori seperti pada tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4. 3. Klasifikasi harga suku cadang

No	Harga (Rp)	Klasifikasi
1	$x \leq 10.000.000$	Low
2	$10.000.000 < x < 50.000.000$	Medium
3	$x \geq 50.000.000$	High

Berdasarkan tabel kriteria harga suku cadang, dari 377 item suku cadang tersebut diperoleh daftar suku cadang dengan klasifikasi High Price seperti tabel berikut.

Tabel 4. 4. Klasifikasi *vital equipment* dan *high price*

No	Stock Number	Description Name	Price (Rp)
1	624-200281	REDUCER:246151 TZ;TXT625T;2010RPM	55,000,000
2	620-200253	COUPLING, HS; ZWN 315-A	290,000,000
3	312-200753	ROLLER WEAR SEGMENT, (XD-0212) 8 SEGMENT	400,000,000
4	329-200736	FEED,END TRUNION LINER:731-90-4-2106-1	130,000,000
5	626-206691	ADCVI BOARD COAT, PART POWER SECTION	61,700,000
6	626-205925	ISOLATED POWER SUPPLY; IPS	60,000,000
7	626-204305	MOTOR, INDUCTION; 3PH; 75KW	90,000,000
8	626-204481	MOTOR, INDUCTION; 3PH; F/ 454DB2	150,000,000
9	626-204919	MOTOR:PREMIUM EFFICI;250HP;1500RPM	361,000,000
10	626-204065	MOTOR, AC INDUCTION 3PHASE	250,000,000
11	338-200613	MOTOR, AC: 3PHASE; 250KW; 380V; 2982RPM	224,087,108
12	338-200650	MOTOR, AC: 3PHASE; 355KW; 380V; 1487RPM	249,133,320
13	626-204195	SWITCHGEAR, CIRCUIT BREAKER HPA 24/2525C	210,000,000
14	314-200040	SWITCHGEAR, TYPE ; VD4 - 1212 - 31, "ABB	293,000,000
15	349-200350	SWITCHGEAR: VD4 1212-31	137,170,183
16	616-201272	SEAL,AXLE:7690-H80A SET;LWD HNBR60	320,000,000
17	307-200014	SCATTER, RING SEGMENT: F/RAW MILL	63,050,600
18	333-200027	ELECTROSTATIC, PRECIPITATOR; DC MK 4	65,000,000
19	334-201328	CONTROL, SIGMA 2; 6309.1500.3901	60,000,000
20	334-201081	COOLER, COMBINATION; FLUID/AIR; LS16-100	51,810,000
21	331-200962	SPRAYING SYSTEM, FLOWMAX LANCE 1IN	112,000,000
22	340-200109	SPRAY LANCE ASSY:MM18"A"	57,000,000
23	620-200201	COUPLING, FLEX.STEELFLEX T10; 1120T	72,729,000
24	301-200650	SHAFT FOR HAMMER COOLER	100,000,000
25	316-200529	SEGMENT,ELEVATOR:728-91-3-1716-01	64,000,000
26	620-200293	GRIDS: SEALS; GASKETS&BOLTS; COUPLING	249,000,000
27	620-200178	COUPLING, MARLAND CECON CEUS; 18M	86,500,358
28	326-200092	RAIL:KZB250Q-1400/400/5	260,000,000
29	620-200168	COUPLING, TURBO; 422TJ ENK-230SX	81,868,247
30	620-200275	COUPLING TURBO, TYPE FLUDEX-FAD 450	68,500,000
31	608-200318	RUBBER F/COUPLING TYPE RUPEX-RWN 900	65,500,000
32	620-200101	COUPLING,TURBO:487 TVG EEK-M225	128,000,000

Tabel 4. 5. Klasifikasi *vital equipment* dan *high price* (lanjutan)

No	Stock Number	Description Name	Price (Rp)
33	329-200337	ROTARY FEEDER VALVE TYPE. ZSG 0220-nf-20	171,650,000
34	329-200752	CHAIN, CONVEYOR; DOUBLE STRAND	187,297,500
35	311-200298	SEGMENT RING:730-91-4-3950-01	194,809,059
36	623-201606	BEARING, NU 2268 E.M1A	80,000,000
37	623-201607	BEARING, 531814/531814C	190,000,000
38	311-200193	BEARING, 24064-CC/C2W33	57,500,000
39	SI00000817	BEARING,RLR:SPHER;CYL;320MM ID;24064;C2	59,000,000
40	311-200270	PISTON ROD PENDULUM ATTACHMENT 38017-6	59,702,000
41	311-200280	CYLINDER PENDULUM ATTACHMENT 7018234	93,450,000
42	334-201088	ROTOR, BLADE: 103-96-2-0407-72; 6MM;93MM	90,000,000
43	334-201337	ROTOR, BLADE: FOR VANE COMPRESSOR C-350	65,000,000
44	331-200764	SCREW: M; 116-94-4-1106-01; 250MM; 230MM	110,000,000
45	613-200943	KNIFE, GATE VALVE: SERIES AT200F; DN400	170,000,000
46	613-200944	KNIFE, GATE VALVE: SERIES AT200F; DN500	175,000,000
47	329-200743	ROTOR COMPLETE, P/N.550.052.62.01, ITEM	384,638,012
48	329-200744	PLATE,SEALING,BELOW:DRW 2.2	135,318,512
49	329-200745	PLATE,SEALING,ABOVE:DRW 2.2	135,318,512
50	329-200746	ROTOR COMPLETE:550.052.62.05	380,000,000
51	329-200747	PLATE,SEALING,LOWER:DRW 4.14	135,000,000
52	322-200475	CHAIN, F/RECLAIMER SCRAPER	1,700,000,000
53	624-200245	WHEEL, CHAIN: 400MM X 865MM	194,200,000
54	322-200406	CHAIN, ROLLER; 15468.6MM	90,000,000
55	323-200268	BELT, BUCKET; G 31995 1 19 01; 24IN	650,000,000
56	329-200716	CHAIN, CONVEYOR; 190LINK; 12.7M	65,000,000
57	308-200291	DAM RING:CHROM MOLYBDENUM ST.CAST	200,000,000
58	308-200364	BEARING, F 2389 A	400,000,000
59	308-200523	BEARING, F 2388 A	949,000,000
60	308-200054	SEAL:000-02-0-0920-41	62,146,250
61	308-200731	RING,CLAMPING:730-91-2-4603-01	230,000,000
62	623-201605	BEARING, 23184MB/C2	400,960,713
63	308-200414	ROD,SPRING	100,000,000
64	623-202360	BEARING, RLR SPR; SOLID LUBE	70,000,000
65	308-200677	PIN, F/SPRING ROD LOESCHE MILL LM 59.42	60,000,000
66	623-201870	HOUSING, BEARRING: SOFN 244 BF (FIX)	170,000,000
67	623-201871	HOUSING,BRG:SEAL & ACCESSORIES	170,000,000
68	323-200208	BEARING, 68120 FR	143,000,000
69	623-201599	BEARING, SOFN 320	55,000,000
70	323-200575	BELT, BUCKET ELEV.; VULKAN SUPER 2000	4,500,000,000
71	609-200333	SCRAPER CHAIN 400/315, 110 LINK ; ITEM 1	250,000,000
72	323-200703	FRICTION LINING: 1250X1650 ART.01436870	225,000,000
73	323-200774	SEGMENTED LAGGING FOR DRIVER PULLEY	195,000,000

Langkah terakhir dalam klasifikasi suku cadang ini adalah berdasarkan *lead time*, dimana suku cadang tersebut dibagi menjadi 3 kategori yaitu seperti pada tabel 4.6 di bawah ini.

Tabel 4. 6. Klasifikasi *lead time* suku cadang

No	Lead Time (Bulan)	Klasifikasi
1	$x \leq 3$	Low
2	$3 < x < 6$	Medium
3	$x \geq 6$	High

4.2.2.2 Konsep Permintaan Suku Cadang

Data permintaan suku cadang diperoleh dari data permintaan pembelian suku cadang yang dilakukan oleh masing-masing *User* dari suku cadang tersebut. Data ini diperoleh dari SAP dengan melihat nomer *Reservation*, *Purchasing Request* yang sudah *released*, *Purchasing Order* pada periode tahun 2015-2019. Data ini digunakan untuk membuat dan menganalisa simulasi sistem dinamik yang akan dijelaskan di bab 5.

4.2.2.3 Konsep Penggunaan Suku Cadang

Data penggunaan suku cadang diperoleh dari data *goods issued* yang dilakukan oleh masing-masing *User* pemeliharaan melalui sistem SAP yang ada di perusahaan pada periode tahun 2014-2019. Data ini digunakan untuk membuat dan menganalisa simulasi sistem dinamik yang akan dijelaskan di bab 5. Namun kondisi *goods issued* ini tidak langsung mencerminkan kondisi saat dimasukkan dalam simulasi, karena kondisi sebenarnya terdapat beberapa suku cadang yang perlu diperhatikan juga karena terkait keterbatasan anggaran, sedangkan kondisi simulasi dipaksa menggunakan 3 suku cadang acak sehingga diperlukan pendekatan alokasi biaya pemeliharaan yang dimiliki oleh *User*.

4.2.2.4 Konsep Biaya Pemesanan

Merupakan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan secara tidak langsung setiap kali melakukan pemesanan suku cadang. Biaya ini sebenarnya di perusahaan tidak dirasakan secara langsung oleh mereka karena biaya pemesanan ini include dalam harga suku cadang tersebut saat dibeli dari *vendor*. Namun dalam penelitian ini dilakukan pendekatan untuk menghitung biaya pemesanan yang akan dijelaskan secara detail di sub bab ini. Semakin sering perusahaan melakukan pemesanan barang maka nilai ini akan semakin besar. Maka untuk mensiasatinya perencanaan pengadaan barang perlu menghitung kebutuhan yang tingkat kepastiannya

mendekati kebenaran sehingga dalam skala horizon tertentu ketersediaan barang bisa terjaga dan biaya pemesanan minimal.

Sebelum menghitung metode (R,s,S) untuk masing-masing suku cadang maka yang pertama harus menghitung *Ordering Cost* dahulu. *Ordering cost* merupakan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan setiap melakukan pesanan satu unit barang, dimana komponen biayanya terdiri dari biaya aktifitas pembuatan pesanan, biaya komunikasi dan biaya pekerja Departemen Pengadaan.

Detail dari masing-masing komponen biaya pemesanan ditunjukkan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4. 7. Komponen biaya aktifitas pembuatan permintaan

No	Aktivitas	Waktu (jam)	Biaya Per jam	Biaya	Biaya per tahun
1	Menyusun data base vendor	8	21,875	175,000	42,000,000
2	Seleksi Vendor	8	21,875	175,000	42,000,000
3	Negosiasi	8	21,875	175,000	42,000,000
4	Menyusun Dokumen Penawaran	8	21,875	175,000	42,000,000
5	Tanda tangan basah dokumen penawaran teknis	16	21,875	350,000	84,000,000
6	Menyusun kontrak kerja	24	21,875	525,000	126,000,000
7	Evaluasi kinerja vendor	16	21,875	350,000	84,000,000
Total				1,925,000	462,000,000

Tabel di atas merupakan aktifitas yang dilakukan oleh pihak 2 di Departemen Pengadaan. Dimana nilai tersebut diperoleh dari perhitungan gaji setiap bulan yang diperoleh oleh pihak 2 sebesar Rp 3.500.000 kemudian di-*break down* menjadi gaji per jam dalam menghitung biaya setiap aktifitas tersebut.

Komponen biaya pemesanan selanjutnya adalah biaya komunikasi seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 4. 8. Komponen biaya komunikasi

No	Komponen biaya	Jumlah pemakaian	Biaya pemakaian per bulan	Total / tahun
1	Biaya telephone	12	2,000,000	24,000,000
2	Biaya faximile	4	400,000	1,600,000
3	Biaya internet	12	2,500,000	30,000,000
4	Biaya administrasi	4	2,200,000	8,800,000
5	Biaya User SAP	3	6,250,000	225,000,000
Total				289,400,000

Biaya komunikasi merupakan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan dalam melakukan komunikasi dengan pihak lain seperti User peminta, perencanaan suku cadang, vendor-vendor, biaya aktifasi User SAP (*Enterprise Resource*

Planning). Biaya administrasi merupakan biaya surat menyurat yang dilakukan oleh Departemen Pengadaan dalam melakukan aktifitas di atas. Khusus untuk biaya *User SAP* merupakan biaya yang dikeluarkan oleh Departemen *Information & Communication Technology* dalam membayar biaya sewa terhadap pengguna akun SAP yang aktif di Departemen Pengadaan, nilainya sebesar Rp 75.000.000 per User untuk melakukan transaksi via SAP dimana terdapat satu *Manager* dan dua *Supervisor* di Departemen Pengadaan.

Komponen biaya yang terakhir adalah biaya gaji Pekerja di Departemen Pengadaan seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 9. Komponen biaya gaji pekerja Departemen Pengadaan

No	Pekerja/Jabatan	Jumlah Pekerja	Gaji per bulan	Gaji per tahun
1	Manager	1	20,500,000	246,000,000
2	Supervisor	2	15,000,000	360,000,000
3	Staff Admin	2	3,400,000	81,600,000
Total				687,600,000

Komponen biaya gaji pekerja di Departemen Pengadaan yang ditunjukkan pada tabel di atas merupakan pekerja yang terlibat langsung dalam proses pengadaan barang atau suku cadang yaitu terdapat satu orang *Manager*, dua orang *Supervisor* dan dua orang *Staff Admin* lainnya.

4.2.2.5 Konsep Biaya Penyimpanan

Merupakan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan baik secara langsung maupun tidak langsung setiap suku cadang tersimpan di gudang. Pada kasus penelitian ini, biaya penyimpanan secara akuntansi tidak ditulis dalam laporan pembukuan karena tidak ada biaya secara langsung yang dikeluarkan perusahaan dalam penyimpanan suku cadang, namun dalam penelitian ini dilakukan beberapa pendekatan untuk mendapatkan biaya penyimpanan yang berkaitan dengan penyimpanan suku cadang di perusahaan ini.

Komponen dari biaya penyimpanan diantaranya adalah biaya *handling*, *storage*, gaji karyawan dan *opportunity cost*. Biaya *handling* merupakan biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk mobilisasi suku cadang di sekitar gudang. Biaya *handling* dalam penelitian ini terdiri dari *forklift*, mobil *pick up* dan sejenisnya. Biaya *storage* dalam penelitian ini merupakan biaya asset yang dikeluarkan gudang

untuk membuat gedung beserta fasilitasnya. Gaji karyawan merupakan gaji yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk membayar tenaga kerja di gudang berdasarkan *job desc* masing.

Opportunity cost merupakan biaya peluang yang ditimbulkan tanpa tercatat akuntansi. Biaya peluang ini muncul jika suku cadang tertentu tidak bergerak setiap tahunnya, sehingga ada potensi keuntungan jika dialokasikan uang yang dimiliki digunakan untuk investasi daripada membeli suku cadang. Contoh investasi dalam keseharian kita adalah deposito. Dalam penelitian ini *opportunity cost* akan diidentikkan dengan kepemilikan deposito dimana suku bunganya tergantung dari peraturan Bank Indonesia.

Biaya investasi *asset* merupakan biaya yang telah dikeluarkan perusahaan dalam membangun gudang beserta fasilitas alat dan angkut barang. Perhitungan biaya investasi aset akan ditampilkan pada tabel 4.10 di bawah ini. Di samping melakukan perhitungan biaya investasi, maka dilakukan juga perhitungan depresiasi menggunakan formula (4.1) sehingga pada tabel tersebut juga ditampilkan rekapitulasi perhitungan depresiasi untuk aset gudang yang dimiliki oleh perusahaan dengan menggunakan metode *straight line*. Adapun perhitungan depresiasi aset gudang sebagai berikut:

$$\text{Depresiasi} = \frac{\text{Nilai awal} - \text{nilai akhir}}{\text{Umur produk}} \quad (4.1)$$

Keterangan:

Nilai awal: Harga aset saat pertama kali dibeli

Nilai akhir: Harga aset saat umur produk berakhir

Umur produk: Lamanya masa berlaku aset

Contoh perhitungan nilai depresiasi Mobil *pickup* dengan nilai pembelian Rp 300.000.000 dengan umur aset selama 10 tahun adalah sebagai berikut:

$$\text{Depresiasi} = \frac{300.000.000 - 0}{10}$$

Maka nilai depresiasi mobil pickup dalam 1 tahun adalah Rp 30.000.000, 00

Tabel 4. 10. Biaya investasi aset

No	Nama Aset	Umur Aset	Jumlah	Harga Satuan	Harga Total	Depresiasi
1	Gudang + kantor	29	1	5,000,000,000,000	5,000,000,000,000	172,413,793,103.45
2	Mobil Pickup	25	1	300,000,000	300,000,000	12,000,000.00
3	Motor	5	3	20,000,000	60,000,000	12,000,000.00
4	Forklift 2,5 ton	5	2	500,000,000	1,000,000,000	200,000,000.00
5	Hand Lift	5	5	3,000,000	15,000,000	3,000,000.00
6	Hoist Crane	5	2	1,500,000,000	3,000,000,000	600,000,000.00
7	Forklift 7 ton	5	1	1,500,000,000	1,500,000,000	300,000,000.00
	Total					173,540,793,103

Masing-masing aset memiliki umur atau *life time* yang berbeda sehingga bisa dihitung nilai depresiasinya. Aset gudang dan Kantor dihitung sejak gudang dan Kantor tersebut didirikan pertama kali beserta beberapa suku cadang pada saat itu pada tahun 1993.

Komponen biaya simpan selanjutnya adalah biaya pekerja yang ada di unit pengelolaan persediaan seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini. Pekerja yang ada di Unit Pengelolaan persediaan atau gudang terdiri dari satu orang *Manager*, enam orang *Supervisor* dan 22 orang *Staff* gudang. Dimana *Supervisor* dan *Staff* gudang bekerja dengan sistem shift 24 jam setiap hari.

Tabel 4. 11. Biaya gaji pekerja

No	Pekerja/jabatan	Jumlah	Gaji / bulan	Gaji/tahun
1	Manajer	1	20,500,000	246,000,000
2	Supervisor	6	15,600,000	187,200,000
3	Staff gudang	22	40,000,000	480,000,000
	Total		76,100,000	913,200,000

Komponen biaya simpan berikutnya adalah biaya operasional pergudangan setiap harinya yang terdiri dari *cleaning* gudang, biaya solar untuk peralatan angkut angkut, biaya *service* peralatan alat angkut dan biaya *service* gedung seperti AC, lampu dan sejenisnya. Total dari biaya operasional pergudangan seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 12. Biaya operasional pergudangan

No	Biaya Operasional	Biaya per bulan	Biaya per tahun
1	Biaya Cleaning Gudang	15,000,000	180,000,000
2	Biaya Solar	2,750,000	33,000,000
3	Biaya Service peralatan	15,000,000	180,000,000
4	Biaya Service Gedung (AC, dll)	7,500,000	90,000,000
	Total	40,250,000	483,000,000

Dari ketiga komponen biaya tersebut maka depresiasi setiap unit per tahun diperoleh dari jumlah ketiga komponen biaya tersebut dibagi dengan jumlah unit yang ada di gudang yaitu 1.739.819 unit. Sehingga total dari perhitungan tersebut dapat ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 13. Depresiasi per unit per tahun

Jenis Biaya	Depresiasi / tahun (Rp)	Jumlah unit	Depresiasi/ unit / tahun (Rp)
Asset	173,540,793,103.45	1,739,819	99,746
Pekerja	913,200,000.00	1,739,819	525
Operasional	483,000,000.00	1,739,819	278
Total			100,549

Langkah terakhir dalam menentukan biaya simpan adalah menghitung *cost of capital* setiap suku cadang. *Cost of capital* termasuk *opportunity cost* atau biaya yang berpotensi menguntungkan jika biaya yang digunakan untuk membeli suku cadang tersebut dialihkan untuk investasi lainnya seperti deposito berjangka. Pada penelitian ini *opportunity cost* diasumsikan digunakan untuk deposito dengan nilai suku bunga rata-rata mulai tahun 2014 – 2019 seperti pada tabel berikut yang diperoleh dari data Bank Indonesia dengan jangka waktu 12 bulan.

Tabel 4. 14. Suku bunga deposito Bank Indonesia

Jangka Waktu	Tahun						Average
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
12 bulan	8.80	7.87	6.83	5.98	7.39	6.38	7.21

Maka nilai dari *opportunity cost* untuk masing-masing suku cadang adalah rata-rata suku bunga deposito pada periode 2014 – 2019 dikalikan dengan harga masing-masing suku cadang yang ada di gudang.

4.2.2.6 Annual Demand

Merupakan rata-rata permintaan setiap tahun terhadap pembelian suku cadang yang dimulai dari permintaan *User*. Sebagai contoh perhitungan *annual demand* terhadap suku cadang dengan nomer *stock* 620-200253 dengan total permintaan selama 72 bulan adalah 12-unit sehingga *annual demand per year* adalah 2 unit.

4.2.2.7 Average Demand

Merupakan rata-rata permintaan selama 72 periode nilai pengamatan yang di-trigger dari permintaan *User*. Contoh dari perhitungan rata-rata permintaan adalah stock 620-200253 dengan total permintaan selama 72 bulan adalah 12-unit maka rata-rata permintaan adalah $12/72 = 0.1667$ unit per bulan.

4.2.2.8 Standard Deviation Demand

Merupakan penyimpangan setiap data permintaan suku cadang per periode. Nilai ini nantinya digunakan untuk menghitung nilai *safety stock*, *minimum value* dan *maximum value*. Rumus yang digunakan untuk menghitung *standard deviation demand* sama seperti menghitung *standard deviation* pada umumnya, jika menggunakan formulasi *excel* maka cukup dengan mengetikkan rumus *stdev (number1: number2)* maka akan keluar nilai *standard deviation* dari data *demand*.

4.2.2.9 Average Lead Time

Merupakan rata-rata kedatangan suku cadang setelah vendor mendapat dokumen PO, pada klasifikasi suku cadang Group A ini, *average lead time* suku cadang adalah 6 bulan.

4.2.2.10 Service Level

Merupakan kebijakan Departemen Pengadaan dalam menyediakan suku cadang yang dibutuhkan oleh *User*. Perusahaan menetapkan *service level* sebesar 95% yang artinya dari 100 kali pemesanan hanya 5 kali pesanan yang tidak terpenuhi. Nilai *service level* nantinya akan digunakan untuk menghitung nilai *Z* atau *normal inverse* dari peluang distribusi normal permintaan suku cadang.

Pada perhitungan awal untuk menentukan parameter awal metode (R,s,S) ini diasumsikan distribusi permintaan suku cadang berupa distribusi normal namun nilai parameter metode (R,s,S) ini nantinya akan diuji cobakan dalam simulasi sistem dinamik sehingga bisa mengetahui nilai yang tepat jika diaplikasikan dalam sistem yang kompleks dimana faktor-faktor lain sangat mempengaruhi performa dari manajemen suku cadang sehingga diperoleh *total relevant cost* yang paling minimal.

4.2.2.11 Jumlah Suku Cadang untuk Simulasi

Jumlah suku cadang dalam simulasi digunakan untuk menggambarkan kompleksitas manajemen suku cadang yang ada di perusahaan ini. Jumlah suku cadang yang dimasukkan dalam sistem ini mempengaruhi pemrograman dalam pengecekan suku cadang mana yang bisa *issued* dari gudang pada satu periode yang sama jika dibatasi oleh *Maintenance Cost per User* dan *Locking Budget*. Algoritma yang digunakan untuk mengecek suku cadang mana yang disetujui oleh *Maintenance Planner Approval* adalah mengecek kombinasi penjumlahan semua suku cadang yang dimasukkan. Misalkan jika terdapat tiga suku cadang maka terdapat $2^2 + 2^1 + 2^0$ sehingga terdapat 7 kali pengecekan kombinasi suku cadang yang mungkin dilakukan transaksi pemakaian dalam satu periode yang sama.

Pada simulasi sistem dinamik ini tiga suku cadang sudah bisa mewakili sensitifitas metode (R,s,S) jika diaplikasikan pada perusahaan. Sehingga bisa digunakan untuk mengetahui sebab akibat yang bisa ditimbulkan jika variabel tertentu diubah-ubah serta menguji sensitifitas kebijakan persediaan yang digunakan (metode (R,s,S)). Bab ini berisi hasil dari perhitungan input simulasi yang telah diterangkan di bab sebelumnya.

4.2.3 Output Simulasi

Output dari simulasi ini yang nantinya dijadikan analisa dalam mengambil keputusan dalam manajemen suku cadang. Detail dari masing-masing output yang diharapkan dari simulasi ini dijelaskan pada sub bab berikut ini.

4.2.3.1 Inventory Value

Nilai *inventory* merupakan hasil perkalian dari *inventory level* atau *stock on hand* suku cadang dengan harga suku cadang. Nilai *inventory* dalam simulasi ini dihitung untuk tiga suku cadang sebagai perwakilan dari 48 suku cadang.

4.2.3.2 Deadstock Cost

Biaya ini timbul karena beberapa hal diantaranya adalah barang atau suku cadang tersebut sudah tidak digunakan lagi di peralatan produksi namun suku cadang tersebut masih ada di gudang dan masuk dalam perhitungan akuntansi gudang, sehingga biaya ini akan ditanggung oleh pengelolaan persediaan. Beberapa alasan

suku cadang menjadi usang adalah upgrade equipment produksi, modifikasi peralatan produksi, suku cadang aslinya sering bermasalah sehingga harus diganti dengan suku cadang jenis lainnya. Namun apapun alasannya keusangan suku cadang itu menyebabkan *dead stock* baru bagi gudang, sehingga menyebabkan biaya yang cukup besar tadi berpotensi menjadi biaya tidak terpakai dan malah membebani gudang.

Pada simulasi nantinya *dead stock cost* ini diperoleh dari nilai *inventory* di akhir periode. Nilai ini diperoleh dari hasil perkalian antara *inventory level* dengan harga suku cadang di periode tersebut. Dimana harga suku cadang akan senantiasa mengalami perubahan setiap tahunnya sehingga nilai *dead stock* ini akan senantiasa berbeda setiap tahunnya tergantung jumlah suku cadang di akhir periode dan harga di akhir periode.

4.2.3.3 Maintenance Cost

Diharapkan dengan ketersediaan suku cadang yang sesuai dengan yang dibutuhkan oleh *User*, aktifitas pemeliharaan tidak terganggu oleh ketersediaan suku cadang di gudang. Namun akibat ketidaktersediaan suku cadang menyebabkan aktifitas pemeliharaan peralatan terganggu sehingga berpotensi mengurangi jumlah produksi semen di pabrik tersebut.

Maintenance activity peralatan dipengaruhi oleh ketersediaan suku cadang dan batasan anggaran konsumsi suku cadang. Seringkali suku cadang ada di gudang namun *User* tidak bisa melakukan transaksi pengebonan barang tersebut karena terkendala *budget exceeded* atau anggaran pengebonan melampaui batasan anggaran yang ditetapkan oleh unit kerja Perencanaan Pemeliharaan.

Dalam konsumsi suku cadang di gudang, unit kerja pengguna suku cadang itu dibatasi oleh anggaran yang telah ditetapkan selama setahun dan dibagi sesuai *history* konsumsi anggaran biaya pemeliharaan dari tahun-tahun sebelumnya. Dengan adanya batasan biaya pemeliharaan ini, jika unit pengguna tidak memiliki cukup anggaran untuk mengebon barang di gudang maka secara sistem tidak bisa dilakukan. Batasan anggaran ini juga berlaku untuk setiap kali pengebonan suku cadang dibatasi untuk sekali transaksi. Dalam simulasi sistem dinamik ini besaran *locking budget* ditentukan dengan pendekatan data *history* pemakaian suku cadang

dari gudang dengan mengambil nilai maksimal transaksi tiga suku cadang setiap periodenya.

Setiap bulan seluruh unit kerja pengguna harus mengirimkan rencana kegiatan yang berhubungan dengan konsumsi suku cadang di unitnya masing-masing. Jika suatu suku cadang tidak ada dalam list perencanaan tersebut namun dibutuhkan di bulan tersebut, maka unit kerja tersebut harus membuat korespondensi internal yang ditandatangani oleh atasan langsung dan tidak langsung, atau setingkat kepala biro dan kepala departemen. Namun meskipun sudah ada dalam list perencanaan konsumsi suku cadang di bulan itu dan nilainya di atas *locking budget* maka suku cadang tersebut harus melalui persetujuan unit kerja perencanaan pemeliharaan selaku koordinator anggaran biaya pemeliharaan.

Ada beberapa alasan yang bisa dijadikan pedoman dalam persetujuan pengebonan suku cadang tersebut, yaitu jika dirasa suku cadang tersebut tidak *urgent* dan tidak mematikan peralatan utama, jika hanya dijadikan spare saja tidak langsung dipasang di bulan itu dan penggantian suku cadang itu masih bisa dipertahankan di bulan berikutnya, dimana faktor-faktor tersebut merupakan *debatable factor* antar unit kerja. Maka unit kerja perencanaan pemeliharaan bisa menunda atau tidak menyetujui pengebonan suku cadang yang nilainya di atas *locking budget* tersebut.

Maintenance cost ini diperoleh dari pembagian anggaran yang dimiliki oleh Departemen Pemeliharaan terhadap beberapa *User*. Pada simulasi ini *maintenance cost* digunakan untuk satu *User*. Anggaran yang dimiliki oleh Departemen Pemeliharaan (*Maintenance Budget per Department*) diperoleh dari kombinasi tiga komponen yang mungkin bisa terjadi yaitu *management policy*, *inventory value* dan *maintenance planning*.

Simulasi ini menghitung kombinasi tiga suku cadang yang digunakan sehingga perlu pendekatan biaya pemeliharaan. Pendekatan yang digunakan untuk menghitung biaya pemeliharaan per Departemen adalah melihat *history* pemakaian ketiga suku cadang ini selama 72 periode sehingga bisa dihitung rata-rata biaya pemeliharaan yang dibutuhkan setiap periodenya sesuai dengan tabel di bawah ini.

Tabel 4. 15. Biaya pemeliharaan 72 periode

No	Part Number	Price (Rp)	Total Value History (Rp)
1	620-200253	290,000,000	1,740,000,000
2	312-200753	400,000,000	8,000,000,000
3	329-200736	130,000,000	520,000,000
Average/month			47,500,000

Nilai rata-rata tersebut diperoleh dari penjumlahan history pemakaian ketiga suku cadang tersebut dibagi dengan 72 periode. Sehingga setiap periodenya anggaran biaya pemeliharaan yang disediakan untuk ketiga suku cadang sebesar Rp 47.500.000. Nilai ini yang akan dibagi proporsinya menjadi 3 komponen proporsi biaya.

4.2.3.4 Potential Loss Production

Pada simulasi ini tidak tersedianya suku cadang pada periode tertentu berpotensi menyebabkan *downtime* yang dalam waktu tertentu peralatan tersebut tidak bisa *running* mengakibatkan kehilangan produksi sesuai dengan tabel di bawah ini.

Tabel 4. 16. Potensi kehilangan produksi akibat *downtime*

Description	Value	Unit	Production
Mean COGM	352,603	Rp/ton	Klinker
Mean Capacity	7,620	Ton/day	Klinker
Loss Production	2,686,834,860	Rp/day	Klinker

Biaya ini bisa dijadikan acuan kerugian perusahaan yang timbul karena masalah suku cadang yang diakibatkan beberapa faktor. Suku cadang yang tidak tersedia pada periode tertentu sedangkan *User* membutuhkannya sehingga mematikan peralatan utama produksi, faktor ini yang menimbulkan *stockout cost*. Faktor berikutnya kebalikan dari faktor sebelumnya yaitu suku cadang tersedia di gudang namun *User* tidak bisa menggunakannya (*goods issued*) karena keterbatasan anggaran yang dimiliki oleh *User* tersebut, faktor ini yang menimbulkan *loss production can not GI*. *Loss production can not GI* dihitung dengan cara berapa kali suku cadang tidak bisa issued karena anggaran *User* tidak tersedia dikalikan dengan *potential loss production*.

4.2.3.5 Direct Buying

Biaya ini ditimbulkan karena tidak tersedianya suku cadang dalam periode tertentu yang nilainya diasumsikan terhadap dampak kerugian akibat *downtime* peralatan utama produksi. Tidak tersedianya suku cadang ini diasumsikan suku cadang yang tidak tersedia melalui proses normal pembelian tender. Namun pada realitasnya pada saat suku cadang tersebut tidak tersedia di gudang dan dibutuhkan di peralatan produksi, beberapa pihak terkait membelikan suku cadang tersebut melalui pembelian langsung dimana tanpa melalui proses tender vendor (proses pembelian melalui ERP SAP) yang mengakibatkan biaya pembelian melebihi biaya pembelian secara normal. *Direct buying* berpotensi menambah biaya lebih mahal 20% dari harga tender.

4.2.3.6 Stockout Cost

Biaya ini ditimbulkan karena tidak tersedianya suku cadang dalam periode tertentu yang nilainya diasumsikan terhadap dampak kerugian akibat *downtime* peralatan utama produksi. Biaya ini dihitung dengan cara berapa kali suku cadang saat dibutuhkan *User* melalui *goods issued* namun tidak tersedia di gudang sehingga jika tidak dibeli segera (melalui *direct buying*) akan menyebabkan kehilangan produksi yang nilainya setiap harinya berdasarkan tabel *loss production* di atas.

Biaya ini tidak akan masuk ke perhitungan jika dilakukan pembelian suku cadang secara langsung ke vendor atau supplier. Biaya ini dijadikan pembanding jika suku cadang tidak tersedia maka berpotensi menimbulkan *loss production*.

4.2.3.7 Total Cost

Total cost merupakan penjumlahan dari biaya pemesanan, biaya penyimpanan, biaya pemeliharaan dan *direct buying*.

4.2.3.8 Relevant Cost

Relevant cost adalah semua biaya yang terkait dengan transaksi suku cadang di perusahaan ini yaitu meliputi *total cost*, *total inventory value* dan *total loss production can not GI*. Biaya ini digunakan untuk melihat sudut pandang biaya tidak hanya dari sudut pandang persediaan saja namun harus memperhatikan dampak suku cadang tersebut bagi pemeliharaan peralatan juga yang secara

otomatis berdampak pada produksi. Sehingga dengan melihat parameter ini, manajemen bisa lebih bijak dalam mengambil keputusan terhadap kebijakan suku cadang di perusahaan ini.

4.2.4 Kebijakan Persediaan

Perbaikan kebijakan pengadaan persediaan menggunakan metode (R,s,S). Berikut merupakan tahapan perhitungan perbaikan pengendalian kebijakan pengadaan persediaan:

4.2.4.1 Menentukan R atau *Time Interval*

Dalam menentukan R atau waktu optimal dalam *me-review* jumlah suku cadang yang akan dipesan ada dua metode yang bisa digunakan, yaitu ditentukan oleh perusahaan dengan waktu tetap dan menghitungnya menggunakan rumus *Economic Order Interval (EOI)*. Pada penelitian ini menggunakan pendekatan rumus EOI dengan alasan suku cadang yang diamati ini merupakan suku cadang dengan kategori non rutin sehingga semua pengecekan level *inventory* setiap suku cadang dilakukan oleh *User* dan tidak ada ketentuan yang pasti kapan *User* mengecek level *inventory* suku cadang. Oleh karena itu dengan pendekatan EOI ini diharapkan dalam melakukan pengecekan *inventory level* terdapat panduan yang bisa dipertanggung jawabkan.

Adapun rumus EOI yang digunakan adalah (Tersine, 1994):

$$\sqrt{\frac{2C}{RH}} \quad (4.2)$$

dimana:

C: *Ordering Cost*

R: *Average annual demand*

H: *Holding Cost*

Berdasarkan beberapa point yang telah disampaikan di atas maka bisa dihitung nilai Optimum Interval untuk melakukan pengecekan level suku cadang tertentu di gudang. Contoh perhitungan pada suku cadang dengan nomor stock 620-200253.

Ordering Cost = Rp 343.600,76

Average annual demand = 2 units

Holding Cost = Rp 1.750.393 /unit/ bulan

Maka berdasarkan persamaan 4.1 diperoleh nilai

$$T^* = \sqrt{\frac{2 \cdot 343.600,76}{2 \cdot 1.750.393}} = \sqrt{\frac{687.201,52}{3.500.786}} = \sqrt{0,2} = 0,4 \text{ periode} \rightarrow 0 \text{ periode} \rightarrow 0,4 * 30 \text{ hari} = 12 \text{ hari}$$

Pada perhitungan di atas jika menggunakan perhitungan bulan maka pembulatangannya adalah 0 bulan sedangkan jika menggunakan hari maka setara dengan 12 hari. Namun dalam simulasi yang menggunakan satuan periode bulan maka untuk inisial awal nilai R adalah 0 bulan.

4.2.4.2 Menghitung *Safety Stock* (SS)

Safety stock atau penyangga didefinisikan sebagai level rata-rata stok bersih sebelum sebuah pengisian kembali tiba (Silver, A, E., Pyke, F, D., & Thomas, J, D. , 2017). Maka rumus yang bisa digunakan dalam menghitung *safety stock* adalah sebagai berikut (Waters, 2003):

$$\begin{aligned} \text{Safety stock} &= Z * \text{Standard deviation of demand over } T + LT \\ &= Z * \sigma * \sqrt{(T + LT)} \end{aligned} \quad (4.3)$$

Contoh perhitungan *stock number* 620-200253:

Z = normal inverse dari service level atau Z (0,95) = 1,65

σ = 0,4747 unit

$T = R = 2$ periode

$LT = 6$ periode

maka,

$$SS = 1,65 * 0,4747 * \sqrt{2 + 6} = 2.21 \text{ unit} \rightarrow 2 \text{ unit}$$

4.2.4.3 Menghitung *Minimal Stock* (s)

Minimal *stock* atau s merupakan *reorder point* atau batas minimal sistem harus melakukan *order* untuk mencapai target *stock level* yang diharapkan (Silver et al 2017). Rumus yang digunakan untuk menghitung *reorder point* adalah sebagai berikut (Waters, 2003):

$$\begin{aligned} \text{Reorder level} &= \text{lead time demand} + \text{safety stock} \\ &= LT * D + Z * \sigma * \sqrt{(T + LT)} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Contoh perhitungan *stock number* 620-200253:

$D = \text{average demand} = 0.1667$

maka,

$\text{Reorder level} = 6 * 0.1667 + 2 = 3 \text{ unit}$

4.2.4.4 Menghitung Maksimal Stock (S)

Merupakan maksimal stock yang diharapkan pada suatu inventory (Silver et al 2017). Untuk menghitung target maksimal *stock* yang diharapkan dari suatu *inventory* bisa menggunakan rumus sebagai berikut (Waters, 2003):

$$\text{Target stock level (Max)} = D * (T + LT) + Z * \sigma * \sqrt{(T + LT)} \quad (4.5)$$

Contoh perhitungan *stock number* 620-200253:

$$\text{Target Stock Level} = 0,1667 * (2 + 6) + (1,65 * 0.4747 * \sqrt{2 + 6}) = 1,336 + 2,21 = 3,546$$

→ 4 unit

4.2.4.5 Menghitung Order Quantity

Merupakan jumlah unit yang harus dipesan untuk mencapai target stock level yang diharapkan setelah pada periode tertentu nilai inventory level sama dengan atau kurang dari reorder point. Rumus yang bisa digunakan untuk menghitung order quantity adalah sebagai berikut (Waters, 2003):

$$\text{Order quantity} = \text{Target Stock Level (S)} - \text{Stock on hand (Inventory Level)} \quad (4.6)$$

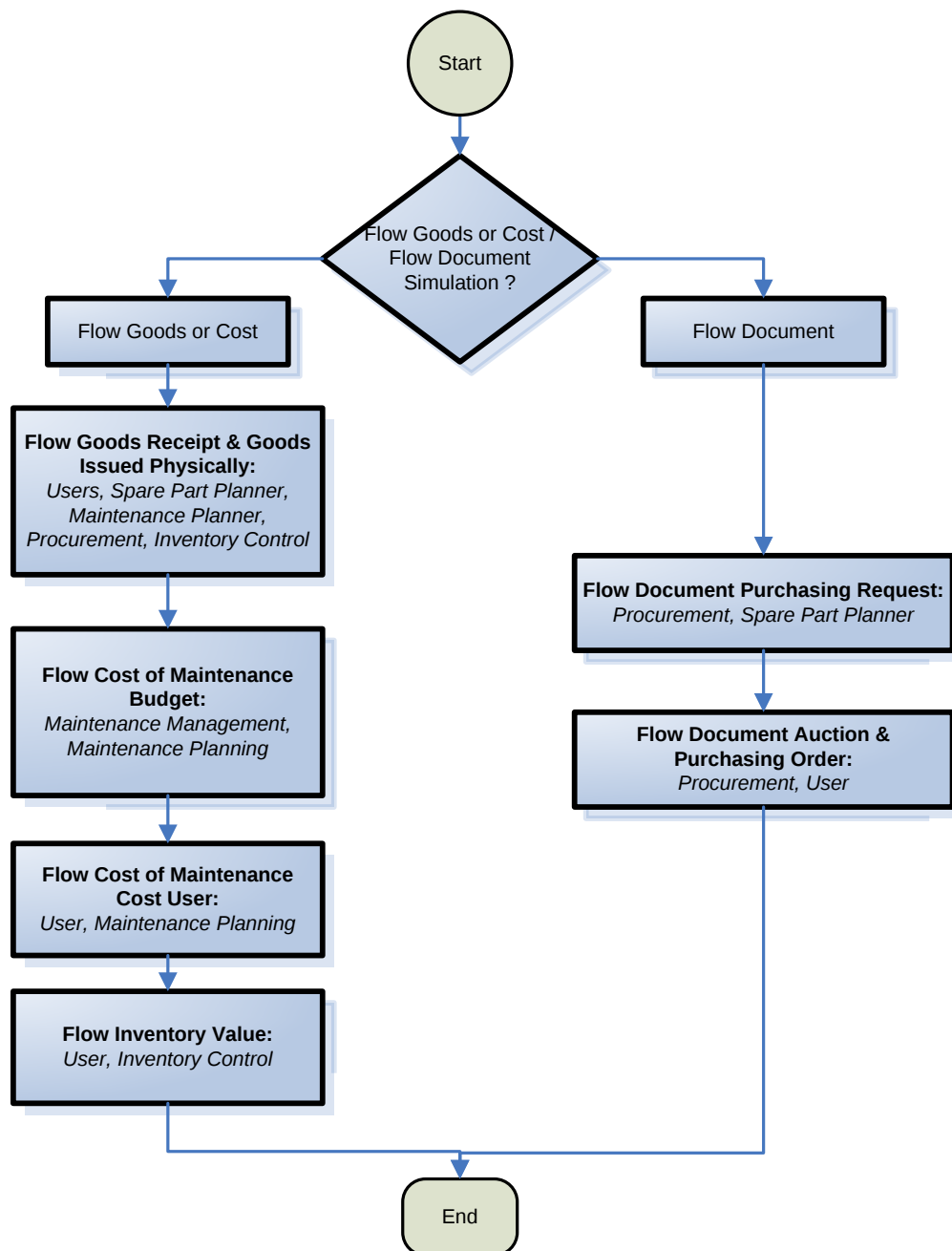
Contoh perhitungan *stock number* 620-200253:

Stock on hand pada periode tertentu = 1 unit, maka

$$\text{Order quantity} = 4 - 1 = 3 \text{ unit}$$

4.2.5 Flowchart Model

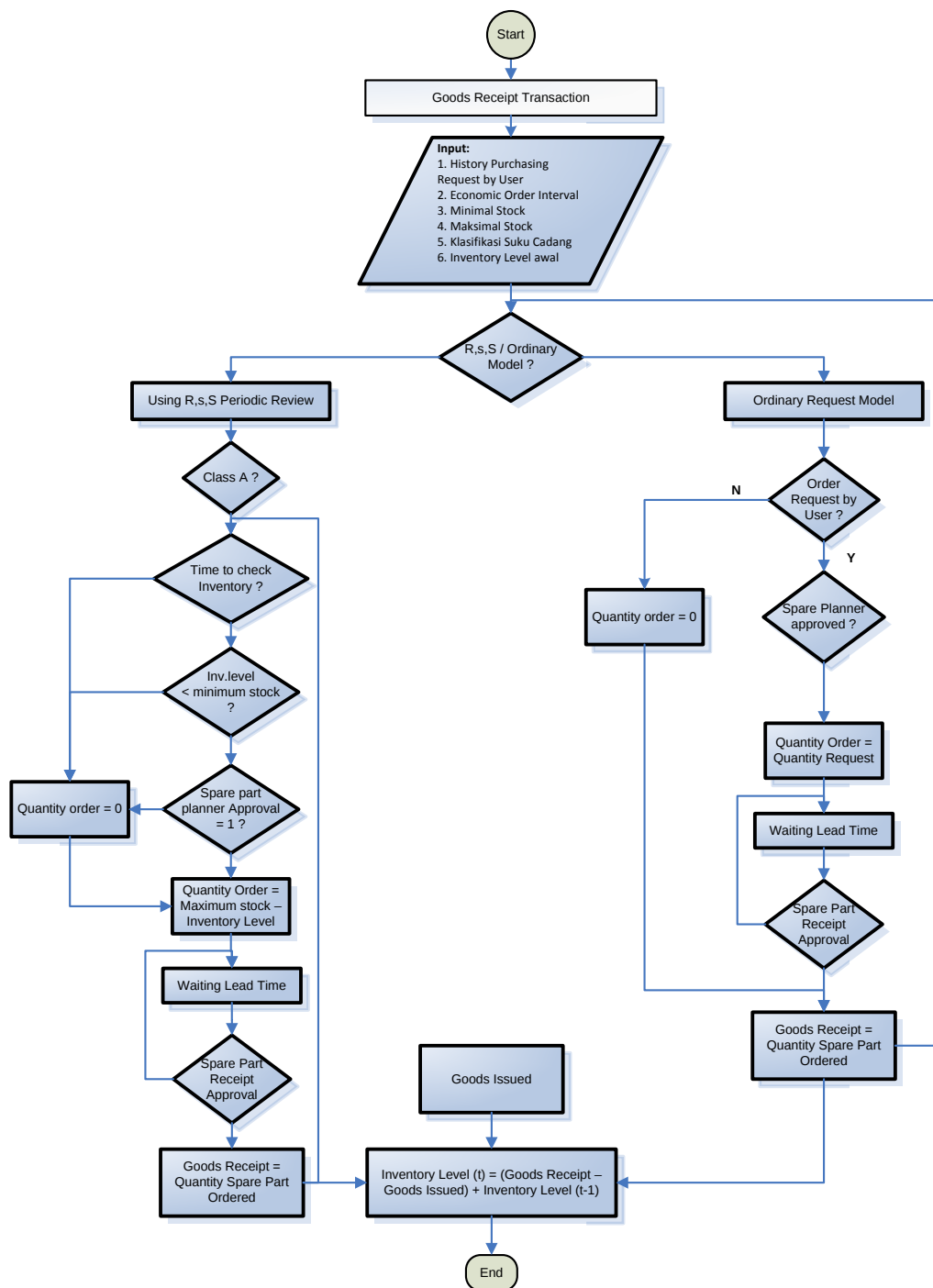
Sub bab ini berisi *flowchart* masing-masing proses yang ada dalam manajemen suku cadang di perusahaan ini.



Gambar 4. 3. *Flowchart* simulasi setiap proses

4.2.5.1 *Flowchart Goods Receipt & Goods Issued*

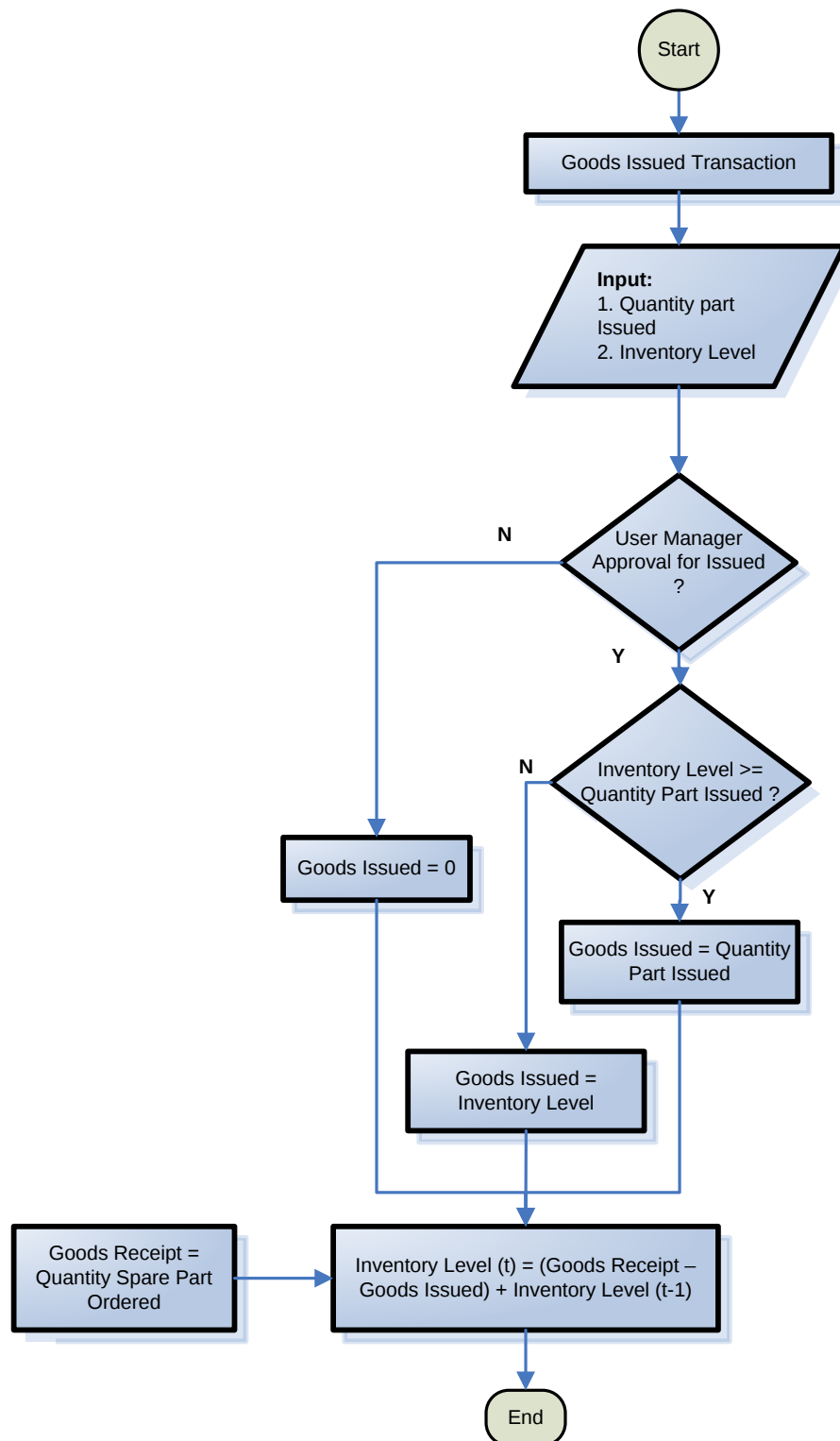
Model konseptual ini berisi *input* data dan *output* data yang diharapkan pada proses permintaan pembelian atau *Goods Receipt* dan proses pengambilan barang atau *Goods Issued*.



Gambar 4. 4. *Flowchart material fisik goods receipt*

Pada gambar 4.4 di atas disebutkan bahwa sub model ini yang berpengaruh terhadap kebijakan metode (R,s,S) yaitu terdapat kondisi dalam menggunakan kondisi eksisting dan menggunakan metode (R,s,S). Dalam sub model ini juga

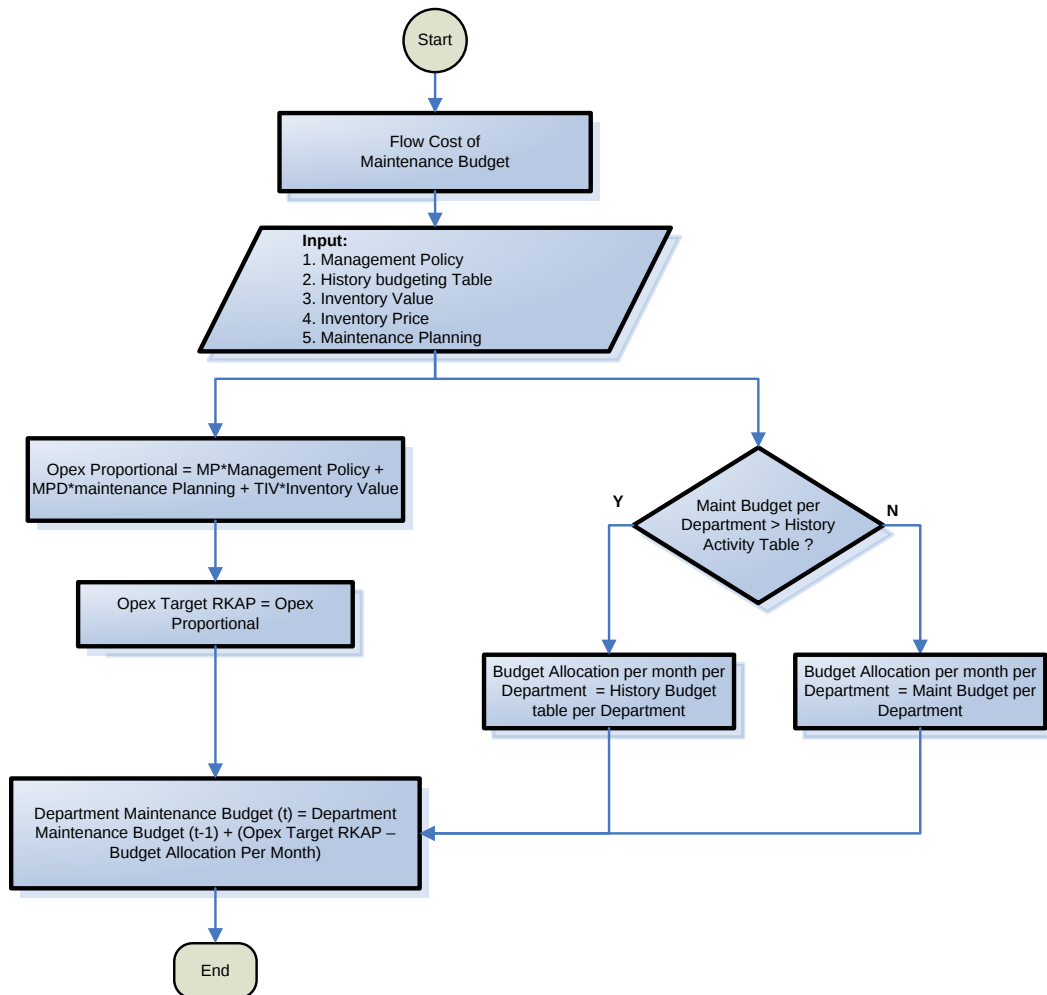
mengintegrasikan klasifikasi suku cadang terhadap Unit Kerja User dan Perencanaan Suku Cadang.



Gambar 4. 5. *Flowchart goods issued*

Pada gambar 4.5 menjelaskan alur pemrograman pada proses *goods issued* dimana proses *goods issued* yang dilakukan oleh *User* akan dihitung secara otomatis oleh sistem SAP yaitu jika suku cadang yang akan diambil dari gudang lebih dari level *inventory* maka yang bisa diambil hanya sebesar level *inventory*.

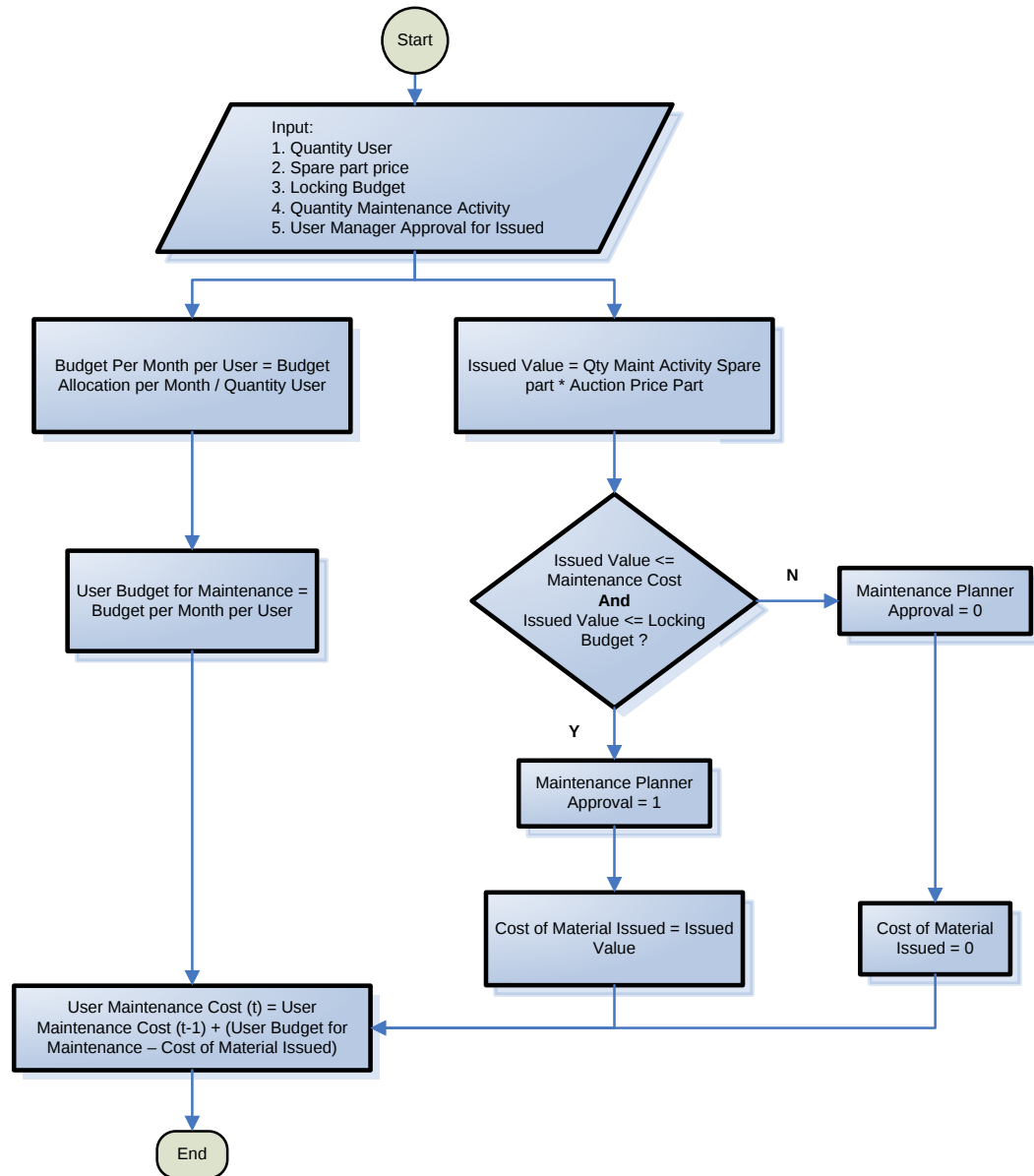
4.2.5.2 Flowchart Maintenance Budget



Gambar 4. 6. Flowchart maintenance budget

Pada gambar 4.6 di atas memperlihatkan alur pemrograman dalam membagi anggaran biaya pemeliharaan setiap Departemen yang berasal dari *management policy*, *maintenance planning* dan *inventory value*.

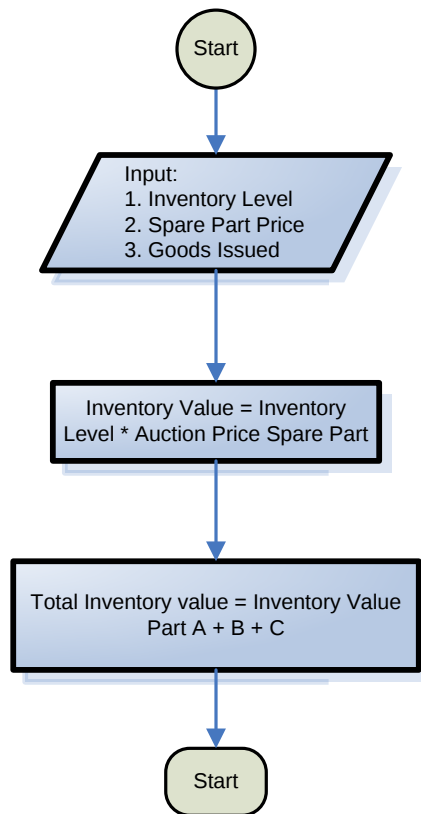
4.2.5.3 Flowchart Maintenance Cost User



Gambar 4. 7. Flowchart maintenance cost per user

Gambar 4.7 di atas menunjukkan alur pemrograman yang akan diterjemahkan dalam simulasi sistem dinamik pada proses anggaran pemeliharaan yang diperoleh setiap User. Dimana anggaran yang diberikan kepada User berasal dari anggaran setiap departemen yang dibagi dengan jumlah User yang ada dalam satu Departemen tersebut.

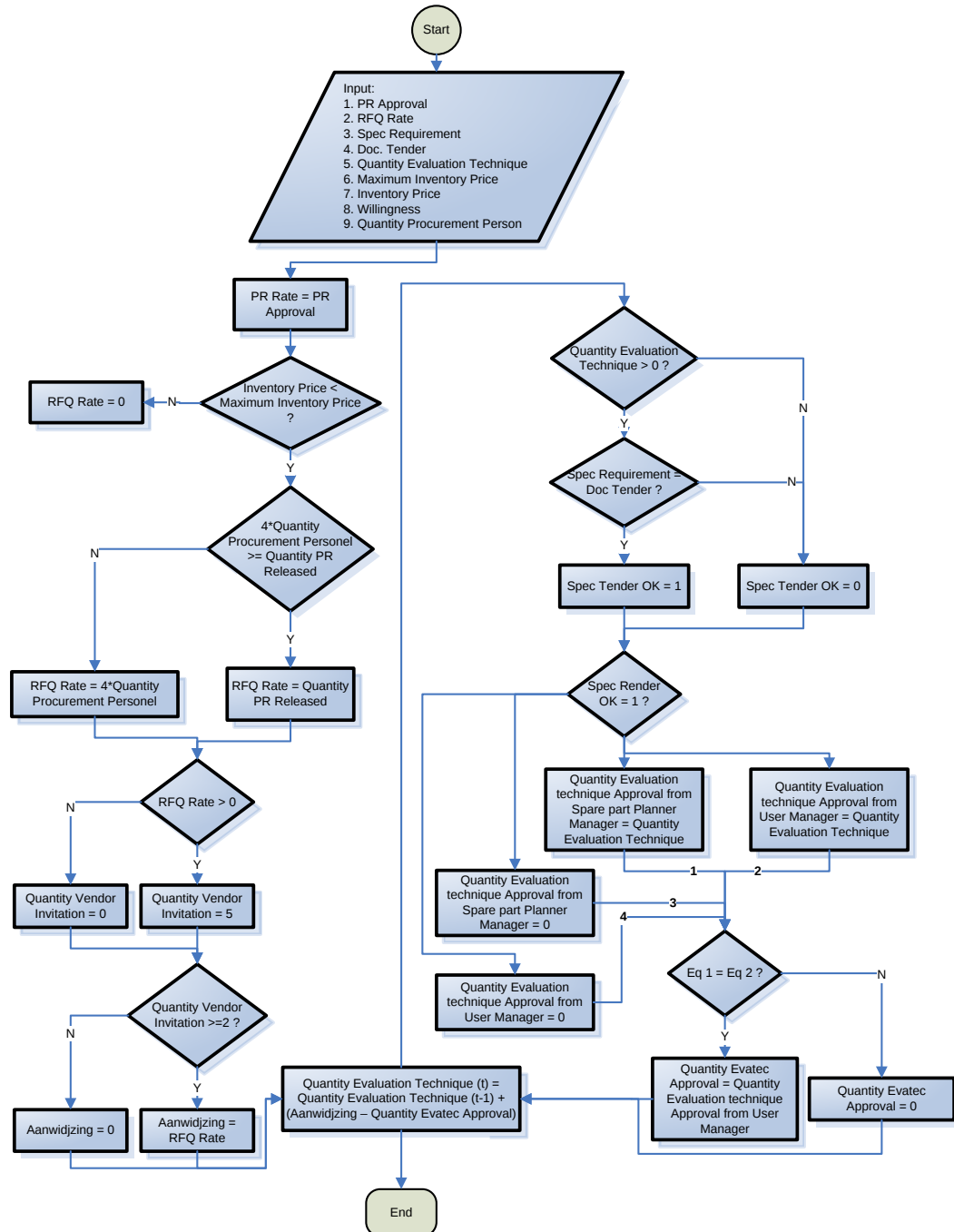
4.2.5.4 Flowchart Inventory Value



Gambar 4. 8. Flowchart inventory value

Gambar 4.8 di atas merupakan alur logika dalam pemrograman simulasi sistem dinamik untuk sub model *inventory value*. Nilai *inventory* diperoleh dari perkalian antara suku cadang yang ada di gudang dengan harga suku cadang hasil tender yang dilakukan oleh Unit Kerja Pengadaan Barang.

4.2.5.5 Flowchart Purchasing Request

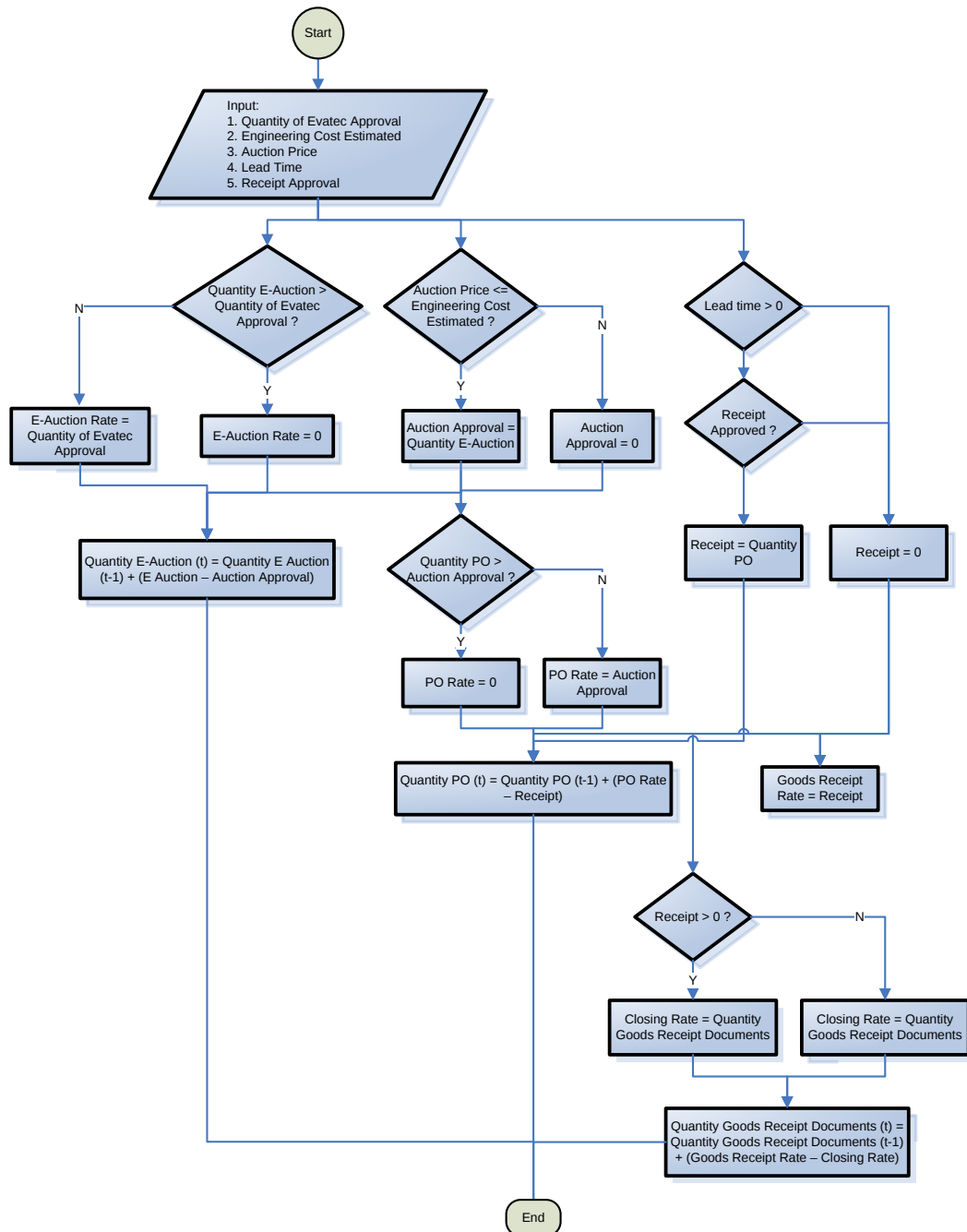


Gambar 4. 9. *Flowchart purchasing request*

Gambar diagram alur di atas menunjukkan logika pemrograman pada proses purchasing request yang akan diproses oleh pengadaan barang menjadi RFQ (*Request for Quotation*) atau proses mengundang vendor untuk tender suku cadang yang diminta. Dalam proses tersebut dimulai tender spesifikasi teknis apakah

spesifikasi teknis yang dibutuhkan User sesuai dengan penawaran teknis dari vendor.

4.2.5.6 Flowchart Auction & Purchasing Order



Gambar 4. 10. Flowchart auction & purchasing order

Gambar di atas menunjukkan alur logika dalam membuat pemrograman simulasi proses tender harga setelah diperoleh kesepakatan spesifikasi teknis dan terbitnya dokumen purchasing order.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

MODEL SIMULASI DAN EKSPERIMEN

Sub bab ini membuat simulasi berdasarkan model yang telah dikonsep pada bab sebelumnya yang digunakan untuk menganalisa sensitifitas parameter kebijakan persediaan yang diusulkan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini. Parameter awal yang digunakan dalam simulasi ini diperoleh dari beberapa perhitungan yang akan dibahas dalam beberapa sub bab di bawah ini.

5.1 Input Simulasi

Sub bab ini berisi hasil dari konseptual model yang dibuat pada bab sebelumnya yang digunakan untuk input simulasi. Detail dari pembahasan input simulasi dijelaskan dalam sub bab di bawah ini.

5.1.1 Hasil Klasifikasi Suku Cadang

Rangkuman hasil klasifikasi suku cadang berdasarkan klasifikasi *vital equipment*, *high price* dan *lead time* tinggi ditunjukkan pada tabel 4.8 di bawah ini.

Tabel 5. 1. Rekapitulasi klasifikasi suku cadang *vital*, *high price* dan *high lead time*

No	Stock Number	Description Name	Price (Rp)	Lead Time (Bulan)
1	620-200253	COUPLING, HS; ZWN 315-A	290,000,000	6
2	312-200753	ROLLER WEAR SEGMENT, (XD-0212) 8 SEGMENT	400,000,000	6
3	329-200736	FEED,END TRUNION LINER:731-90-4-2106-1	130,000,000	6
4	626-206691	ADCVI BOARD COAT, PART POWER SECTION	61,700,000	6
5	626-204481	MOTOR, INDUCTION; 3PH; F/ 454DB2	150,000,000	6
6	626-204919	MOTOR:PREMIUM EFFICI;250HP;1500RPM	361,000,000	6
7	626-204065	MOTOR, AC INDUCTION 3PHASE	250,000,000	6
8	338-200613	MOTOR, AC: 3PHASE; 250KW; 380V; 2982RPM	224,087,108	6
9	338-200650	MOTOR, AC: 3PHASE; 355KW; 380V; 1487RPM	249,133,320	6
10	626-204195	SWITCHGEAR, CIRCUIT BREAKER HPA 24/2525C	210,000,000	6
11	314-200040	SWITCHGEAR, TYPE ; VD4 - 1212 - 31, "ABB	293,000,000	6
12	349-200350	SWITCHGEAR: VD4 1212-31	137,170,183	6
13	616-201272	SEAL,AXLE:7690-H80A SET;LWD HNBR60	320,000,000	6
14	331-200962	SPRAYING SYSTEM, FLOWMAX LANCE 1IN	112,000,000	6
15	301-200650	SHAFT FOR HAMMER COOLER	100,000,000	6
16	620-200293	GRIDS: SEALS; GASKETS&BOLTS; COUPLING	249,000,000	6
17	326-200092	RAIL:KZB250Q-1400/400/5	260,000,000	6
18	620-200101	COUPLING,TURBO:487 TVG EEK-M225	128,000,000	6
19	329-200337	ROTARY FEEDER VALVE TYPE. ZSG 0220-nf-20	171,650,000	6
20	329-200752	CHAIN, CONVEYOR; DOUBLE STRAND	187,297,500	6
21	311-200298	SEGMENT RING:730-91-4-3950-01	194,809,059	6
22	623-201607	BEARING, 531814/531814C	190,000,000	6
23	311-200193	BEARING, 24064-CC/C2W33	57,500,000	6
24	331-200764	SCREW: M; 116-94-4-1106-01; 250MM; 230MM	110,000,000	6
25	613-200943	KNIFE, GATE VALVE: SERIES AT200F; DN400	170,000,000	6
26	613-200944	KNIFE, GATE VALVE: SERIES AT200F; DN500	175,000,000	6
27	329-200743	ROTOR COMPLETE, P/N.550.052.62.01, ITEM	384,638,012	6
28	329-200744	PLATE,SEALING,BELOW:DRW 2.2	135,318,512	6
29	329-200745	PLATE,SEALING,ABOVE:DRW 2.2	135,318,512	6
30	329-200746	ROTOR COMPLETE:550.052.62.05	380,000,000	6
31	329-200747	PLATE,SEALING,LOWER:DRW 4.14	135,000,000	6
32	322-200475	CHAIN, F/RECLAIMER SCRAPER	170,000,000	6
33	624-200245	WHEEL, CHAIN: 400MM X 865MM	194,200,000	6
34	323-200268	BELT, BUCKET; G 31995 1 19 01; 24IN	650,000,000	6
35	308-200291	DAM RING:CHROM MOLYBDENUM ST.CAST	200,000,000	6
36	308-200364	BEARING, F 2389 A	400,000,000	6
37	308-200523	BEARING, F 2388 A	449,000,000	6
38	308-200054	SEAL:000-02-0-0920-41	62,146,250	6
39	308-200731	RING,CLAMPING:730-91-2-4603-01	230,000,000	6
40	623-201605	BEARING, 23184MB/C2	400,960,713	6
41	308-200414	ROD,SPRING	100,000,000	6
42	623-201870	HOUSING, BEARRING: SOFN 244 BF (FIX)	170,000,000	6
43	623-201871	HOUSING,BRG:SEAL & ACCESSORIES	170,000,000	6
44	323-200208	BEARING, 68120 FR	143,000,000	6
45	323-200575	BELT, BUCKET ELEV.; VULKAN SUPER 2000	450,000,000	6
46	609-200333	SCRAPER CHAIN 400/315, 110 LINK ; ITEM 1	250,000,000	6
47	323-200703	FRICTION LINING: 1250X1650 ART.01436870	225,000,000	6
48	323-200774	SEGMENTED LAGGING FOR DRIVER PULLEY	195,000,000	6

Dari tabel di atas terdapat 48 suku cadang dengan kategori *vital equipment*, *high price* dan *high lead time*. Daftar suku cadang tersebut yang nantinya akan diamati pola permintaannya kemudian dihitung perkiraan permintaan suku cadang pada periode 5 tahun kedepan berdasarkan data pada periode tahun 2014 – 2019.

5.1.2 Data Permintaan Suku Cadang

Tabel berikut ini merupakan data dari tiga suku cadang yang akan digunakan sebagai input dalam simulasi sistem dinamik.

Tabel 5. 2. Data permintaan suku cadang

No	Stock Number	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total
1	620-200253	2	2	2	2	2	2	12
2	312-200753	0	2	1	2	6	2	13
3	329-200736	2	3	2	3	2	3	15

5.1.3 Data Penggunaan Suku Cadang

Tabel berikut merupakan data penggunaan 3 suku cadang acak yang akan digunakan dalam simulasi ini setelah dilakukan klasifikasi suku cadang.

Tabel 5. 3. Data penggunaan 3 suku cadang untuk simulasi

No	Stock Number	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total
1	620-200253	0	0	0	4	2	0	6
2	312-200753	0	0	5	3	7	5	20
3	329-200736	2	0	0	2	0	0	4

5.1.4 Biaya Pemesanan

Ordering cost diperoleh dari penjumlahan ketiga komponen biaya di atas dibagi dengan rata-rata *Purchasing Order* yang berhasil diterbitkan oleh Departemen Pengadaan setiap tahunnya. Rata-rata jumlah dokumen PO yang berhasil diterbitkan oleh Departemen Pengadaan selama setahun sebesar 4.800 dokumen PO. Sehingga dapat dihitung seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. 4. *Ordering cost*

Rata2 Jumlah PO / Tahun	4,188
Biaya Pembuatan permintaan / Tahun	462,000,000
Biaya Komunikasi / Tahun	289,400,000
Biaya Pekerja Dep. Purchasing / Tahun	687,600,000
Order Cost / Pesan	343,601

Sehingga besaran dari *Ordering Cost* pada perusahaan ini adalah sebesar Rp 343.601. Nilai ini akan menjadi perhitungan untuk setiap kali sistem melakukan permintaan pembelian suku cadang di Departemen Pengadaan.

5.1.5 Biaya Penyimpanan

Pada penelitian ini maka nilai *holding cost* untuk setiap suku cadang yang dihitung sebanyak 48 item seperti yang ada pada tabel berikut.

Tabel 5. 5. *Holding cost per sparepart*

No	Material	Harga Material (Rp)	Invenstasi (Rp)	Pekerja (Rp)	Operasional (Rp)	Cost of Capital (Rp)	Holding Cost/Unit/Month (Rp)
1	620-200253	290,000,000	99,746	525	278	20,904,167	1,750,393
2	312-200753	400,000,000	99,746	525	278	28,833,333	2,411,157
3	329-200736	130,000,000	99,746	525	278	9,370,833	789,282
4	626-206691	61,700,000	99,746	525	278	4,447,542	379,008
5	626-204481	150,000,000	99,746	525	278	10,812,500	909,421
6	626-204919	361,000,000	99,746	525	278	26,022,083	2,176,886
7	626-204065	250,000,000	99,746	525	278	18,020,833	1,510,115
8	338-200613	224,087,108	99,746	525	278	16,152,946	1,354,458
9	338-200650	249,133,320	99,746	525	278	17,958,360	1,504,909
10	626-204195	210,000,000	99,746	525	278	15,137,500	1,269,837
11	314-200040	293,000,000	99,746	525	278	21,120,417	1,768,414
12	349-200350	137,170,183	99,746	525	278	9,887,684	832,353
13	616-201272	320,000,000	99,746	525	278	23,066,667	1,930,601
14	331-200962	112,000,000	99,746	525	278	8,073,333	681,157
15	301-200650	100,000,000	99,746	525	278	7,208,333	609,074
16	620-200293	249,000,000	99,746	525	278	17,948,750	1,504,108
17	326-200092	260,000,000	99,746	525	278	18,741,667	1,570,185
18	620-200101	128,000,000	99,746	525	278	9,226,667	777,268
19	329-200337	171,650,000	99,746	525	278	12,373,104	1,039,471
20	329-200752	187,297,500	99,746	525	278	13,501,028	1,133,465
21	311-200298	194,809,059	99,746	525	278	14,042,486	1,178,586
22	623-201607	190,000,000	99,746	525	278	13,695,833	1,149,699
23	311-200193	57,500,000	99,746	525	278	4,144,792	353,778
24	331-200764	110,000,000	99,746	525	278	7,929,167	669,143
25	613-200943	170,000,000	99,746	525	278	12,254,167	1,029,560
26	613-200944	175,000,000	99,746	525	278	12,614,583	1,059,594
27	329-200743	384,638,012	99,746	525	278	27,725,990	2,318,878
28	329-200744	135,318,512	99,746	525	278	9,754,209	821,230
29	329-200745	135,318,512	99,746	525	278	9,754,209	821,230
30	329-200746	380,000,000	99,746	525	278	27,391,667	2,291,018
31	329-200747	135,000,000	99,746	525	278	9,731,250	819,317
32	322-200475	1,700,000,000	99,746	525	278	122,541,667	10,220,185
33	624-200245	194,200,000	99,746	525	278	13,998,583	1,174,928
34	323-200268	650,000,000	99,746	525	278	46,854,167	3,912,893
35	308-200291	200,000,000	99,746	525	278	14,416,667	1,209,768
36	308-200364	400,000,000	99,746	525	278	28,833,333	2,411,157
37	308-200523	949,000,000	99,746	525	278	68,407,083	5,708,969
38	308-200054	62,146,250	99,746	525	278	4,479,709	381,688

Tabel 5. 6. *Holding cost per sparepart (lanjutan)*

No	Material	Harga Material (Rp)	Invenstasi (Rp)	Pekerja (Rp)	Operasional (Rp)	Cost of Capital (Rp)	Holding Cost/Unit/Month (Rp)
39	308-200731	230,000,000	99,746	525	278	16,579,167	1,389,976
40	623-201605	400,960,713	99,746	525	278	28,902,585	2,416,928
41	308-200414	100,000,000	99,746	525	278	7,208,333	609,074
42	623-201870	170,000,000	99,746	525	278	12,254,167	1,029,560
43	623-201871	170,000,000	99,746	525	278	12,254,167	1,029,560
44	323-200208	143,000,000	99,746	525	278	10,307,917	867,372
45	323-200575	4,500,000,000	99,746	525	278	324,375,000	27,039,629
46	609-200333	250,000,000	99,746	525	278	18,020,833	1,510,115
47	323-200703	225,000,000	99,746	525	278	16,218,750	1,359,942
48	323-200774	195,000,000	99,746	525	278	14,056,250	1,179,733

5.1.6 Penentuan Parameter Kebutuhan Suku Cadang

Rekomendasi perbaikan sistem pengadaan menggunakan metode *mix review* (R,s,S). Metode ini digunakan untuk menentukan jumlah kuantitas pemesanan, waktu pemesanan, titik replenishment dan maksimum stok persediaan yang optimal untuk meminimalkan biaya operasional tahunan perusahaan. Berikut merupakan perhitungan rekomendasi perbaikan sistem pengadaan yang dilakukan:

5.1.6.1 Kondisi Sistem pengadaan saat ini

Pada penelitian ini menekankan pada jenis material non rutin, dimana permintaannya tergantung dari permintaan *User* dengan melihat pola kebutuhan penggantian suku cadang pada peralatan produksi. Pola permintaan *lumpy* dimiliki oleh part yang sifatnya jarang dilakukan penggantian namun termasuk kategori kritis terhadap peralatan produksi.

Oleh karena permintaannya berdasarkan kebutuhan sewaktu-waktu dari *User* maka spare part ini diharapkan selalu ada di gudang dengan *minimum stock* yang tergantung dari jumlah peralatan produksi yang menggunakan suku cadang ini. Sehingga tidak ada unit kerja khusus yang memantau stock spare part ini kecuali *User* itu sendiri yang melakukan pekerjaan mulai dari merencanakan pembelian dan penggunaan suku cadang.

Dasar yang digunakan oleh *User* dalam merencanakan pembelian ini masih sangat intuitif berdasarkan perhitungan kebutuhan lapangan dan perkiraan penggunaannya dalam satu periode tertentu. Sehingga oleh Unit kerja Perencanaan Suku Cadang dan Pengadaan Barang, permintaan tersebut tidak serta merta

langsung dibelikan namun menunggu antrian yang tidak ada kategori khusus dalam memproses secepatnya kecuali ada permintaan secara lisan maupun tulisan.

5.1.6.2 Rekapitulasi Perhitungan Metode (R,s,S)

Setelah dilakukan perhitungan terhadap masing-masing parameter metode (R,s,S) untuk satu suku cadang maka langkah tersebut bisa diaplikasikan terhadap suku cadang yang lain sebanyak 48 suku cadang. Tabel di bawah ini merupakan rekapitulasi perhitungan metode (R,s,S) untuk semua suku cadang yang diperhitungkan.

Tabel 5. 7. Rekapitulasi perhitungan metode (R,s,S)

No	Material Number	Unit Cost (Rp)	Total Demand 6 Th	Annual Demand per year	Order Cost (Rp/pesanan)	Holding Cost (Rp/unit/month)	Average Demand	St. Dev Demand	Average Lead Time	Service Level	Z	Safety Stock	R	sMin	SMax
1	620-200253	290,000,000	12	2.00	343,600.76	1,750,392.97	0.1667	0.4747	6	0.95	1.6449	2	0	3	3
2	312-200753	400,000,000	13	2.17	343,600.76	2,411,156.86	0.1806	0.6353	6	0.95	1.6449	3	0	4	4
3	329-200736	130,000,000	15	2.50	343,600.76	789,281.86	0.2083	0.7108	6	0.95	1.6449	3	1	4	4
4	626-206691	61,700,000	22	3.67	343,600.76	379,007.55	0.3056	0.8331	6	0.95	1.6449	4	1	5	6
5	626-204481	150,000,000	22	3.67	343,600.76	909,420.75	0.3056	0.7246	6	0.95	1.6449	3	0	5	5
6	626-204919	361,000,000	20	3.33	343,600.76	2,176,886.02	0.2778	0.826	6	0.95	1.6449	3	0	5	5
7	626-204065	250,000,000	22	3.67	343,600.76	1,510,115.19	0.3056	0.7246	6	0.95	1.6449	3	0	5	5
8	338-200613	224,087,108	21	3.50	343,600.76	1,354,457.89	0.2917	0.7588	6	0.95	1.6449	3	0	5	5
9	338-200650	249,133,320	19	3.17	343,600.76	1,504,909.09	0.2639	0.7505	6	0.95	1.6449	3	0	5	5
10	626-204195	210,000,000	19	3.17	343,600.76	1,269,837.41	0.2639	0.7314	6	0.95	1.6449	3	0	5	5
11	314-200040	293,000,000	28	4.67	343,600.76	1,768,413.80	0.3889	0.8485	6	0.95	1.6449	3	0	6	6
12	349-200350	137,170,183	23	3.83	343,600.76	832,352.75	0.3194	0.8019	6	0.95	1.6449	3	0	5	5
13	616-201272	320,000,000	16	2.67	343,600.76	1,930,601.30	0.2222	0.6965	6	0.95	1.6449	3	0	4	4
14	331-200962	112,000,000	39	6.50	343,600.76	681,156.86	0.5417	2.6534	6	0.95	1.6449	11	0	14	14
15	301-200650	100,000,000	8	1.33	343,600.76	609,073.52	0.1111	0.4613	6	0.95	1.6449	2	1	3	3
16	620-200293	249,000,000	25	4.17	343,600.76	1,504,108.25	0.3472	0.9518	6	0.95	1.6449	4	0	6	6
17	326-200092	260,000,000	16	2.67	343,600.76	1,570,184.64	0.2222	0.7732	6	0.95	1.6449	3	0	5	5
18	620-200101	128,000,000	10	1.67	343,600.76	777,267.97	0.1389	0.6777	6	0.95	1.6449	3	1	4	4
19	329-200337	171,650,000	27	4.50	343,600.76	1,039,471.09	0.3750	1.2609	6	0.95	1.6449	5	0	7	8
20	329-200752	187,297,500	6	1.00	343,600.76	1,133,464.76	0.0833	0.325	6	0.95	1.6449	1	1	2	2
21	311-200298	194,809,059	12	2.00	343,600.76	1,178,586.27	0.1667	0.8049	6	0.95	1.6449	3	1	4	4
22	623-201607	190,000,000	14	2.33	343,600.76	1,149,698.52	0.1944	0.6198	6	0.95	1.6449	3	1	4	4
23	311-200193	57,500,000	3	0.50	343,600.76	353,778.39	0.0417	0.3536	6	0.95	1.6449	2	2	2	2
24	331-200764	110,000,000	15	2.50	343,600.76	669,142.97	0.2083	0.7108	6	0.95	1.6449	3	1	4	4
25	613-200943	170,000,000	8	1.33	343,600.76	1,029,559.64	0.1111	0.4613	6	0.95	1.6449	2	1	3	3
26	613-200944	175,000,000	5	0.83	343,600.76	1,059,594.36	0.0694	0.4221	6	0.95	1.6449	2	1	2	2
27	329-200743	384,638,012	13	2.17	343,600.76	2,318,878.25	0.1806	0.5126	6	0.95	1.6449	2	0	3	3
28	329-200744	135,318,512	19	3.17	343,600.76	821,229.86	0.2639	0.6499	6	0.95	1.6449	3	1	4	4
29	329-200745	135,318,512	22	3.67	343,600.76	821,229.86	0.3056	0.7438	6	0.95	1.6449	3	0	5	5
30	329-200746	380,000,000	26	4.33	343,600.76	2,291,017.97	0.3611	0.8929	6	0.95	1.6449	4	0	6	6
31	329-200747	135,000,000	24	4.00	343,600.76	819,316.58	0.3333	0.9786	6	0.95	1.6449	4	0	6	6
32	322-200475	1,700,000,000	1	0.17	343,600.76	10,220,184.64	0.0139	0.1179	6	0.95	1.6449	0	1	1	1
33	624-200245	194,200,000	18	3.00	343,600.76	1,174,927.69	0.2500	0.9457	6	0.95	1.6449	4	0	5	6
34	323-200268	650,000,000	6	1.00	343,600.76	3,912,892.97	0.0833	0.2783	6	0.95	1.6449	1	0	2	2
35	308-200291	200,000,000	18	3.00	343,600.76	1,209,767.97	0.2500	0.6869	6	0.95	1.6449	3	0	4	4
36	308-200364	400,000,000	26	4.33	343,600.76	2,411,156.86	0.3611	0.983	6	0.95	1.6449	4	0	6	6
37	308-200523	949,000,000	23	3.83	343,600.76	5,708,969.36	0.3194	0.7841	6	0.95	1.6449	3	0	5	5
38	308-200054	62,146,250	34	5.67	343,600.76	381,688.15	0.4722	1.3529	6	0.95	1.6449	6	1	9	9
39	308-200731	230,000,000	7	1.17	343,600.76	1,389,976.30	0.0972	0.3423	6	0.95	1.6449	1	1	2	2
40	623-201605	400,960,713	31	5.17	343,600.76	2,416,927.81	0.4306	1.4025	6	0.95	1.6449	6	0	8	8
41	308-200414	100,000,000	4	0.67	343,600.76	609,073.52	0.0556	0.331	6	0.95	1.6449	1	1	2	2
42	623-201870	170,000,000	14	2.33	343,600.76	1,029,559.64	0.1944	0.5474	6	0.95	1.6449	2	1	3	4
43	623-201871	170,000,000	14	2.33	343,600.76	1,029,559.64	0.1944	0.4933	6	0.95	1.6449	2	1	3	3
44	323-200208	143,000,000	4	0.67	343,600.76	867,372.14	0.0556	0.4714	6	0.95	1.6449	2	1	2	2
45	323-200575	4,500,000,000	12	2.00	343,600.76	27,039,629.08	0.1667	0.5035	6	0.95	1.6449	2	0	3	3
46	609-200333	250,000,000	4	0.67	343,600.76	1,510,115.19	0.0556	0.2853	6	0.95	1.6449	1	1	2	2
47	323-200703	225,000,000	7	1.17	343,600.76	1,359,941.58	0.0972	0.3423	6	0.95	1.6449	1	1	2	2
48	323-200774	195,000,000	1	0.17	343,600.76	1,179,733.25	0.0139	0.1179	6	0.95	1.6449	1	2	1	1

5.1.6.3 Sensitivity Analysis dengan Simulasi Sistem Dinamik

Analisa sensitifitas ini digunakan untuk memastikan apakah hasil perhitungan kebijakan persediaan yang diusulkan terhadap realitas di perusahaan

bisa diaplikasikan dengan baik atau perlu dilakukan *adjustment* sehingga sesuai dengan tujuan penelitian yang diharapkan.

Pembahasan simulasi sistem dinamik akan lebih detail dijelaskan di sub bab berikutnya yang dibagi menjadi beberapa sub-model. Meskipun terbagi menjadi beberapa sub-model namun diantara sub-model tersebut saling terkait dan saling mempengaruhi satu sama lain. Dalam membuat simulasi sistem dinamik ini menggunakan 3 suku cadang yang cukup mewakili saling keterkaitan seluruh sistem terhadap kebijakan persediaan yang diusulkan. Tabel di bawah ini merepresentasikan 3 suku cadang yang dijadikan sample simulasi.

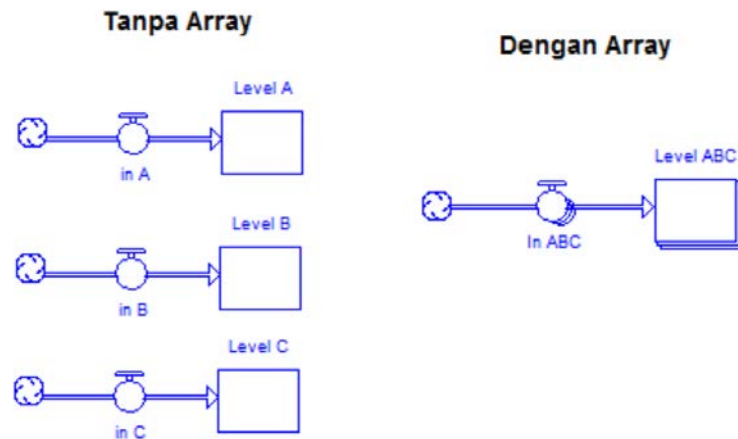
Tabel 5. 8. Suku cadang *sample* simulasi

No	Material Number	Unit Cost (Rp)	Total Demand 6 Th	Annual Demand per year	Order Cost (Rp/pesan)	Holding Cost (Rp/unit/month)	Average Demand	St. Dev Demand	Average Lead Time	Service Level	Z	Safety Stock	R	sMin	SMax
1	620-200253	290,000,000	12	2.00	343,600.76	1,750,392.97	0.1667	0.474712663	6	0.95	1.6449	2	0	3	3
2	312-200753	400,000,000	13	2.17	343,600.76	2,411,156.86	0.1806	0.635263922	6	0.95	1.6449	3	0	4	4
3	329-200736	130,000,000	15	2.50	343,600.76	789,281.86	0.2083	0.710831689	6	0.95	1.6449	3	1	4	4

5.2 Model Simulasi

Dalam melakukan pemrograman yang melibatkan 3 suku cadang yang mempunyai karakteristik permintaan dan penggunaan yang berbeda-beda, metode *array* bisa digunakan untuk menyederhanakan penyebutan masing-masing karakteristik suku cadang sehingga bisa dimasukkan dalam satu wadah *stock model*.

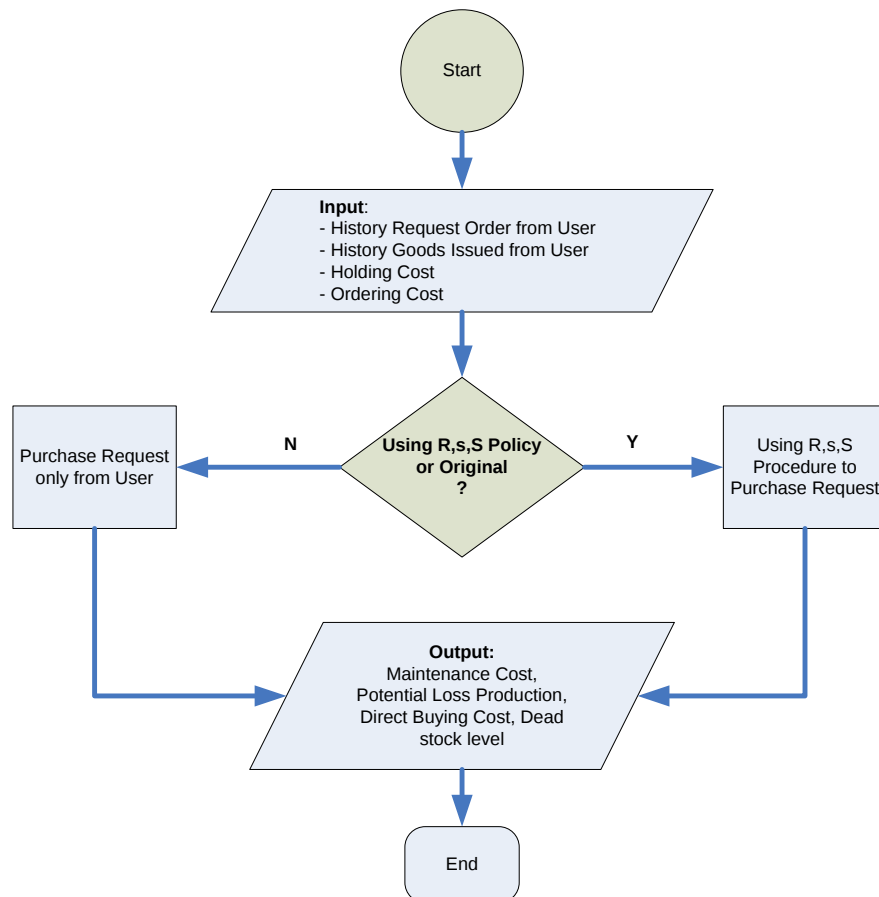
Misalnya *stock* pada *inventory level* yang terdiri dari suku cadang A, B dan C jika tidak menggunakan sistem *array* maka dibuatlah 3 *stock inventory level*. Namun jika menggunakan sistem *array* maka cukup menggunakan satu *stock* namun mempunyai lapisan atau dimensi lebih dari satu. Pada gambar di bawah ini merepresentasikan kesederhanaan sistem *array* pada 3 item suku cadang. Simbol dari sistem *array* ini juga berbeda dengan simbol *stock* dan *flow* pada umumnya, terlihat lebih berlapis.



Gambar 5. 1. Contoh penyederhanaan sistem *array*

5.2.1 Diagram Alir Simulasi

Gambar di bawah ini merupakan *flowchart* simulasi yang akan dijalankan yaitu bagaimana simulasi menggambarkan perbedaan system yang menggunakan kebijakan metode (R,s,S) dan tanpa menggunakan kebijakan metode (R,s,S).



Gambar 5. 2. *Flowchart* garis besar simulasi

5.2.2 Sub Model Goods Receipt & Goods Issued

Sub model yang pertama yang dibuat adalah sub model yang merepresentasikan permintaan pembelian suku cadang menjadi dua pilihan yaitu berdasarkan kebijakan metode (R,s,S) dan berdasarkan permintaan dari *User* semata. Jika menggunakan permintaan dari *User* semata maka jumlah barang yang dibeli oleh pengadaan adalah jumlah permintaan dikurangi dengan jumlah *inventory* yang ada di gudang. Namun jika permintaan suku cadang berdasarkan kebijakan metode (R,s,S) maka setiap periode R unit waktu, level *inventory* suku cadang A dilakukan pengecekan apakah jumlahnya sama dengan atau di bawah parameter sMin atau minimal *reorder point*. Jika di bawah atau sama dengan sMin maka jumlah barang yang dipesan adalah SMax dikurangi dengan *inventory level*. Nilai awal parameter ini diperoleh dari perhitungan yang telah dilakukan pada sub bab 4 perbaikan kebijakan persediaan.

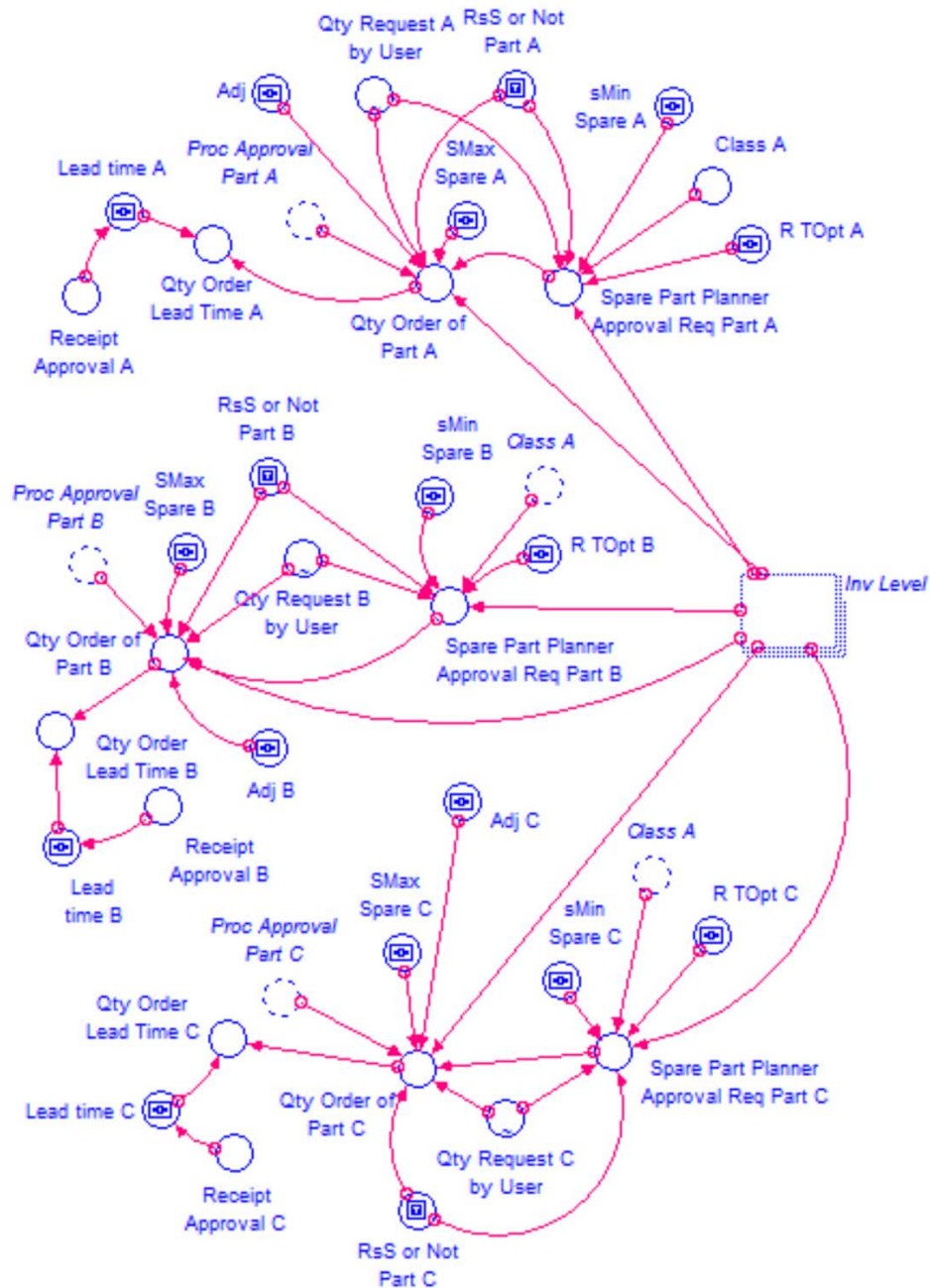
Spare part planner approval merupakan unit kerja yang melakukan persetujuan terhadap permintaan pembelian yang diajukan oleh *User*. *Spare part planner approval* ini disimulasikan memilih dua pekerjaan yaitu saat menggunakan kebijakan *periodic review* dan tidak menggunakan. Saat menggunakan kebijakan *periodic review* maka *spare part planner* ini akan memberikan persetujuan permintaan pembelian jika *inventory level* berada pada nilai yang sama atau kurang dari sMin pada saat R optimal terpenuhi.

Kemudian jumlah barang yang dipesan pada mode *periodic review* ini merupakan pengurangan dari nilai SMax yang telah dihitung dengan nilai *inventory* pada periode tersebut. Setelah barang yang dipesan tersebut disetujui oleh departemen pengadaan barang, maka kedatangan barang tersebut menunggu hingga *lead time* terpenuhi sehingga masuk ke *flow goods receipt* dan menambah *inventory level* sesuai nama suku cadang yang dipesan. Logika dari masing-masing *variable* tersebut ditunjukkan pada *pseudo code* di bawah.

Spare part Planner Approval Req Part A = if RsS or Not Part A = 1 then if Class A = 1 then if time/R TOpt A = int (time/R TOpt A) then if Inv Level[Part A] <= sMin Spare A then 1 else 0 else 0 else 0 else if Class A = 1 then if Qty Request

$A \text{ by User} > 0$ then if $\text{Inv Level}[\text{Part A}] \leq \text{sMin Spare A}$ then 1 else 0 else 0 else 0

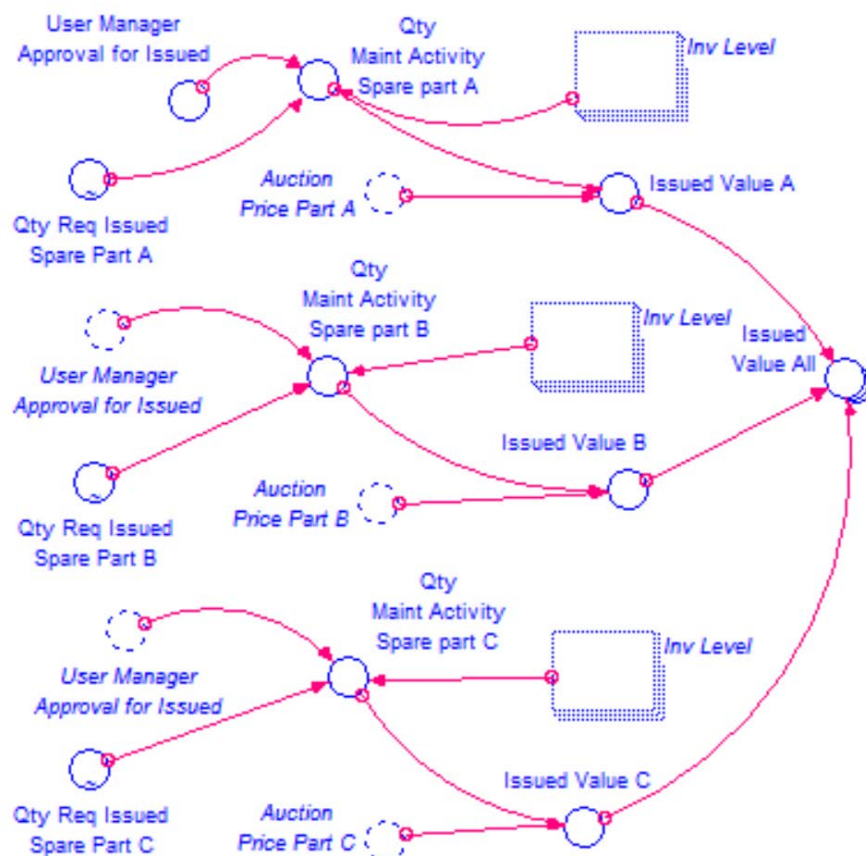
Qty order of Spare part A = if RsS or Not Part A = 1 then if Spare Part Planner Approval Req Part A = 1 then if Proc Approval Part A = 1 then $\text{SMax Spare A} - \text{Inv Level}[\text{Part A}]$ else 0 else 0 else if Spare Part Planner Approval Req Part A = 1 then if Qty Request A by User $> \text{Inv Level}[\text{Part A}]$ then Qty Request A by User - $\text{Inv Level}[\text{Part A}]$ else 0 else 0



Gambar 5. 3. Sub model goods receipt

Stock model inventory level ini dipengaruhi oleh *inflow* yang berupa *goods receipt* dan *outflow* yang berupa *goods issued*. Untuk *goods issued* dipengaruhi oleh faktor *Approval User Manager* dan jumlah barang yang diminta untuk diambil dari gudang. Harga suku cadang disini merupakan harga hasil negosiasi yang dilakukan oleh Departemen Pengadaan setelah melalui proses tender tertutup dengan beberapa vendor terkait.

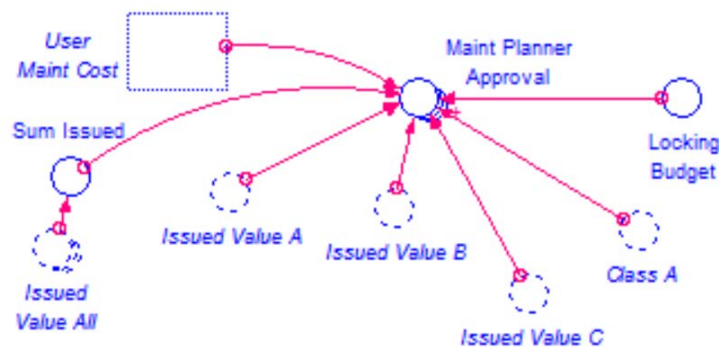
Pada gambar di bawah ini sebagai contoh jumlah aktifitas pemeliharaan dari suku cadang A merupakan hasil pertimbangan dari permintaan penggunaan *User* dan melihat *stock on hand* suku cadang tersebut. Jika jumlah suku cadang yang diminta *issued* lebih besar dari *stock on hand* gudang maka jumlah yang bisa diambil sebesar *stock on hand* gudang. Namun sebaliknya jika jumlah yang diminta *issued* lebih kecil dari *stock* gudang maka jumlah yang bisa diambil sebesar jumlah yang diminta.



Gambar 5. 4. Sub model *goods issued*

Pada gambar di atas *issued value* merupakan hasil perkalian dari *quantity maintenance activity* untuk setiap tipe suku cadang dengan harga suku cadang hasil lelang. *Issued value* ini diproses sub model *maintenance planner approval* untuk memberikan keputusan apakah nilai masing-masing *issued value* suku cadang sesuai dengan *locking budget* yang telah ditetapkan oleh Departemen Pemeliharaan. Sesuai klasifikasi suku cadang yang telah dilakukan pada bab 4, suku cadang yang dipilih ini mempunyai nilai di atas 100 juta Rupiah sedangkan *locking budget* yang ditetapkan oleh Departemen Pemeliharaan pada beberapa periode sebesar 25 juta Rupiah. Namun karena suku cadang ini telah diajukan oleh User untuk masuk dalam rencana pemeliharaan dalam suatu periode maka batasan *locking budget* merupakan nilai minimal dari harga setiap suku cadang yang dimasukkan.

Pada gambar di bawah ini merupakan sub model dari *Maintenance Approval* untuk 3 suku cadang. Jika semua nilai suku cadang yang akan issued nilainya dibawah atau sama dengan *maintenance cost* setiap User maka nilai masing-masing suku cadang tersebut dibandingkan dengan batasan anggaran setiap kali melakukan *quantity issued*. *Maintenance planner* akan menyetujui transaksi *goods issued* jika *budget* yang dimiliki oleh User tersedia dan tidak melebihi dari batasan anggaran *locking budget* yang telah ditetapkan.



Gambar 5. 5. Sub model *maintenance approval*

Pada periode yang sama potensi ketiga suku cadang tersebut *issued* dari gudang cukup besar, sehingga diperlukan algoritma dalam mengikuti ketentuan yang dibuat oleh *Maintenance Planner Approval*, yaitu mengecek kombinasi yang mungkin terjadi pada ketiga suku cadang tersebut issued. Jumlah pengecekan kombinasi ketiga suku cadang adalah $2^2 + 2^1 2^0 = 4 + 2 + 1 = 7$ pengecekan

kombinasi. Contoh *pseudo code* dari salah satu pengecekan *Maintenance Planner Approval* adalah sebagai berikut:

Maint Planner Approval[Issued A] = if Issued Value A > 0 THEN IF Sum Issued <= User Maint Cost then if Issued Value A <= Locking Budget THEN 1 ELSE 0 ELSE IF (Issued Value A+Issued Value B) <= User Maint Cost THEN 1 ELSE IF (Issued Value A+Issued Value C) <= User Maint Cost THEN 1 ELSE IF Issued Value A <= User Maint Cost THEN 1 ELSE 0 ELSE 0

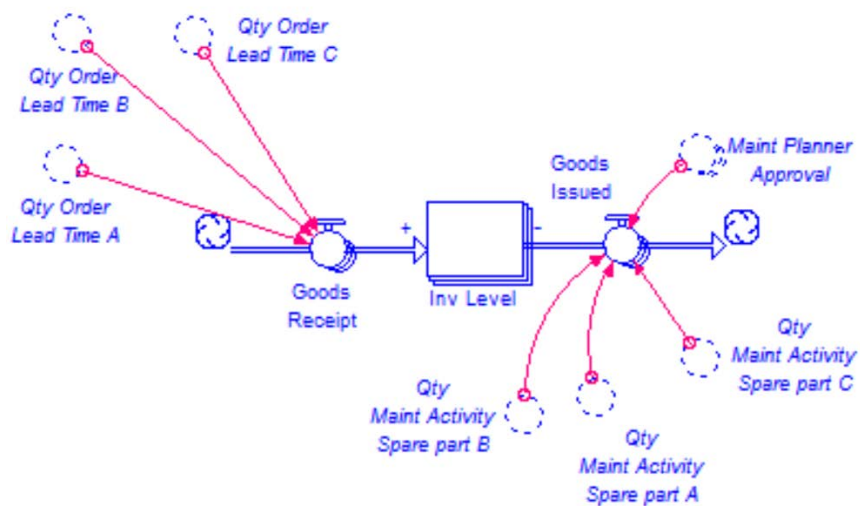
Maint Planner Approval[Issued C] = If Issued Value C > 0 THEN IF Sum Issued <= User Maint Cost then if Issued Value C <= Locking Budget THEN 1 ELSE 0 ELSE IF (Issued Value A+Issued Value C) <= User Maint Cost THEN 1 ELSE IF (Issued Value B+Issued Value C) <= User Maint Cost THEN 1 ELSE IF Issued Value C <= User Maint Cost THEN 1 ELSE 0 ELSE 0

Pseudo code di atas merupakan pengecekan terhadap *issued value* suku cadang A,C dan berlaku juga untuk suku cadang B. Kombinasi pengecekan ini digunakan untuk memastikan bahwa di setiap periode memungkinkan dilakukan *approval* terhadap setiap suku cadang asalkan anggaran pemeliharaan setiap *User* tersedia dan *issued value*-nya kurang dari atau sama dengan batasan *locking budget* yang telah ditetapkan oleh Unit Kerja Perencanaan Pemeliharaan.

Setelah semua prosedur dilaksanakan maka material yang masuk dan keluar dari *inventory* akan saling mempengaruhi level *inventory* seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.6 di bawah ini. Aliran *goods receipt* dipengaruhi oleh variabel *quantity order* dengan waktu kedatangan tertentu. Sedangkan aliran *goods issued* dipengaruhi oleh *quantity maintenance activity* masing-masing suku cadang setelah disetujui oleh Unit kerja *maintenance planner*. *Pseudo code* dari masing-masing variabel aliran seperti ditunjukkan pada persamaan di bawah ini.

Goods Receipt [Part A] = *Quantity Order Lead Time A*

Goods Issued [Part A] = IF *Maint Planner Approval* [Issued A] = 1 THEN Qty *Maint Activity Spare part A* ELSE 0

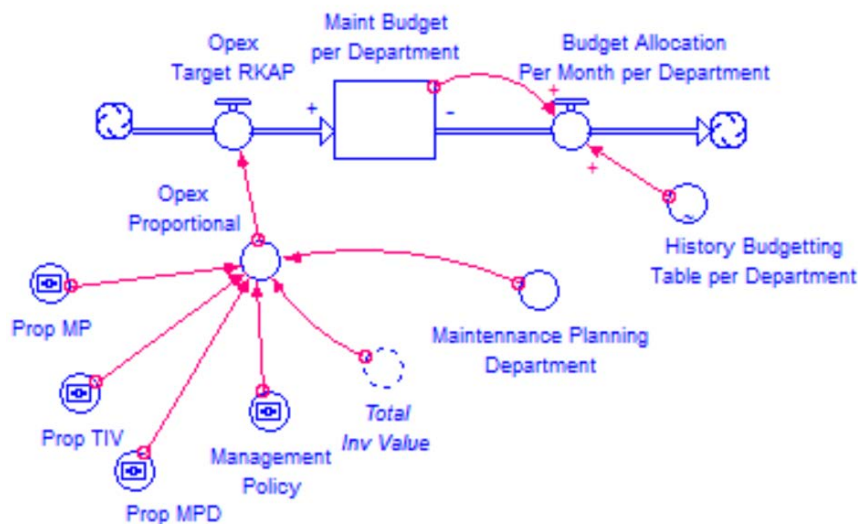


Gambar 5. 6. Sub model stock GR-GI

5.2.3 Sub Model *Maintenance Budget*

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.7 di bawah, sub model ini merupakan serangkaian *variable* yang merepresentasikan aliran uang yang diberikan oleh Manajemen kepada masing-masing Departemen. Dalam menentukan budget, Manajemen memberikan proporsi anggaran yang terdiri dari 3 parameter yaitu *management policy* itu sendiri, *maintenance planning per Departement* dan *total inventory value*. Proporsi tersebut dalam simulasi merupakan variabel yang bisa diubah-ubah nilainya untuk mendapatkan komposisi proporsi terbaik yang ditandai dengan *total cost* terendah, seperti yang ditunjukkan pada *pseudo code* di bawah ini.

Opex Proportional = *Prop MP*Management Policy* + *Prop MPD*Maintennance Planning Department* + *Prop TIV*Total Inv Value*



Gambar 5. 7. Sub model *maintenance budget*

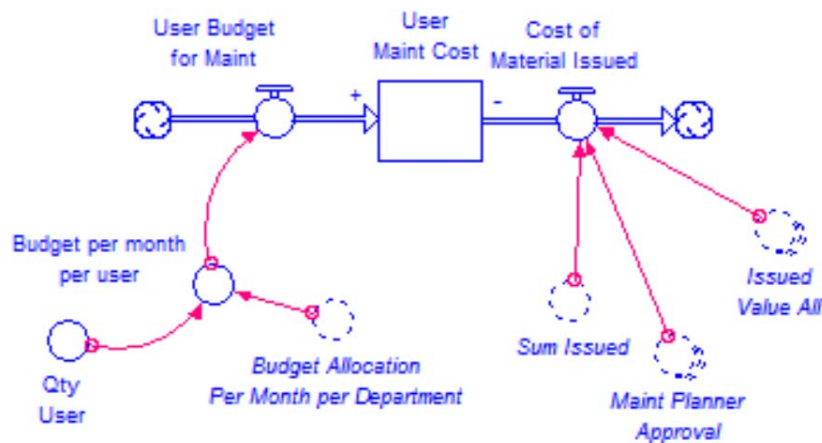
Maintenance planning department merupakan biaya perencanaan per department yang diajukan untuk melakukan transaksi ketiga suku cadang tersebut. Nilainya dalam simulasi ini merupakan pendekatan dari *history* pemakaian suku cadang tersebut selama 72 periode. Kemudian seluruh biaya yang dikeluarkan untuk ketiga suku cadang tersebut dijumlahkan dan dirata-rata 3 suku cadang dan 72 periode.

Budget allocation per month per department ini yang merupakan alokasi biaya yang diberikan kepada departemen setiap periodenya yang akan menjadi dasar pembagian anggaran kepada beberapa *User*. *Pseudo code* dari variabel tersebut adalah sebagai berikut.

*if Maint Budget per Department > History Budgetting Table per Department then
History Budgetting Table per Department else Maint Budget per Department*

5.2.4 Sub Model *Maintenance Cost per User*

Model ini seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini, merepresentasikan anggaran biaya belanja yang diberikan oleh Departemen Pemeliharaan kepada seluruh *User* yang ada di bawahnya. Dalam simulasi ini jumlah *User* yang menggunakan ketiga suku cadang tersebut sebanyak satu *User* sehingga pembagian jumlah anggaran yang diterima setiap *User* adalah tergantung dari variabel *Budget Allocation per month per Department* dibagi dengan satu *User*.



Gambar 5. 8. Sub model *maintenance cost per user*

Sedangkan faktor yang menyebabkan anggaran pemeliharaan setiap *User* itu berkurang adalah adanya *goods issued* atau mengeluarkan barang dari gudang. Prosedur *goods issued* itu sendiri telah diterangkan pada sub bab sebelumnya seperti yang bisa terlihat pada *pseudo code* berikut ini pada variabel *Cost of Material Issued*.

```

IF Maint Planner Approval[Issued A] = 1 AND Maint Planner Approval[Issued B]
= 1 AND Maint Planner Approval[Issued C] = 1 THEN Sum Issued ELSE IF Maint
Planner Approval[Issued A] = 1 AND Maint Planner Approval[Issued B] = 1
THEN Issued Value All[A]+Issued Value All[B] ELSE IF Maint Planner
Approval[Issued A] = 1 AND Maint Planner Approval[Issued C] = 1 THEN Issued
Value All[A]+Issued Value All[C] ELSE IF Maint Planner Approval[Issued B] =
1 AND Maint Planner Approval[Issued C] = 1 THEN Issued Value All[B] + Issued
Value All[C] ELSE IF Maint Planner Approval[Issued A] = 1 THEN Issued Value
All[A] ELSE IF Maint Planner Approval[Issued B] = 1 THEN Issued Value All[B]
ELSE IF Maint Planner Approval[Issued C] = 1 THEN Issued Value All[C] ELSE
0

```

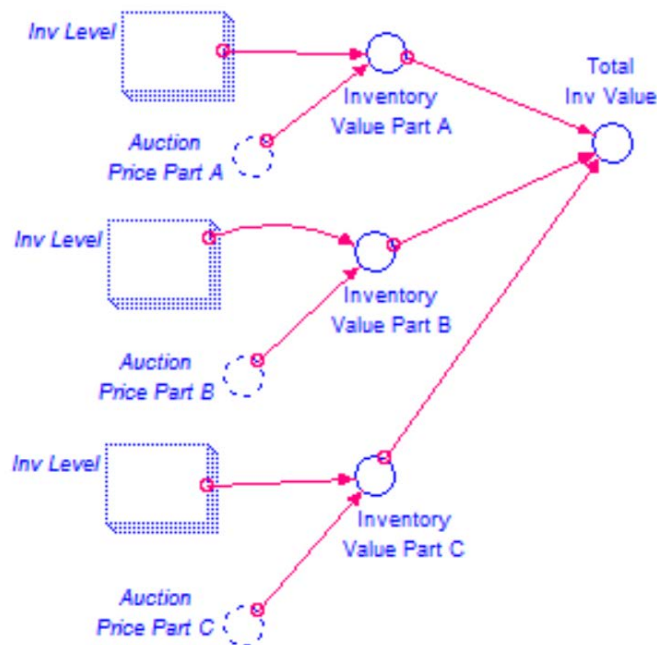
5.2.5 Sub Model *Inventory Value*

Sub model dari *inventory value* terlihat pada gambar di bawah ini. Perhitungan masing-masing nilai *inventory* ditunjukkan pada persamaan di bawah ini. Harga suku cadang setiap periode berpotensi berbeda-beda tergantung kapan

suku cadang itu dibelikan. Pembelian suku cadang ini mengalami kenaikan setiap tahunnya sesuai dengan nilai inflasi dan harga saat tender antar vendor.

$Inventory\ Value\ Part\ A = Inv\ Level\ [Part\ A] * Auction\ Price\ Part\ A$

$Total\ Inventory\ Value = Inventory\ Value\ Part\ A + Inventory\ Value\ Part\ B + Inventory\ Value\ Part\ C$



Gambar 5. 9. Sub model dari inventory value

Auction price setiap suku cadang merupakan harga suku cadang setelah melalui proses tender di Departemen Pengadaan. Nilainya akan senantiasa bertambah setiap tahunnya tergantung nilai inflasi. Dalam simulasi ini nilai inflasi setiap tahun direpresentasikan mengalami kenaikan sebesar 5% - 15% dari periode awal hingga akhir.

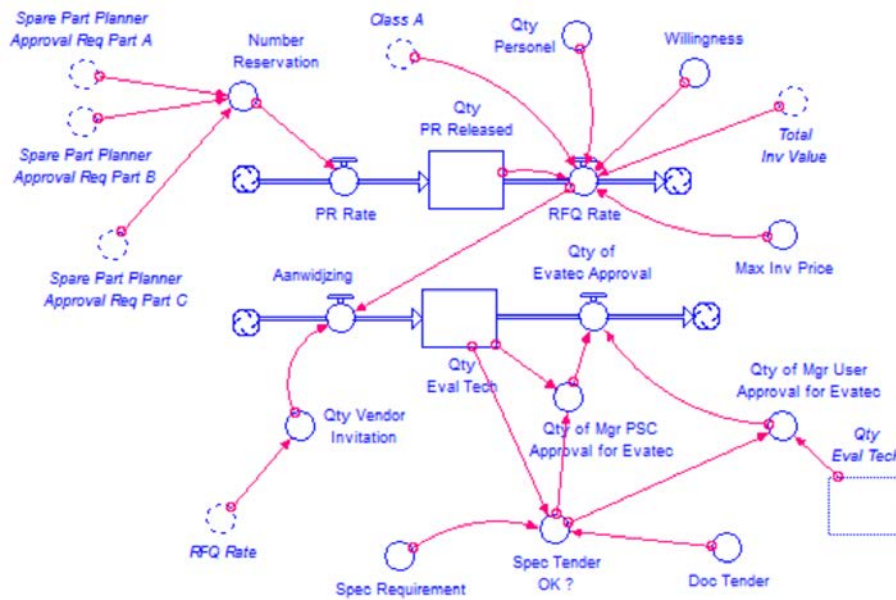
5.2.6 Sub Model *Purchasing Request*

Sub model ini berisi representasi dari aliran proses dokumen *purchasing request* dari *User* hingga ke pengadaan seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.18 di bawah. Dokumen ini berupa aliran kode notifikasi yang dihasilkan oleh SAP mulai dari *User* yang berupa nomor reservasi, nomor PR hingga status PR tersebut apakah sudah diproses oleh Unit Perencanaan Suku cadang dan Unit Pengadaan.

Setelah dokumen reservasi disetujui oleh Manajer Perencanaan Suku cadang maka Unit Pengadaan akan membuat dokumen RFQ (*Request for Quotation*) atau dokumen penawaran. Dalam membuat dokumen RFQ, karyawan di unit pengadaan akan mengecek secara sistem apakah nilai *inventory* yang ada di gudang saat itu berada di bawah nilai *inventory* maksimal yang ditetapkan oleh manajemen. Jika melebihi maka RFQ tidak dibuat segera atau menunggu nilai *inventory* di gudang menurun. Artinya suku cadang di gudang harus digunakan dulu supaya nilai *inventory* bisa turun. Pada simulasi ini nilai maksimal *inventory* diperoleh dari *history* pemakaian suku cadang pada satu siklus periode untuk ketiga suku cadang yang dipilih.

Jumlah personel di unit pengadaan dan kemauan untuk memproses juga mempengaruhi terbitnya dokumen RFQ. Pada prakteknya dokumen RFQ ini dibuat hingga mengundang vendor membutuhkan waktu selama 14 hari untuk satu dokumen Reservasi yang telah dibuat oleh *User*, sehingga jumlah personel pengadaan juga mempengaruhi kecepatan pemrosesan dokumen RFQ. Namun dalam simulasi ini dimana setiap periode dalam satuan bulan sehingga waktu 14 hari ini dianggap tidak berpengaruh terhadap proses pengadaan barang.

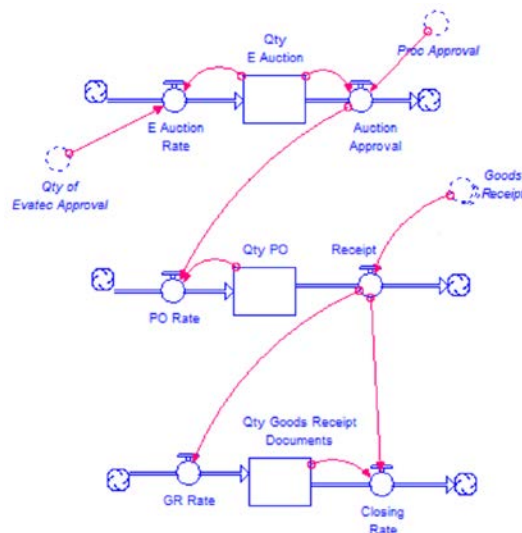
Kemudian setelah dokumen RFQ tersebut jadi maka proses selanjutnya adalah mengundang vendor untuk mengikuti acara penjelasan teknis terhadap suku cadang yang hendak dibeli. Setelah itu vendor diberi waktu untuk melakukan penawaran teknis terhadap suku cadang yang diberikan. Dokumen penawaran teknis yang diberikan oleh vendor kepada pihak pengadaan dikembalikan lagi ke *User* untuk diverifikasi apakah barang yang akan ditawarkan oleh vendor tersebut sesuai dengan spesifikasi teknis yang diajukan oleh *User*.



Gambar 5. 10. Sub model dari *purchasing request*

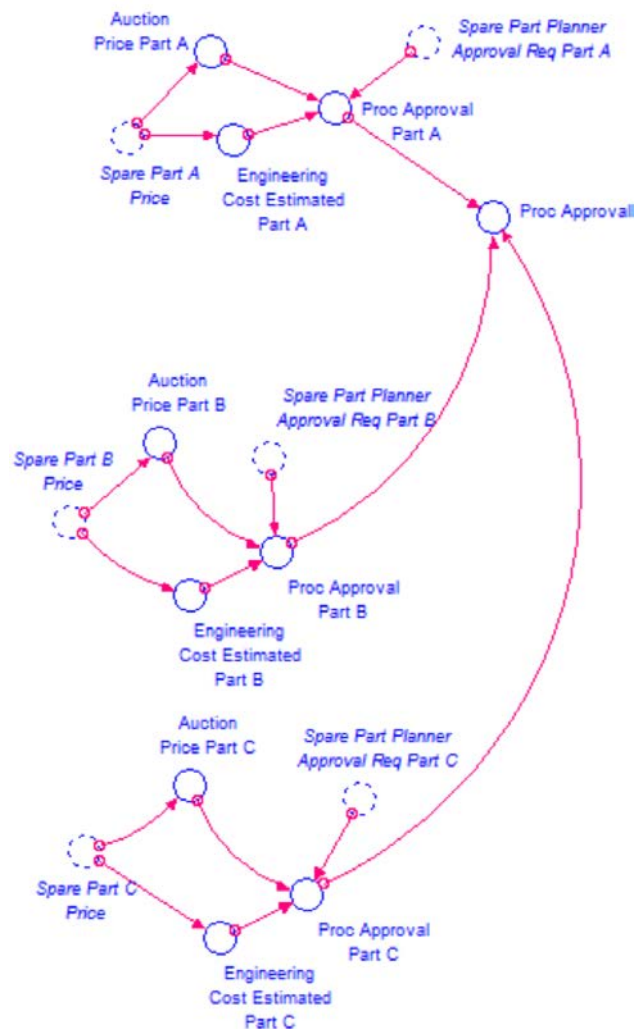
5.2.7 Sub Model Auction Document & Purchasing Order

Sub model berikutnya sesuai gambar di bawah menunjukkan setelah dilakukan persetujuan dokumen penawaran teknis maka dilakukan penawaran harga seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Apabila dalam proses lelang telah terjadi kesepakatan maka pihak pengadaan akan menerbitkan dokumen *Purchasing Order* atau PO. Jika barang yang dipesan sudah dikirim oleh vendor sesuai *lead time* yang telah disepakati maka dokumen tersebut bisa dilakukan *closing* notifikasi.



Gambar 5. 11. Sub model dokumen *auction* dan *purchasing order*

Sub model *procurement approval* pada gambar di bawah ini merupakan prosedur yang harus dilalui untuk memperoleh persetujuan atas penawaran harga yang diajukan vendor sesuai dengan nilai *Engineering Cost Estimated* (ECE). Nilai ECE setiap tahunnya akan mengalami peningkatan atas nilai suku cadang tersebut yang menyebabkan nilai barang yang ditawarkan oleh vendor setiap tahun akan mengalami peningkatan.

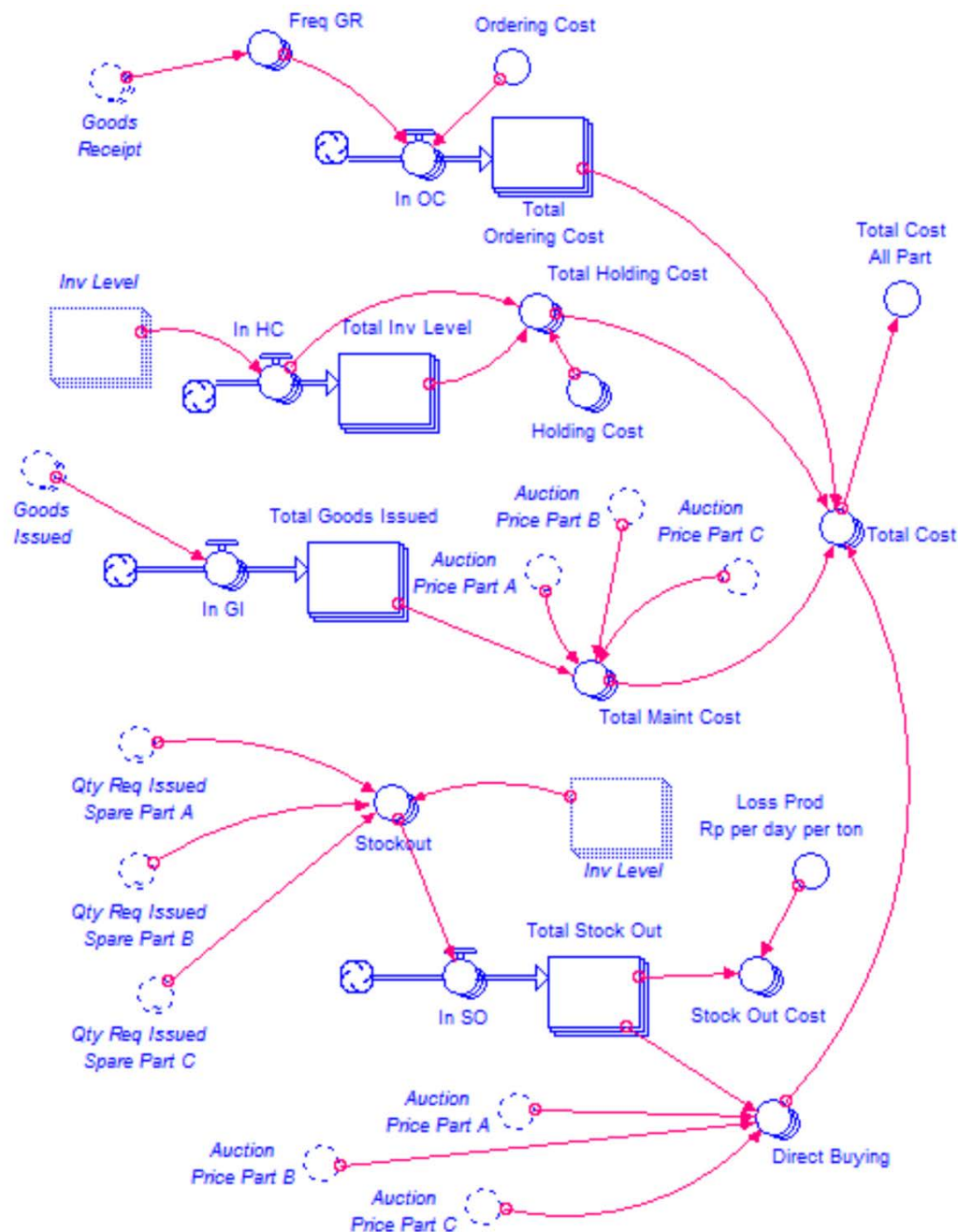


Gambar 5. 12. Sub model *procurement approval*

5.2.8 Sub Model *Relevant Cost*

Total cost merupakan penjumlahan dari biaya pemesanan, biaya simpan, biaya pemeliharaan dan stockout cost yang menyebabkan pembelian dilakukan secara langsung ke vendor tanpa lelang. Jika suku cadang ini tidak segera dibeli

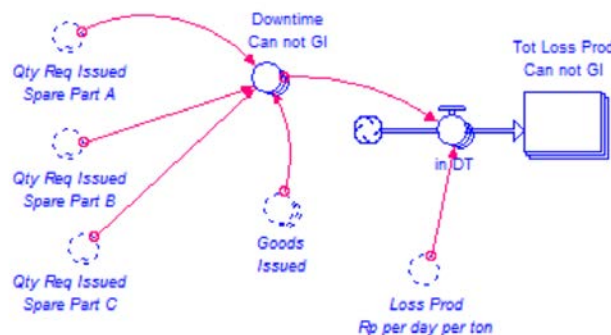
menyebabkan *downtime* peralatan mesin yang bisa menyebabkan kehilangan produksi yang jika dikonversi ke potensi kehilangan keuntungan menjadi nilai Rupiah per ton semen per hari. Gambar di bawah ini merepresentasikan total cost untuk masing-masing suku cadang dan efeknya jika suku cadang tersebut dibeli, diambil dari gudang, tidak tersedia di gudang dan dilakukan pembelian secara langsung ke supplier dengan harga 20% lebih mahal dari harga lelang.



Gambar 5. 13. Sub model *total cost*

Namun dalam total cost tersebut belum dimasukkan potensi kehilangan produksi yang diakibatkan oleh tidak berhasilnya aktifitas *goods issued* yang diajukan oleh *User* untuk memperbaiki peralatan produksi. Potensi kehilangan produksi tersebut disebabkan oleh beberapa hal antara lain pada periode tertentu saat *User* butuh suku cadang namun stock di gudang tidak tersedia yang berpotensi terjadinya *downtime* peralatan utama. Penyebab lainnya adalah saat suku cadang tersebut tersedia di gudang namun anggaran yang dimiliki oleh *User* tidak cukup atau batasan *locking budget* maka suku cadang tersebut tidak bisa dilakukan *goods issued* sehingga berpotensi menyebabkan *downtime*.

Sub model berikut ini merepresentasikan *potential loss production* yang akan terjadi jika *goods issued* tidak bisa dilakukan pada periode tertentu. *Goods issued* tidak bisa berjalan disebabkan oleh suku cadang yang dibutuhkan tidak tersedia di periode tertentu kemudian terkait oleh biaya baik biaya pemeliharaan setiap *User* maupun batasan *locking budget* oleh Unit Perencanaan Pemeliharaan.



Gambar 5. 14. Sub model *potential loss production*

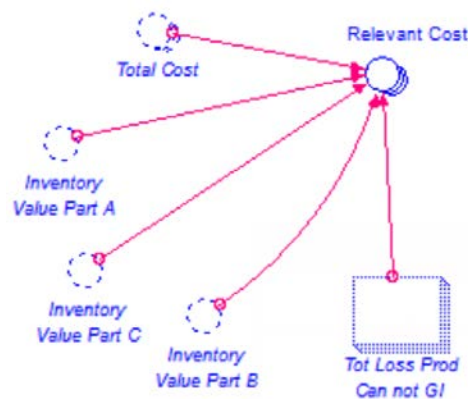
Pseudo code dari inflow *downtime can not GI* adalah sebagai berikut:

if Qty Req Issued Spare Part C = Goods Issued [Part C] then 0 else 1

Total loss production merupakan perkalian dari jumlah *downtime can not GI* dengan nilai *loss production* per hari per ton. *Loss production* per hari per ton ini diasumsikan diperoleh dari rata-rata *Cost of Goods Manufacturer* (COGM) dari seluruh *plant* produksi dikalikan dengan kapasitas rata-rata seluruh *plant*.

Berikutnya adalah *total relevant cost* yang merepresentasikan seluruh biaya yang terlibat dalam transaksi suku cadang ini. Yaitu meliputi *total cost*, *total*

inventory value dan *total loss production*. Gambar di bawah merepresentasikan sub model *total relevant cost*.



Gambar 5. 15. Sub model *total relevant cost*

Melalui biaya ini kita bisa melihat performa manajemen suku cadang dilihat dari beberapa persepektif selain dari sudut pandang persediaan. Factor lain yang harus diperhatikan dalam mengendalikan suku cadang adalah melihat kemungkinan yang diakibatkan jika suku cadang tersebut tidak bisa digunakan dari gudang karena keterbatasan anggaran yang disediakan manajemen. Jika *User* tidak bisa menggunakan suku cadang yang ada di gudang karena keterbatasan anggaran maka akibatnya adalah muncul potensi kehilangan produksi, dimana dalam simulasi ini direpresentasikan dalam parameter *loss production can not GI (Goods Issued)*.

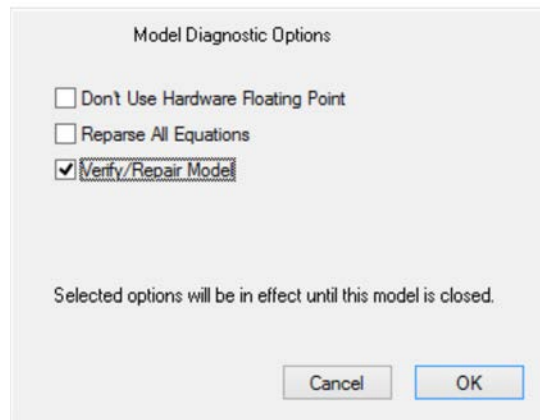
5.3 Verifikasi dan Validasi

5.3.1 Verifikasi

Representasi kredibel sistem nyata oleh model simulasi ditunjukkan oleh verifikasi dan validasi model. Verifikasi adalah proses pemeriksaan apakah logika operasional model (program komputer) sesuai dengan logika diagram alur. Kalimat sederhananya, apakah ada kesalahan dalam program? (Hoover & Perry, 1989). Verifikasi adalah pemeriksaan apakah program komputer simulasi berjalan sesuai dengan yang diinginkan, dengan pemeriksaan program komputer. Verifikasi memeriksa penerjemahan model simulasi konseptual (diagram alur dan asumsi) ke dalam bahasa pemrograman secara benar (Law & Kelton, 1991).

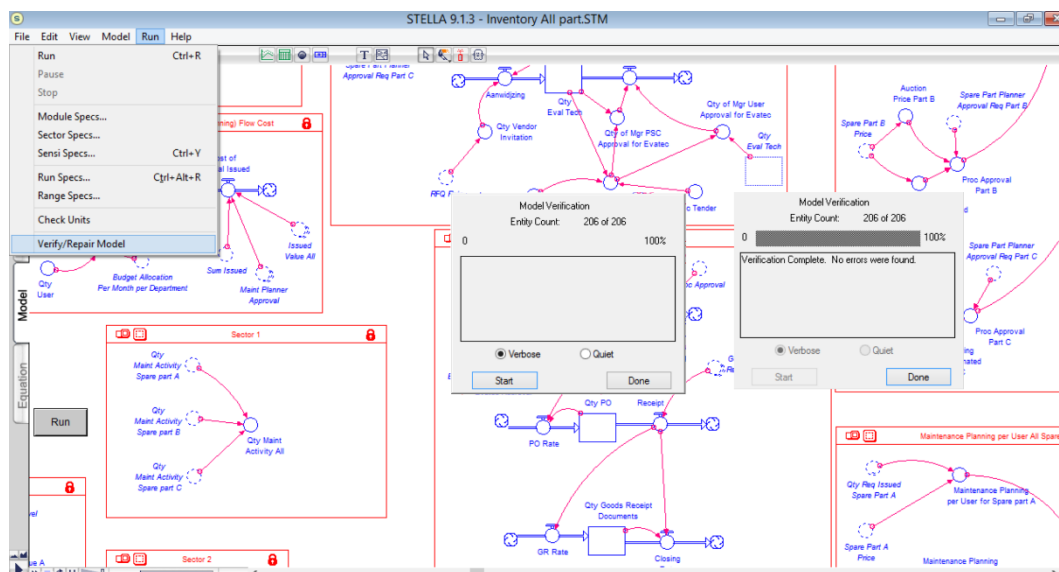
Pada tahap ini untuk memastikan bahwa model yang dibuat pada software Stella isee system tidak terjadi kesalahan adalah dengan melakukan *Verify/Repair*

Model yang ada pada menu Run, menu tersebut diperoleh pada saat membuka file *.STM dengan cara menekan tombol *SHIFT* selama file tersebut dibuka pertama sehingga akan muncul menu seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 5. 16. *Verification step*

Gambar di bawah ini menunjukkan langkah proses verifikasi model pada program stella yang telah dibuat. Dengan memilih menu Verbose kemudian tekan tombol Start maka akan muncul status Verifikasi, jika ditemukan Error dalam program yang dibuat. Pada pop up menu di sebelah kanan merupakan hasil verifikasi model yang telah dibuat pada program simulasi inventori suku cadang.



Gambar 5. 17. *Model verification*

Verifikasi model juga disebut sebagai validasi internal (Daellenbach & McNickle, 2005). Verifikasi model juga dilakukan dengan memeriksa apakah

modelnya logis dan secara matematis benar dan bahwa data yang digunakan adalah benar. Artinya memverifikasi dengan hati-hati bahwa semua ekspresi matematika sudah benar mewakili asumsi hubungan dan bahwa mereka telah diimplementasikan dengan benar di program komputer, dicapai dengan mencetak hasil antara detail langkah demi langkah. Jika layak secara komputasi, ini harus diverifikasi dengan memeriksa hasilnya secara numerik dengan kalkulator tangan untuk berbagai input yang cukup luas. Ini juga melibatkan verifikasi bahwa setiap ungkapan konsisten secara dimensi.

Pada tabel di bawah ini merupakan salah satu verifikasi model pada sub model *Goods Receipt*. Dimana jumlah material yang dipesan (*Order Quantity*) akan datang sesuai *lead time* yang telah disepakati setelah mendapat perlakuan metode (R,s,S) maupun tidak menggunakan (*existing condition*). Pada simulasi tersebut *lead time* yang telah disepakati selama 6 bulan sehingga jika order atau PO muncul di bulan 6 maka barang akan datang di bulan 12.

Tabel 5.1 merupakan verifikasi model *Goods Receipt* part A tanpa mengaktifkan fungsi metode (R,s,S) sehingga jumlah suku cadang yang dipesan sama dengan jumlah suku cadang yang diminta oleh User. Sedangkan tabel 5.2 merupakan verifikasi model goods receipt part A dengan mengaktifkan fungsi metode (R,s,S) sehingga jumlah suku cadang yang dipesan sesuai dengan perhitungan dan konsep metode (R,s,S).

Tabel 5. 9. Verifikasi sub model *goods receipt* part A *without* metode (R,s,S)

Months	RsS or Not Part A	R TOpt A	sMin Spare A	SMax Spare A	Qty Request A by User	Spare Part Planner Approval Req Part A	Goods Receipt[P art A]	Inv Level[Par t A]	Goods Issued[Pa rt A]
1	0	14	0	2	0	0	0	0	0
2	0	14	0	2	0	0	0	0	0
3	0	14	0	2	0	0	0	0	0
4	0	14	0	2	0	0	0	0	0
5	0	14	0	2	0	0	0	0	0
6	0	14	0	2	0	0	0	0	0
7	0	14	0	2	0	0	0	0	0
8	0	14	0	2	2	1	0	0	0
9	0	14	0	2	0	0	0	0	0
10	0	14	0	2	0	0	0	0	0
11	0	14	0	2	0	0	0	0	0
12	0	14	0	2	0	0	0	0	0
13	0	14	0	2	0	0	2	0	0
14	0	14	0	2	0	0	0	2	0
15	0	14	0	2	0	0	0	2	0
16	0	14	0	2	0	0	0	2	0
17	0	14	0	2	0	0	0	2	0
18	0	14	0	2	0	0	0	2	0
19	0	14	0	2	2	1	0	2	0
20	0	14	0	2	0	0	0	2	0
21	0	14	0	2	0	0	0	2	0
22	0	14	0	2	0	0	0	2	0
23	0	14	0	2	0	0	0	2	0
24	0	14	0	2	0	0	2	2	0
25	0	14	0	2	0	0	0	4	0
26	0	14	0	2	0	0	0	4	0
27	0	14	0	2	0	0	0	4	0
28	0	14	0	2	0	0	0	4	0
29	0	14	0	2	0	0	0	4	0
30	0	14	0	2	0	0	0	4	0
31	0	14	0	2	0	0	0	4	0
32	0	14	0	2	0	0	0	4	0
33	0	14	0	2	0	0	0	4	0
34	0	14	0	2	0	0	0	4	0
35	0	14	0	2	1	1	0	4	0
36	0	14	0	2	1	1	0	4	0
37	0	14	0	2	0	0	0	4	0
38	0	14	0	2	0	0	0	4	0
39	0	14	0	2	0	0	0	4	0
40	0	14	0	2	0	0	1	4	1
41	0	14	0	2	0	0	1	4	0
42	0	14	0	2	1	1	0	5	0
43	0	14	0	2	1	1	0	5	0
44	0	14	0	2	0	0	0	5	0
45	0	14	0	2	0	0	0	5	0
46	0	14	0	2	0	0	0	5	1
47	0	14	0	2	0	0	1	4	1
48	0	14	0	2	0	0	1	4	1
49	0	14	0	2	0	0	0	4	1

Tabel 5. 10. Verifikasi sub model *goods receipt* part A with metode (R,s,S)

Months	RsS or Not Part A	R TOpt A	sMin Spare A	SMax Spare A	Qty Request A by User	Goods Receipt[Part A]	Inv Level[Part A]	Goods Issued[Part A]
1	1	14	0	2	0	0	0	0
2	1	14	0	2	0	0	0	0
3	1	14	0	2	0	0	0	0
4	1	14	0	2	0	0	0	0
5	1	14	0	2	0	0	0	0
6	1	14	0	2	0	0	0	0
7	1	14	0	2	0	0	0	0
8	1	14	0	2	2	0	0	0
9	1	14	0	2	0	0	0	0
10	1	14	0	2	0	0	0	0
11	1	14	0	2	0	0	0	0
12	1	14	0	2	0	0	0	0
13	1	14	0	2	0	0	0	0
14	1	14	0	2	0	0	0	0
15	1	14	0	2	0	0	0	0
16	1	14	0	2	0	0	0	0
17	1	14	0	2	0	0	0	0
18	1	14	0	2	0	0	0	0
19	1	14	0	2	2	2	0	0
20	1	14	0	2	0	0	2	0
21	1	14	0	2	0	0	2	0
22	1	14	0	2	0	0	2	0
23	1	14	0	2	0	0	2	0
24	1	14	0	2	0	0	2	0
25	1	14	0	2	0	0	2	0
26	1	14	0	2	0	0	2	0
27	1	14	0	2	0	0	2	0
28	1	14	0	2	0	0	2	0
29	1	14	0	2	0	0	2	0
30	1	14	0	2	0	0	2	0
31	1	14	0	2	0	0	2	0
32	1	14	0	2	0	0	2	0
33	1	14	0	2	0	0	2	0
34	1	14	0	2	0	0	2	0
35	1	14	0	2	1	0	2	0
36	1	14	0	2	1	0	2	0
37	1	14	0	2	0	0	2	0
38	1	14	0	2	0	0	2	0
39	1	14	0	2	0	0	2	0
40	1	14	0	2	0	0	2	1
41	1	14	0	2	0	0	1	0
42	1	14	0	2	1	0	1	0
43	1	14	0	2	1	0	1	0
44	1	14	0	2	0	0	1	0
45	1	14	0	2	0	0	1	0
46	1	14	0	2	0	0	1	1
47	1	14	0	2	0	0	0	0
48	1	14	0	2	0	0	0	0
49	1	14	0	2	0	0	0	0

5.3.2 Validasi

Validasi adalah proses penentuan apakah model, sebagai konseptualisasi atau abstraksi, merupakan representasi berarti dan akurat dari sistem nyata? (Hoover & Perry, 1989). Validasi adalah penentuan apakah mode konseptual simulasi (sebagai tandingan program komputer) adalah representasi akurat dari sistem nyata yang sedang dimodelkan (Law & Kelton, 1991).

Metode validasi model yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan dua langkah yang pertama uji konfirmasi struktur ke perusahaan atau orang yang terlibat dalam proses bisnis tersebut dan yang kedua adalah dengan membandingkan antara output data pada simulasi dengan data *history*. Langkah pertama berupa uji konfirmasi struktur setelah dipresentasikan ke orang yang terlibat dalam proses bisnis ini dinyatakan sistem yang dibuat seperti kejadian yang sebenarnya.

Sedangkan untuk langkah kedua dilakukan dengan dua cara yaitu dengan membandingkan nilai rata-rata aktual terhadap nilai rata-rata *output* simulasi dan membandingkan nilai variasi output simulasi. Langkah ini digunakan untuk mengetahui hasil dari simulasi tidak terlalu berbeda dengan kondisi sebenarnya berdasarkan data *history*. Variabel sensitif yang akan diukur adalah *goods receipt*.

Metode yang digunakan untuk menentukan validasi model berdasarkan perbandingan nilai rata-rata (Barlas, 1989) adalah sebagai berikut.

1. Perbandingan nilai rata-rata (*comparing the means*)

$$E_1 = \left| \frac{\bar{S} - \bar{A}}{\bar{A}} \right| \quad (5.1)$$

Dimana,

E_1 = Error rata-rata antara data simulasi dan data aktual

$\bar{S}$ = Nilai rata-rata output simulasi

$\bar{A}$ = Nilai rata-rata data aktual

Sistem dianggap valid jika nilai Error $\leq 5\%$

2. Perbandingan nilai variasi (*comparing the variance*)

$$E_2 = \frac{|SD_S - SD_A|}{SD_A} \quad (5.2)$$

Dimana,

E_2 = Error berdasarkan nilai variasi antara simulasi dan aktual

SD_S = Standard deviation nilai simulasi

SD_A = Standard deviation nilai aktual

Sistem dianggap valid jika nilai Error $\leq 30\%$

Berdasarkan persamaan tersebut di atas maka hasil perhitungan selisih *actual* dan *output* simulasi terhadap parameter *goods receipt* untuk ketiga suku cadang dapat ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. 11. Validasi *goods receipt* suku cadang

Part	Total Actual	Total Simulasi	E1	E2
620-200253	12	12	0	0
312-200753	13	13	0	0
329-200736	15	15	0	0

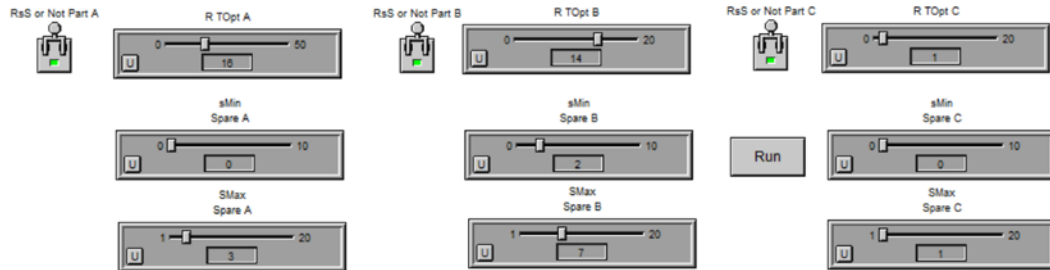
Berdasarkan tabel tersebut di atas nilai *error* jumlah *goods receipt* antara actual dan simulasi adalah 0. Sehingga sub model *goods receipt* ini bisa dikatakan valid sesuai dengan kondisi sebenarnya.

5.4 Eksperimen

Tujuan dari simulasi ini adalah untuk menurunkan *deadstock* suku cadang yang ada di gudang sehingga skenario di bawah ini disusun dengan mengatur nilai masing-masing parameter metode (R,s,S) yang optimum sehingga *deadstock* suku cadang yang direpresentasikan dengan 3 suku cadang bisa turun bertahap. Dalam mencapai tujuan tersebut maka yang pertama harus membandingkan kondisi *existing* yang tanpa menggunakan kebijakan metode (R,s,S) kemudian skenario kebijakan metode (R,s,S) dijalankan untuk menurunkan *deadstock* seminimal mungkin yang bisa dicapai dari merubah faktor eksperimen R,s dan S. Sedangkan nilai *goods issued* menggunakan data penggunaan suku cadang yang telah dijelaskan di sub bab 4.2.2.3 di atas.

Sesuai dengan tujuan penelitian ini maka skenario yang dijalankan harus memperhatikan gambar 5.3 yang merepresentasikan pengaruh *goods receipt* dan *goods issued* terhadap *deadstock*. Gambar di bawah ini merupakan *interface* yang digunakan untuk mengaktifkan mode metode (R,s,S) dan merubah nilai masing-

masing variabel metode (R,s,S). Simbol yang berwarna hijau abu-abu merupakan simbol *switch* untuk mengaktifkan atau menonaktifkan mode metode (R,s,S). Selanjutnya simbol *slider* digunakan untuk menambah atau mengurangi nilai parameter metode (R,s,S) yang diharapkan.



Gambar 5. 18. Cara merubah nilai metode (R,s,S)

Tabel 5. 12. Rencana skenario

No. Skenario	Deskripsi Skenario
1	Mengadopsi sistem R,s,S default nilai R,s,S
2	Mengadopsi sistem R,s,S dengan Experimental Factor
2.1	Nilai R dieksperimen sbb:
2.1.14	Naik 14 unit (A,B), 1 unit (C)
2.2	Nilai s dieksperimen sbb:
2.2.5	Turun 3 unit (A,B), turun 4 unit (C)
2.3	Nilai S dieksperimen sbb:
2.3.3	Turun 1 unit (A), tetap (B), turun 2 unit (C)

5.4.1 Simulasi Kondisi *Existing*

Simulasi ini digunakan sebagai pembandingan dengan penggunaan kebijakan persediaan. Hasil dari model simulasi ini berupa nilai *total relevant cost* yang terjadi selama proses suku cadang tersebut berputar dalam manajemen suku cadang. Tabel di bawah ini merupakan hasil simulasi kondisi *existing* terhadap 3 suku cadang selama 72 periode.

Tabel 5. 13. Simulasi kondisi *existing*

Spare part	Skenario	Lead time	RsS or Not	R TOpt	sMin	SMax	Inv Level	Relevant Cost
620-200253	0	6	0	0	0	0	10	14,759,822,395
312-200753		6	0	0	0	0	10	35,063,977,979
329-200736		6	0	0	0	0	13	4,934,904,385

5.4.2 Skenario I Mengadopsi Metode (R,s,S) dengan Nilai *Default* Perhitungan

Berdasarkan gambar 5.19 di atas maka pertama *switch* aktivasi harus diaktifkan untuk memberikan logika “1” untuk mengaktifkan mode penggunaan kebijakan persediaan. Kemudian untuk menjalankan skenario ini nilai variabel metode (R,s,S) tersebut diubah-ubah dengan cara menggeser *slider input* untuk setiap suku cadang A,B dan C. Dimana R merepresentasikan waktu optimal dalam memonitor level suku cadang di gudang, s merepresentasikan minimal *stock* yang diharapkan untuk melakukan *order* pembelian ulang (*reorder point*), dan S merepresentasikan target maksimal *level* suku cadang di gudang untuk mendukung aktifitas pemeliharaan peralatan produksi yang membutuhkan suku cadang.

Skenario ini mengaktifkan sistem metode (R,s,S) dengan cara menekan tombol *switch* pada gambar 5.19 di atas hingga berwarna hijau. Kemudian nilai *experiment factor* yang telah ditentukan dalam hal ini metode (R,s,S) dimasukkan sesuai dengan perhitungan rumus yang telah dijelaskan di bab sebelumnya pada tabel 5.8 di atas. Hasil dari simulasi ini dapat kita lihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. 14. Hasil simulasi skenario I

Spare part	Skenario	Lead time	RsS or Not	R Topt	sMin	SMax	Inv Level	Relevant Cost
620-200253	1	6	1	-	3	3	16	16,781,379,773
312-200753		6	1	-	4	4	20	35,273,807,782
329-200736		6	1	1	4	4	22	6,293,515,236

5.4.3 Skenario II Mengadopsi Metode (R,s,S) dengan *Experimental Factor* R,s,S

Faktor eksperimen dalam skenario ini adalah merubah nilai dari R (*interval monitoring*), s (*minimum stock*) dan S (*target maximum stock*) yang akan dijelaskan lebih detail pada sub bab berikut ini. Masing-masing skenario ini dijalankan dengan urutan setelah skenario t lebih baik daripada skenario t-1 yang ditandai dengan penurunan nilai *deadstock* dan *relevant cost*. Skenario ini merubah setiap faktor eksperimen sebesar satu unit karena dengan merubah setiap satu unit sudah bisa mempengaruhi nilai *deadstock* dan *relevant cost* masing-masing suku cadang.

5.4.3.1 Skenario 2.1 Merubah Nilai R

Dalam menjalankan simulasi ini *experimental factor* yang lain seperti *s* dan *S* tidak berubah atau tetap seperti hasil perhitungan di awal. Kemudian dengan merubah nilai *R* atau *time interval monitoring* baik naik maupun turun maka akan tampak perubahan nilai *inventory level* di akhir periode (72) dan akan merubah nilai total *holding cost* dan *total relevant cost*. Apabila dengan menaikkan nilai *R* terjadi kenaikan *deadstock* dan *relevant cost* maka nilai *R* tersebut dikurangi sebesar langkah sebelumnya. Sesuai dengan tabel 5.12 maka urutan *experimental factor R* adalah sebagai berikut:

1. Nilai *R* semua suku cadang dinaikkan atau diturunkan hingga mencapai *last inventory level* dan nilai *relevant cost* yang minimal
2. Detail setiap langkah bisa dilihat di lampiran A.1

Berikut ini merupakan tabel ringkasan dari skenario 2.1 yang merubah nilai *R* hingga mencapai nilai optimum yang ditandai dengan nilai *inventory level* dan *relevant cost* paling minimal.

Tabel 5. 15. Hasil simulasi skenario 2.1

Spare part	Skenario	Lead time	RsS or Not	R Topt	sMin	SMax	Inv Level	Relevant Cost
620-200253	2.1.14	6	1	14	3	3	2	12,085,162,762
312-200753	2.1.14	6	1	14	4	4	4	27,867,701,739
329-200736	2.1.14	6	1	2	4	4	10	4,488,749,955

5.4.3.2 Skenario 2.2. Merubah Nilai s

Skenario berikutnya adalah merubah nilai *s* atau minimum *stock inventory* dengan menaikkan atau menurunkan nilainya yang diawali dari nilai perhitungan pada skenario I. Sesuai dengan tabel 5.12 maka urutan *experimental factor s* adalah sebagai berikut:

1. Nilai *s* semua suku cadang dinaikkan atau diturunkan hingga mencapai *last inventory level* dan nilai *relevant cost* yang minimal
2. Detail setiap langkah bisa dilihat di lampiran A.2

Berikut ini merupakan tabel ringkasan dari skenario 2.2 yang merubah nilai s hingga mencapai nilai optimum yang ditandai dengan nilai *inventory level* dan *relevant cost* paling minimal.

Tabel 5. 16. Hasil simulasi skenario 2.2

Spare part	Skenario	Lead time	<i>RsS or Not</i>	<i>R Topt</i>	<i>sMin</i>	<i>SMax</i>	Inv Level	Relevant Cost
620-200253	2.2.5	6	1	14	-	3	1	11,751,051,740
312-200753	2.2.5	6	1	14	1	4	3	27,406,989,767
329-200736	2.2.5	6	1	2	-	4	10	4,488,749,955

5.4.3.3 Skenario 2.3 Merubah Nilai S

Skenario merubah nilai S atau target maksimal *inventory level* dilakukan dengan menaikkan atau menurunkan nilainya yang dimulai dari nilai perhitungan awal pada skenario I. Berdasarkan tabel 5.12 maka urutan *experimental factor S* adalah sebagai berikut:

1. Nilai s semua suku cadang dinaikkan atau diturunkan hingga mencapai *last inventory level* dan nilai *relevant cost* yang minimal
2. Detail setiap langkah bisa dilihat di lampiran A.3

Berikut ini merupakan tabel ringkasan dari skenario 2.3 yang merubah nilai S hingga mencapai nilai optimum yang ditandai dengan nilai *inventory level* dan *relevant cost* paling minimal.

Tabel 5. 17. Hasil simulasi skenario 2.3

Spare part	Skenario	Lead time	<i>RsS or Not</i>	<i>R Topt</i>	<i>sMin</i>	<i>SMax</i>	Inv Level	Relevant Cost
620-200253	2.3.3	6	1	14	-	2	-	11,416,263,257
312-200753	2.3.3	6	1	14	1	4	3	27,406,989,767
329-200736	2.3.3	6	1	2	-	2	4	3,587,606,225

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 6

ANALISIS DAN DISKUSI

Pada bab ini dianalisis dampak dari skenario-skenario yang dijalankan pada bab 5 terhadap tujuan dari penelitian ini adalah mengurangi *deadstock* suku cadang di gudang. Berdasarkan skenario yang telah dijalankan pada bab 5 di atas maka kombinasi metode (R,s,S) terbaik dapat ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 6. 1. Kombinasi optimum faktor eksperimen

No. Skenario	Deskripsi Skenario	Experimental Factor								
		R			s			S		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	Mengadopsi sistem R,s,S default nilai R,s,S	0	0	1	3	4	4	3	4	4
2	Mengadopsi sistem R,s,S dengan Experimental Factor									
2.1	Nilai R dieksperimen sbb:									
2.1.14	Naik 14 unit (A,B), 1 unit (C)	14	14	2	3	4	4	3	4	4
2.2	Nilai s dieksperimen sbb:									
2.2.5	Turun 3 unit (A,B), turun 4 unit (C)	14	14	2	0	1	0	3	4	4
2.3	Nilai S dieksperimen sbb:									
2.3.3	Turun 1 unit (A), tetap (B), turun 2 unit (C)	14	14	2	0	1	0	2	4	2
Total	Kombinasi 2.1, 2.2, 2.3 terbaik	14	14	2	0	1	0	2	4	2

6.1 Analisis *Deadstock*

Analisis *deadstock* pada simulasi ini direpresentasikan dengan final *inventory level* yang berada pada periode ke 72 yang dibandingkan dengan simulasi kondisi *existing*. Analisis ini dapat digunakan jika terdapat kebijakan manajemen yang menghendaki nilai *deadstock* turun sekian persen untuk mengurangi nilai persediaan. Diharapkan dengan turunnya *deadstock* ini yang direpresentasikan dengan nilai akhir level *inventory* pada periode ke 72, maka kapasitas gudang bertambah karena jumlah suku cadang di gudang berkurang.

Analisis ini dimulai dari menjalankan skenario I dimana sistem dijalankan dengan metode (R,s,S) dengan nilai *experimental factor* masih *default* hasil perhitungan pada tabel 5.8 di atas yang memperlihatkan kenaikan nilai *deadstock* dan total *relevant cost* seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 6. 2. Perbandingan *existing condition* dengan skenario I

Spare part	Skenario	Lead time	RsS or Not	R Topt	sMin	SMax	Inv Level	Relevant Cost
620-200253	0	6	0	0	0	0	10	14,759,822,395
312-200753		6	0	0	0	0	10	35,063,977,979
329-200736		6	0	0	0	0	13	4,934,904,385
620-200253	1	6	1	-	3	3	16	16,781,379,773
312-200753		6	1	-	4	4	20	35,273,807,782
329-200736		6	1	1	4	4	22	6,293,515,236

Namun dengan mengatur nilai masing-masing variabel R,s dan S sesuai dengan sistem yang ada di perusahaan ini, maka diperoleh perubahan nilai *deadstock*. Berdasarkan tabel 5.17 di atas terlihat nilai *deadstock* terkecil diperoleh pada saat menggunakan skenario 2.3.3. Sehingga skenario ini bisa digunakan jika pertimbangan manajemen hanya sebatas *deadstock* saja.

Maka jika dibandingkan antara skenario 0 yaitu kondisi *existing* tanpa kebijakan persediaan metode (R,s,S) dengan skenario 2.3.3 diperoleh hasil perbandingan berikut:

Tabel 6. 3. Perbandingan skenario 0 dan 2.3.3

Spare part	Skenario	Lead time	<i>RsS or Not</i>	<i>R Topt</i>	<i>sMin</i>	<i>SMax</i>	Inv Level
620-200253	0	6	0	0	0	0	10
312-200753		6	0	0	0	0	10
329-200736		6	0	0	0	0	13
Total							33
620-200253	2.3.3	6	1	14	-	2	-
312-200753		6	1	14	1	4	3
329-200736		6	1	2	-	2	4
Total							7
Penurunan Deadstock							79%

Berdasarkan tabel 6.3 di atas penerapan kebijakan metode (R,s,S) dengan penyesuaian nilai metode (R,s,S) sesuai dengan skenario 2.3.3 maka *deadstock* bisa turun sebesar 79%. Maka skenario 2.3.3 ini bisa digunakan untuk menganalisa *relevant cost* yang akan dibahas pada sub bab selanjutnya.

6.2 Analisis *Relevant Cost*

Analisa *relevant cost* ini mempertimbangkan seluruh aspek yang menimbulkan biaya harus dikomparasi sehingga sudut pandang terhadap biaya tidak hanya dari satu sisi saja. Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab konsep *relevant cost* di atas maka analisa ini memperhitungkan total biaya pemesanan, biaya penyimpanan, biaya pembelian langsung jika terjadi *stockout*, *potential loss production* karena keterbatasan anggaran sehingga tidak bisa issued suku cadang di gudang.

Berdasarkan analisa *deadstock* di atas yang hanya memperhitungkan nilai minimum *deadstock* suku cadang maka skenario tersebut bisa dianalisa lagi dari sisi total *relevant cost*. Tabel 6.4 di bawah ini merangkum seluruh total *relevant cost* yang melibatkan 3 suku cadang sebagai *sample* simulasi ini pada skenario 2.3.3.

Tabel 6. 4. Analisa *total relevant cost*

Spare part	Skenario	Lead time	<i>RsS or Not</i>	<i>R Topt</i>	<i>sMin</i>	<i>SMax</i>	Total Ordering Cost	Total Maint Cost	Total Holding Cost	Direct Buying	Total Cost	Stockout Cost	Tot Loss Prod Can not GI	Inventory Value	Inv Level	Relevant Cost
620-200253	2.3.3	6	1	14	-	2	343,601	667,000,000	1,580,216	-	668,923,817	-	10,747,339,440	-	-	11,416,263,257
312-200753	2.3.3	6	1	14	1	4	687,202	1,840,000,000	4,788,826	-	1,845,476,027	-	24,181,513,740	1,380,000,000	3	27,406,989,767
329-200736	2.3.3	6	1	2	-	2	1,030,802	299,000,000	2,740,563	-	302,771,365	-	2,686,834,860	598,000,000	4	3,587,606,225

Tabel 6. 5. Perbandingan *total relevant cost* pada skenario 0 dan 2.3.3

Spare part	Skenario	Lead time	<i>RsS or Not</i>	<i>R Topt</i>	<i>sMin</i>	<i>SMax</i>	Inv Level	Relevant Cost
620-200253	0	6	0	0	0	0	10	14,759,822,395
312-200753		6	0	0	0	0	10	35,063,977,979
329-200736		6	0	0	0	0	13	4,934,904,385
Total							33	54,758,704,758
620-200253	2.3.3	6	1	14	-	2	-	11,416,263,257
312-200753		6	1	14	1	4	3	27,406,989,767
329-200736		6	1	2	-	2	4	3,587,606,225
Total							7	42,410,859,249
Penurunan							79%	23%

Pada tabel 6.5 di atas terlihat baik *deadstock* maupun total *relevant cost* mengalami penurunan. Berdasarkan total *relevant cost* paling kecil maka skenario 2.3.3 merupakan skenario terbaik dalam simulasi ini. Menurunnya total *relevant cost* ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu diantaranya pada periode tertentu posisi persediaan berada di level berapa dan apakah terjadi transaksi *issued* sehingga *level* berkurang atau tetap. Kemudian jika *level* berkurang apakah segera dibelikan kembali atau pada periode berikutnya. Hal ini menyebabkan perbedaan *ordering cost* dan *holding cost*. Jika jumlah suku cadang yang ada di gudang tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan *User* maka timbul *stockout cost* yang berpotensi menyebabkan *downtime* peralatan utama tersebut. Untuk menghindari terjadinya *downtime* akibat *stockout* tersebut, perusahaan melalui Unit Perencanaan Suku Cadang membelikan suku cadang tersebut secara langsung ke vendor tanpa tender, yang menyebabkan kenaikan harga beli. Nilai ini harus dipertimbangkan dalam merencanakan suku cadang.

Relevant cost juga mempertimbangkan potensi kehilangan produksi jika suku cadang tersedia di gudang namun anggaran yang disediakan tidak cukup tersedia sehingga tidak bisa *issued* suku cadang. Pada saat suku cadang tersebut dibutuhkan *User* namun tidak ada anggaran maka potensi *downtime* tinggi yang menyebabkan perusahaan berpotensi kehilangan produksi.

Berdasarkan tabel 6.5 di atas maka dengan memperhatikan total *relevant cost* skenario 2.3.3 merupakan skenario terbaik yang mampu menurunkan total *relevant cost* dibandingkan tanpa kebijakan metode (R,s,S) sebesar 23%.

6.3 Analisis Loss Production

Untuk menjaga peralatan produksi tetap beroperasi maka ketersediaan suku cadang merupakan salah satu faktor untuk mempercepat proses perbaikan jika terjadi kerusakan pada peralatan produksi. Berdasarkan skenario yang telah dilakukan pada bab 4 sebelumnya, terdapat kondisi dimana peralatan produksi akan berhenti. Kondisi tersebut antara lain:

- Terjadi *stockout* suku cadang.
- Suku cadang tersedia di gudang namun anggaran yang disediakan tidak cukup untuk menggunakan suku cadang tersebut secara sistem.

6.3.1 Stockout

Stockout atau kehabisan persediaan menyebabkan berhentinya peralatan produksi sehingga menyebabkan perusahaan kehilangan kesempatan untuk mendapatkan keuntungan. Berdasarkan skenario yang dilakukan di atas maka penyebab *stockout* adalah pola permintaan pembelian yang tidak diimbangi dengan pola penggunaan suku cadang menyebabkan kekurangan suku cadang seperti pada tabel 6.6 berikut.

Dengan adanya *stockout* yang dapat merugikan perusahaan maka agar peralatan produksi tetap berjalan, pembelian langsung ke vendor (*direct buying*) adalah opsi terbaik karena kerugian *loss production* lebih besar daripada harga suku cadang tersebut. Jika dibandingkan kerugian yang disebabkan oleh *stockout* (*stockout cost*) dengan pembelian suku cadang secara langsung ke vendor memang lebih baik membeli langsung ke vendor agar peralatan produksi bisa segera beroperasi lagi.

Tabel 6.6 di bawah ini merupakan sekumpulan skenario yang menimbulkan *stockout* suku cadang, namun perusahaan tidak menghendaki adanya stop produksi sehingga pada kolom *direct buying* merupakan opsi terbaik yang harus ditempuh perusahaan agar peralatan utama produksi bisa tetap beroperasi.

Tabel 6. 6. Analisa *stockout*

Spare part	Skenario	Lead time	RsS or Not	R Topt	sMin	SMax	Total Ordering Cost	Total Maint Cost	Total Holding Cost	Direct Buying	Total Cost	Stockout Cost	Tot Loss Prod Can not GI	Inventory Value	Inv Level	Relevant Cost
312-200753	0	6	0	0	0	0	2,405,205	1,380,000,000	5,224,174	2,208,000,000	3,595,629,379	10,747,339,440	26,868,348,600	4,600,000,000	10	35,063,977,979
312-200753	2.1.15	6	1	15	4	4	1,030,802	1,840,000,000	4,587,896	552,000,000	2,397,618,698	2,686,834,860	24,181,513,740	1,840,000,000	4	28,419,132,438
329-200736	2.1.2	6	1	3	4	4	687,202	-	5,481,125	358,800,000	364,968,327	5,373,669,720	5,373,669,720	1,196,000,000	8	6,934,638,047
312-200753	2.2.4	6	1	14	0	4	687,202	1,840,000,000	3,750,689	3,864,000,000	5,708,437,890	18,807,844,020	24,181,513,740	1,840,000,000	4	31,729,951,630
620-200253	2.3.2	6	1	14	0	1	687,202	333,500,000	923,819	1,600,800,000	1,935,911,020	10,747,339,440	13,434,174,300	333,500,000	1	15,703,585,320
	2.3.4	6	1	14	0	2	687,202	667,000,000	1,726,082	1,200,600,000	1,870,013,284	8,060,504,580	10,747,339,440	667,000,000	2	13,284,352,724
312-200753	2.3.1	6	1	14	1	3	687,202	1,380,000,000	3,884,642	2,208,000,000	3,592,571,843	10,747,339,440	26,868,348,600	1,380,000,000	3	31,840,920,443
312-200754	2.3.2	6	1	14	1	5	687,202	1,840,000,000	5,525,568	1,656,000,000	3,502,212,770	8,060,504,580	24,181,513,740	2,300,000,000	5	29,983,726,510
329-200739	2.3.4	6	1	2	0	1	1,030,802	149,500,000	1,370,281	179,400,000	331,301,084	2,686,834,860	5,373,669,720	299,000,000	2	6,003,970,804

6.3.2 Proporsi Anggaran

Proporsi anggaran tidak tersedia menyebabkan suku cadang yang tersedia di gudang tidak bisa *issued* sedangkan ada kebutuhan untuk *replacement* suku cadang di peralatan produksi sehingga menyebabkan *loss production*. Anggaran tidak tersedia pada periode tertentu ini bisa disebabkan oleh beberapa hal yaitu proporsi anggaran yang tidak tepat dan kurangnya jumlah anggaran yang diberikan manajemen. Terlihat pada tabel 6.5 di atas bahwa dengan skenario terbaik dengan merubah nilai metode (R,s,S) masih berpotensi terjadi potensi kehilangan produksi karena suku cadang yang tersedia di gudang tidak bisa *issued* karena keterbatasan anggaran yang diberikan oleh Unit Perencanaan Pemeliharaan.

Pada gambar 5.7 di atas jika mengatur proporsi anggaran yang digunakan untuk transaksi suku cadang di gudang maka kekurangan biaya yang berpotensi menyebabkan *downtime* peralatan vital bisa dikurangi seperti usulan skenario berikut yaitu memberi proporsi *Management Policy*, *Total Inventory Value* dan *Maintenance Planning* sebagai berikut:

<i>Management Policy</i>	: 0,5
<i>Total Inventory Value</i>	: 0,2
<i>Maintenance Planning</i>	: 0,3

Berdasarkan proporsi anggaran tersebut di atas maka hasil dari simulasi mengaktifkan kebijakan persediaan metode (R,s,S) bisa diamati pada tabel 6.7 di bawah ini. Terlihat pada tabel 6.7 tersebut nilai pada kolom *total loss production can not GI* menurun sebesar 14%. Sedangkan *deadstock* juga bisa turun 38% sehingga total *relevant cost* juga turun sebesar 8%.

Namun jika dibandingkan terhadap skenario 0 atau kondisi existing bisa diamati pada tabel 6.9 di bawah ini bahwa *production loss can not GI* turun sebesar 20%. Sedangkan *deadstock* turun sebesar 85% yang menyebabkan total *relevant cost* turun sebesar 16%.

Tabel 6. 7. Analisa proporsi anggaran

Spare part	Skenario	Lead Time	Prop MP	Prop MPD	Prop TIV	Managemen Policy	Rs or Not	R Topt	sMin	SMax	Total Ordering Cost	Total Maint Cost	Total Holding Cost	Direct Buying	Total Cost	Stockout Cost	Tot Loss Prod Can not GI	Inventory Value	Inv Level	Relevant Cost
620-200253	Prop.	6					1	14	-	2	687,202	667,000,000	1,701,771	1,600,800,000	2,270,188,972	10,747,339,440	10,747,339,440	667,000,000	2	13,684,528,412
312-200753	Maint	6	0.5	0.2	0.3	47,500,000	1	14	1	4	1,030,802	5,520,000,000	3,181,388	4,416,000,000	9,940,212,190	21,494,678,880	18,807,844,020	-	-	28,748,056,210
329-200736	Budget	6					1	2	-	1	2,061,605	448,500,000	1,337,395	179,400,000	631,298,999	2,686,834,860	2,686,834,860	448,500,000	3	3,766,633,859
Total																	32,242,018,320		5	46,199,218,482
620-200253		6					1	14	-	2	343,601	667,000,000	1,580,216	-	668,923,817	-	-	-	0	11,416,263,257
312-200753	2.3.3	6	1	0	0	47,500,000	1	14	1	4	687,202	1,840,000,000	4,788,826	-	1,845,476,027	-	24,181,513,740	1,380,000,000	3	27,406,989,767
329-200736		6					1	2	-	2	1,030,802	299,000,000	2,740,563	-	302,771,365	-	2,686,834,860	598,000,000	4	3,587,606,225
Total																	37,615,688,040		8	42,745,501,866
Penurunan Parameter Simulasi																	14%		38%	8%

Tabel 6. 8. Analisa pengurangan akibat pengaktifan metode (R,s,S)

Spare part	Skenario	Lead time	Rs or Not	R Topt	sMin	SMax	Total Ordering Cost	Total Maint Cost	Total Holding Cost	Direct Buying	Total Cost	Stockout Cost	Tot Loss Prod Can not GI	Inventory Value	Inv Level	Relevant Cost
620-200253		6	0	0	0	0	3,092,407	667,000,000	7,390,548	-	677,482,955	-	10,747,339,440	3,335,000,000	10	14,759,822,395
312-200753	0	6	0	0	0	0	2,405,205	1,380,000,000	5,224,174	2,208,000,000	3,595,629,379	10,747,339,440	26,868,348,600	4,600,000,000	10	35,063,977,979
329-200736		6	0	0	0	0	2,061,605	299,000,000	3,507,920	-	304,569,525	-	2,686,834,860	1,943,500,000	13	4,934,904,385
Total													40,302,522,900		33	54,758,704,758
620-200253		6	1	14	-	2	343,601	667,000,000	1,580,216	-	668,923,817	-	10,747,339,440	-	0	11,416,263,257
312-200753	2.3.3	6	1	14	1	4	687,202	1,840,000,000	4,788,826	-	1,845,476,027	-	24,181,513,740	1,380,000,000	3	27,406,989,767
329-200736		6	1	2	-	2	1,030,802	299,000,000	2,740,563	-	302,771,365	-	2,686,834,860	598,000,000	4	3,587,606,225
Total													37,615,688,040		7	42,410,859,249
Pengurangan													7%		79%	23%

Tabel 6. 9. Analisa penerapan metode (R,s,S) dan *proportional maintenance budget*

Spare part	Skenario	Lead Time	Prop MP	Prop MPD	Prop TIV	Managemen Policy	Rs or Not	R Topt	sMin	SMax	Total Ordering Cost	Total Maint Cost	Total Holding Cost	Direct Buying	Total Cost	Stockout Cost	Tot Loss Prod Can not GI	Inventory Value	Inv Level	Relevant Cost
620-200253	Prop.	6					-	14	-	2	687,202	667,000,000	1,701,771	1,600,800,000	2,270,188,972	10,747,339,440	10,747,339,440	667,000,000	2	13,684,528,412
312-200753	Maint	6	0.5	0.2	0.3	47,500,000	-	14	1	4	1,030,802	5,520,000,000	3,181,388	4,416,000,000	9,940,212,190	21,494,678,880	18,807,844,020	-	-	28,748,056,210
329-200736	Budget	6					-	2	-	1	2,061,605	448,500,000	1,337,395	179,400,000	631,298,999	2,686,834,860	2,686,834,860	448,500,000	3	3,766,633,859
Total																	32,242,018,320		5	46,199,218,482
620-200253		6					-	-	-	-	3,092,407	667,000,000	7,390,548	-	677,482,955	-	10,747,339,440	3,335,000,000	10	14,759,822,395
312-200753	0	6	1	0	0	47,500,000	-	-	-	-	2,405,205	1,380,000,000	5,224,174	2,208,000,000	3,595,629,379	10,747,339,440	26,868,348,600	4,600,000,000	10	35,063,977,979
329-200736		6					-	-	-	-	2,061,605	299,000,000	3,507,920	-	304,569,525	-	2,686,834,860	1,943,500,000	13	4,934,904,385
Total																	40,302,522,900		33	54,758,704,758
Penurunan Parameter Simulasi																	20%		85%	16%

6.4 Managerial Implication

Setelah dilakukan penelitian ini sumbangsih yang diberikan terhadap perusahaan adalah mengurangi biaya secara keseluruhan dan memberikan solusi berupa langkah-langkah yang harus dipenuhi untuk mengurangi biaya tersebut.

6.4.1 Cost Reduction

Berdasarkan tabel 6.8 di atas maka dengan adanya kebijakan *inventory* berupa metode (R,s,S) ini mampu menghemat anggaran secara keseluruhan. Perbandingan *deadstock* dan *relevant cost* antara skenario 0 (tanpa kebijakan metode (R,s,S)) dan skenario 2.3.3 (dengan kebijakan metode (R,s,S)) bisa kita amati pada tabel di bawah ini.

Tabel 6. 10. *Cost reduction*

Part Number	Final Inventory Level		Inventory Reduction	Total Relevant Cost		Cost Reduction	
	Without RsS	With RsS		Without RsS	With RsS	(Rp)	%
620-200253	10	0	100%	14,759,822,395	11,416,263,257	3,343,559,138	23%
312-200753	10	3	70%	35,063,977,979	27,406,989,767	7,656,988,212	22%
329-200736	13	4	69%	4,934,904,385	3,587,606,225	1,347,298,160	27%
Overall	33	7	79%	54,758,704,758	42,410,859,249	12,347,845,510	23%

Pada tabel di atas terlihat penghematan yang sangat besar terjadi di suku cadang 312-200753 yaitu 7,6 Milyar Rupiah atau setara 22% sedangkan suku cadang 620-200253 terjadi penghematan anggaran sebesar 23% begitu juga dengan suku cadang 329-200736 terjadi penghematan sebesar 27%. Secara keseluruhan penghematan yang dilakukan melalui sistem yang diusulkan adalah **23%**. Penghematan ini diperoleh dari penggunaan sistem metode (R,s,S) karena dengan senantiasa memonitor posisi *inventory* maka pengadaan suku cadang bisa mengimbangi penggunaan suku cadang. Sehingga pada saat *level* suku cadang di periode tertentu di bawah nilai *minimal stock*, pihak Perencanaan Suku Cadang dan Pengadaan Barang langsung melakukan pembelian suku cadang yang dimaksud. Jika diiringi dengan penggunaan suku cadang yang *trigger*-nya dari *User*, maka kapanpun *User* membutuhkan dan menggunakan suku cadang yang dimaksud, pada periode tertentu barangnya tersedia di gudang.

Deadstock yang direpresentasikan dengan *final inventory level* mengalami penurunan sangat drastis. Bahkan untuk suku cadang 620-200253 terjadi penurunan

sebesar 100% dengan adanya kebijakan metode (R,s,S) ini. Secara keseluruhan *deadstock* mengalami penurunan sebesar **79%**.

6.4.2 Prosedur Operasional

Langkah yang bisa ditempuh untuk mendapatkan pengurangan biaya secara keseluruhan dalam manajemen suku cadang di perusahaan ini adalah sebagai berikut:

1. Harus ada Unit Kerja yang khusus mengatur perencanaan suku cadang dan segala kebijakannya.
2. Kebijakan yang bisa diambil akan berbeda-beda untuk setiap suku cadang tergantung klasifikasinya.
3. Salah satu kebijakan yang bisa diambil terhadap klasifikasi suku cadang yang *vital, high price, high lead time* adalah kebijakan metode (R,s,S).
4. Prosedur kebijakan metode (R,s,S) adalah sebagai berikut:
 - a. Tentukan atau hitung minimal *stock* yang diharapkan dari suku cadang dengan menggunakan prinsip *reorder point* atau menggunakan *economic order quantity*.
 - b. Tentukan atau hitung target maksimal *stock* yang diharapkan dari suku cadang dengan menggunakan prinsip yang telah diterangkan di sub bab 4.
 - c. Hitung jumlah pesanan jika waktunya pesan pembelian suku cadang, dengan prinsip target maksimal *stock* dikurangi dengan *level* persediaan saat itu.
 - d. Tentukan waktu yang tepat untuk memonitor *level* persediaan dengan menggunakan rumus *economic order interval* seperti yang dijelaskan pada sub bab 4.
 - e. Secara sistem dimasukkan dalam SAP prinsip berikut ini. Lihat posisi level persediaan setiap periode tertentu sesuai hasil perhitungan *point d*, jika pada periode tersebut level persediaan berada di bawah minimum *stock* maka pesan pembelian secara otomatis dengan jumlah sesuai *point c*. Jika pada periode *point d* level persediaan lebih dari *point a* (minimal *stock*) maka tidak perlu dilakukan pembelian suku cadang. Prosedur ini senantiasa dilakukan setiap periodenya selama suku cadang tersebut masih digunakan.

6.4.3 Integrasi Manajerial

1. Berdasarkan sub bab 5.2.2 sub model *goods receipt* dan sub bab 5.2.6 sub model *purchasing request* dimana klasifikasi suku cadang mempengaruhi pengambilan keputusan pada unit kerja Perencanaan Suku Cadang, Perencanaan Pemeliharaan dan Pengadaan Barang. Maka dengan koordinasi antara Unit Kerja ini yang ditandai dengan memberikan simbol tertentu pada sistem SAP untuk suku cadang tersebut bisa mempercepat proses pengadaan suku cadang tanpa menunggu antrian suku cadang lainnya dengan klasifikasi selain kelas A (*Vital Equipment*, *High Price* dan *High Lead Time*).
2. Dengan menerapkan metode (R,s,S) maka secara sistem SAP Unit Kerja *User*, Perencanaan Suku Cadang dan Pengadaan Barang tidak perlu lagi melakukan permintaan pembelian mulai dari awal yang dimulai dari permintaan Reservasi oleh *User*. Maka dengan metode ini diharapkan *Purchasing Request* langsung diterbitkan oleh Unit Perencanaan Suku Cadang yang bisa segera diproses oleh Unit Pengadaan Barang untuk dilakukan proses tender dengan vendor hingga terbit dokumen *Purchasing Order*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 7

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen, analisis dan diskusi, terdapat beberapa hal yang bisa ditarik menjadi kesimpulan dalam Tesis ini, yakni sebagai berikut.

1. Klasifikasi suku cadang dapat membantu untuk memudahkan karakterisasi persediaan. Jika dimanfaatkan dengan tepat, klasifikasi persediaan dapat berpengaruh pada penentuan kebijakan pengendalian persediaan yang dapat meningkatkan kinerja unit kerja pemeliharaan, persediaan dan pengadaan.
2. Dalam merancang kebijakan pengelolaan persediaan suku cadang dengan mempertimbangkan konflik kepentingan antar unit kerja, Tesis ini menggunakan sampling untuk persediaan yang masuk ke kategori *vital equipment*, *lead time* tinggi dan harga tinggi. Desain dasar pengendalian persediaan yang dievaluasi ada dua, yaitu dengan mengikuti sistem eksisting dan dengan mengadopsi metode (R,s,S). Untuk metode (R,s,S), ditemukan bahwa metode tersebut tidak bisa diaplikasikan secara langsung di perusahaan karena ada faktor batasan anggaran yang menyebabkan proses pengadaan persediaan satu akan mempengaruhi proses pengadaan item lainnya. Namun jika dilakukan penyesuaian untuk metode (R,s,S), metode tersebut dapat memberikan hasil yang jauh lebih baik dibandingkan sistem pengendalian persediaan eksisting.
3. Pada Tesis ini, uji sensitivitas dilakukan untuk mengetahui pengaruh kebijakan persediaan terhadap kinerja. Dalam uji ini, diketahui bahwa perubahan parameter persediaan sangat berpengaruh pada kinerja persediaan. Selain itu, parameter metode (R,s,S) masih perlu dilakukan penyesuaian untuk mengakomodasi ketidakpastian akibat konflik antar pengambil keputusan.
4. Berdasarkan analisis, diperoleh bahwa kebijakan persediaan yang sebaiknya digunakan yaitu metode (R,s,S) yang telah dilakukan *adjustment*. Hal ini dikarenakan metode tersebut mampu mereduksi *deadstock* di perusahaan sebesar 79% serta total *relevant cost* bisa turun sebesar 23% dibandingkan dengan kondisi atau kebijakan eksisting. Terdapat potensi penghematan lain

sesuai dengan tabel 6.9 yaitu dengan penerapan kebijakan persediaan metode (R,s,S) dan mengatur proporsi anggaran (*management policy*, *inventory value* dan *maintenance planning*) maka *deadstock* bisa diturunkan sebesar 85% dan total *relevant cost* bisa turun sebesar 16%. Maka perusahaan sebaiknya menerapkan pembagian anggaran pemeliharaan dengan memperhitungkan nilai *inventory* suku cadang. Dengan demikian dampak yang diperoleh perusahaan dengan adanya kebijakan ini adalah *downtime* peralatan produksi akibat tidak tersedianya suku cadang dan anggaran untuk *issued* berkurang, sehingga potensi kehilangan produksi berkurang.

7.2 Rekomendasi

1. Dengan melihat beberapa kesimpulan yang dihasilkan maka sebaiknya Unit Kerja *User*, Perencanaan Suku Cadang dan Pengadaan Barang melakukan koordinasi bersama untuk memberikan kode tertentu pada suku cadang kategori A (*vital*, *high price* dan *high lead time*), sehingga dapat mempercepat proses pengadaan barang yang melibatkan Unit Perencanaan Suku Cadang dan Unit Pengadaan Barang sehingga *User* bisa segera menggunakan suku cadang tersebut jika dibutuhkan.
2. Kebijakan metode (R,s,S) ini perlu diaplikasikan di perusahaan untuk mengantisipasi sistem yang saat ini diterapkan yaitu menyerahkan sepenuhnya kebijakan perencanaan pengadaan suku cadang kepada *User*. Dimana dengan menyerahkan ini maka *trigger* satu-satunya hanya diserahkan kepada *User*, yang menyebabkan fungsi pengendalian suku cadang pada Unit kerja Perencanaan Suku Cadang tidak ada.
3. Disamping itu anggaran yang diberikan kepada *User* tidak bisa serta merta berasal dari kebijakan Manajemen dalam membagi kue anggaran, namun Unit Kerja Perencanaan Pemeliharaan harus mempertimbangkan nilai *inventory* suku cadang yang ada di gudang setiap periodenya, sehingga suku cadang tersebut bisa *issued* karena anggaran *User* tersedia.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyati, A., Jauhari, A. W., & Rosyidi, N. C. (2014). Periodic Review Model for Determining Inventory Policy for Aircraft Consumable Spare Parts. *International Journal of Business Research & Management (IJBRM)*, Volume (5) : Issue (3).
- Altay Guvenir, H., & Erel, E. (1998). "Multicriteria inventory classification using a genetic algorithm". *European Journal of Operational Research*, 105(1), 29-37. doi:10.1016/S0377-2217(97)00039-8
- Babai, M. Z., Syntetos, A. A., & Teunter, R. (2009). "On the empirical performance of (T,s,S)". *European Journal of Operational Research*, 202 (2010) 466-472.
- Bala, B. K., Arshad, F. M., & Kusairi. (2017). *System Dynamics Simulation and Modelling*. Springer: Singapore.
- Ballou, R. H. (2000). Evaluating inventory management performance using a turnover curve. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 30 Iss 1, pp. 72 - 85. doi:http://dx.doi.org/10.1108/09600030010307993
- Barlas, Y. (1989). Multiple test for validation of system dynamics type of simulation models. *European Journal of Operational Research* 42, 59 - 87.
- Bartezzaghi, E., Verganti, R., & Zotteri, G. (1999). "A simulation framework for forecasting uncertain lumpy demand". *International Journal Production Economics* 59, 499-510.
- Bevilacqua, M., & Braglia, M. (2000). "The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection". *Reliability Engineering & System Safety*, 70(1), 71-83. doi:10.1016/S0951-8320(00)00047-8

- Blyth, C. A., & Silver, E. A. (1978). "(s, S) Policies under Continuous Review and Discrete Compound Poisson Demand". *Management Science*, 24(9): 899-909.
- Bosnjakovic, M. (2010). "Multicriteria inventory model for spare parts". *Technical Gazette*, 17(4), 499-504.
- Botha, A., Grobler, J., & Yadavalli, V. (2017). "System dynamics comparison of three inventory management models in an automotive parts supply chain". *Journal of Transport and Supply Chain Management*, 11(0): a281. doi:doi.org/10.4102/jtscm.v11i0.281
- Botter, R., & Fortuin, L. (2000). "Stocking strategy for service parts – a case study". *International Journal of Operation & Production Management*, 20(6), 656-674. doi:10.1108/01443570010321612
- Braglia, M., Grassi, A., & Montanari, R. (2004). "Multi-attribute classification method for spare parts inventory management". *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 10(1), 55–65. doi:10.1108/13552510410526875
- Cakir, O., & Canbolat, M. (2008). "A web-based decision support system for multi-criteria inventory classification using fuzzy AHP methodology". *Expert Systems with Applications*, 35(3), 1367–1378. doi:10.1016/j.eswa.2007.08.041
- Cavalieri, S., Garetti, M., Macchi, M., & Pinto, R. (2008). A decision-making framework for managing maintenance spare parts. *Production Planning & Control: The Management of Operations* 9:4, 379-396,.
- Cavalieri, S., Garetti, M., Macchi, M., & Pinto, R. (2008). "A decision-making framework for managing maintenance spare parts". *Production Planning & control*, 19(4), 379–396. doi:10.1080/09537280802034471

- Chen, X., Ren, H., Bil, C., & Sun, Y. (2015). Integration of structural health monitoring with scheduled maintenance of aircraft composite structures. *International Journal of Agile Systems and Management*, 8(3–4), 264–283.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). *Supply Chain Management Strategy, Planning and Operation* (6th ed.). Pearson: London.
- Costantino, , F., Gravio, , D., Patriarca, R. P., & Petrella, L. (2017). “Spare parts management for irregular demand items”. *Omega*, S0305-0483(16)30916-1. doi:10.1016/j.omega.2017.09.009
- Daellenbach, H. G., & McNickle, D. C. (2005). *Management Science Decision Making Through System Thinking*. New York: Palgrave Macmillan.
- Dekker, R. (1996). Applications of maintenance optimization models: a review and analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 51(3), 229–240. doi:doi:10.1016/0951-8320(95)00076-3
- Disney, S.M., , Naim, M.M., , & Towill, D.R., . (1997). “Dynamic simulation modelling for lean logistics”,. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management Vol. 27, No. 3*, pp174–196.
- Flores, B. (1987). “Implementing multiple criteria ABC analysis”. *International Journal of Operations & Production Management*, 7(1–2), 79–85. doi:10.1016/0272-6963(87)90008-8
- Flores, B. E., & Whybark, D. C. (1987). Implementing Multiple Criteria ABC Analysis. *Journal of Operations Management - Combined Issued Vol. 7*.
- Forrester, J. (1958). “Industrial dynamics: A major breakthrough for decision makers”, . *Harvard Business Review* 36, 37–66.
- Gass, S., & Rapcsák, T. (2004). Singular value decomposition in AHP. *European Journal of Operational Research*, 154(3), 573–584. doi:10.1016/S0377-2217(02)00755-5

- Guajardo, M., Rönnqvist, M., Halvorsen, M. A., & Kallevik, I. S. (2014). "Inventory management of spare parts in an energy company". *Journal of the Operational Research Society*, 66(2), 331–341. doi:10.1057/jors.2014.8
- Hatefi, S., Torabi, S., & Bagheri, P. (2013). Multi-criteria ABC inventory classification with mixed quantitative and qualitative criteria. *International Journal of Production Research*. doi:https://doi.org/10.1080/00207543.2013.838328
- Hatefi, S., Torabi, S., & Bagheri, P. (2014). "Multi-criteria ABC inventory classification with mixed quantitative and qualitative criteria". *International Journal of Production Research*, 52(3), 776–786. doi:10.1080/00207543.2013.838328
- Hatefi, S., Torabi, S., & Bagheri, P. (2014). "Multi-criteria ABC inventory classification with mixed quantitative and qualitative criteria". *International Journal of Production Research*, 52(3), 776–786. doi:10.1080/00207543.2013.838328
- Hoover, S. V., & Perry, R. F. (1989). *SIMULATION - A Problem Solving Approach*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Huiskonen, J. (2001). "Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices". *International Journal of Production Economics*, 71(1–3), 125–133. doi:10.1016/S0925-5273(00)00112-2
- Kennedy, W. J., Wayne Patterson, J., & Fredendall. (2002). "An overview of recent literature on spare parts inventories". *International Journal of Production Economics*, 76(2), 201–215. doi:10.1016/S0925-5273(01)00174-8
- Kian, R., Bektas, T., & Ouelhadj, D. (2018). "Optimal spare parts management for vessel maintenance scheduling". *Annual Operational Research (2019)*, 272:323-353, https://doi.org/10.1007/s10479-018-2907-y

- Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation Modeling and Analysis*. Singapore: McGraw-Hill International Inc.
- Molenaers, A., Baets, H., Pintelon, L., & Waeyaenbergh, G. (2012). Criticality classification of spare parts: A case study. *Internatiolan Journal Production Economics* 140, 570-578.
- Mukhopadhyay, S. K., Pathak, K., & Guddu, K. (2003). "Development of decision support system for stock control at area level in mines",. *IE (I) Journal-MN*, 84, 11–16.
- Murthy, D., Atrens, A., & Eccleston, J. (2002). Strategic Maintenance Management. *Journal of Quality in MaintenanceEngineering*, Vol. 8 No. 4, pp. 287-305.
- Prakash, J., & Chin, J. F. (2017). Effects of inventory classifications on CONWIP system: a case study. *Journal of Management Analytics*.
- Prakash, J., & Chin, J. F. (2017). "Effects of inventory classifications on CONWIP system: A case study". *Journal of Management Analytics*,, 4(3), 296–320. doi:doi.org/10.1080/23270012.2017.1344938
- Pujawan, I. N. (2017). *Supply Chain Management Edisi 3 Lengkap Membahas Strategi, Perancangan, Operasional dan Perbaikan Supply Chain untuk Menghadapi Daya Saing*. Yogyakarta: ANDI.
- Pujawan, I. N., & Kingsman, B. G. (2003). "Properties of lot-sizing rules under lumpy demand". *Int. J. Production Economics* 81–82, 295–307.
- Rahimi, M., Baboli, A., & Rekik, Y. (2017). "Multi-objective inventory routing problem: A stochastic model to consider profit, service level and green criteria". *Transportation Research Part E* 101, 59–83.

- Ramanathan, R. (2006). ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization. *Computers & Operations Research* 33 , 695 – 700.
- Robinson, S. (2014). *Simulation The Practice of Model Development and Use. 2nd edition*. Palgrave Macmillan: New York.
- Roda, I., Macchi, M., Fumagalli, L., & Viveros, P. (2014). “A review of multi-criteria classification of spare parts: From literature analysis to industrial evidences”. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 25(4), 528–549. doi:10.1108/JMTM-12-20
- Romeijnnders W., Teunter, R., & Jaarsveld, v, W. (2012). “A two-step method for forecasting spare parts demand using information on component repairs”. *European Journal of Operational Research* 220 (2012),, 386-393. doi:dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2012.01.01
- Rosenblatt, F. (1962). *Principles of Neurodynamics: Perceptions and the Theory of Brain Mechanisms*. New York: Spartan Books.
- Silver, A, E., Pyke, F, D., & Thomas, J, D. . (2017). *Inventory and Production Mangement. 4th edition*. Taylor & Francis Group: London.
- Siswanto, N., Latiffianti, E., & Wiratno, E, S. (2018). *Simulasi Sistem Diskrit – Implementasi Dengan Software Arena*. ITS Tekno Sains: Surabaya.
- Sterman, J. D. (2000). *Bussiness Dynamics System Thinking and Modeling for a Complex World*. New York: McGraw-Hill Companies Inc.
- Subramanian, N., & Ramanathan, R. (2012). A review of applications of analytic hierarchy process in operations management. *International Journal of Production Economics*, 138(2), 215–241. doi:10.1016/j.ijpe.2012.03.036

- Syntetos, A. A., Babai, M. Z., & Altay, N. . (2012). “On the demand distributions of spare parts”. *International Journal of Production Research*, 50(8), 2101–2117. doi:10.1080/00207543.2011.562561
- Teixeira, C., Lopes, I., & Figueredo, I. . (2018). “Classification methodology for spare parts management combining maintenance and logistics perspectives”. *Journal of Management Analytics.*, 5:2, 116-135. doi:10.1080/23270012.2018.1436989
- Teixeira, C., Lopes, I., & Figueredo, I. (2017). “Multi-criteria classification for spare parts management: a case study”. *Procedia Manufacturing* 11.
- Tersine, R. J. (1994). *Principles of Inventory and Materials Management Fourth Edition*. New Jersey: Prentice-Hall International Inc.
- Triantaphyllou, E., & Mann, S. H. (1995). “Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications: Some challenges”. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice.*, 2(1), 35–44.
- Wang, Y., Ji, W., & Chaudhry, S. (2014). A hybrid approach for the evaluation of supermarket food safety. *Journal of Management Analytics*, 1(2), , 156–167. <https://doi.org/10.1080/23270012.2014.969790>.
- Waters, D. (2003). *Inventory Constrol and Management*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.

LAMPIRAN A

A.1. Hasil Eksperimen Faktor R

Spare part	Skenario	Lead time	RsS or Not	R Topt	sMin	SMax	Total Ordering Cost	Total Maint Cost	Total Holding Cost	Direct Buying	Total Cost	Stockout Cost	Tot Loss Prod Can not GI	Inventory Value	Inv Level	Relevant Cost
620-200253	2.1.1	6	1	1	3	3	2,061,605	667,000,000	28,978,729	-	698,040,333	-	10,747,339,440	5,336,000,000	16	16,781,379,773
	2.1.2	6	1	2	3	3	1,030,802	1,000,500,000	12,009,641	-	1,013,540,443	-	8,060,504,580	2,001,000,000	6	11,075,045,023
	2.1.3	6	1	3	3	3	687,202	667,000,000	8,119,879	-	675,807,080	-	10,747,339,440	1,334,000,000	4	12,757,146,520
	2.1.4	6	1	4	3	3	687,202	667,000,000	7,901,080	-	675,588,281	-	10,747,339,440	1,334,000,000	4	12,756,927,721
	2.1.5	6	1	5	3	3	687,202	667,000,000	7,682,280	-	675,369,482	-	10,747,339,440	1,334,000,000	4	12,756,708,922
	2.1.6	6	1	6	3	3	1,030,802	667,000,000	4,084,250	-	672,115,053	-	10,747,339,440	1,000,500,000	3	12,419,954,493
	2.1.7	6	1	7	3	3	1,030,802	667,000,000	3,914,073	-	671,944,876	-	10,747,339,440	1,000,500,000	3	12,419,784,316
	2.1.8	6	1	8	3	3	1,030,802	667,000,000	3,841,140	-	671,871,942	-	10,747,339,440	1,000,500,000	3	12,419,711,382
	2.1.9	6	1	9	3	3	1,030,802	667,000,000	3,646,652	-	671,677,454	-	10,747,339,440	1,000,500,000	3	12,419,516,894
	2.1.10	6	1	10	3	3	1,030,802	667,000,000	3,743,896	-	671,774,698	-	10,747,339,440	1,000,500,000	3	12,419,614,138
	2.1.11	6	1	11	3	3	1,030,802	667,000,000	3,403,542	-	671,434,344	-	10,747,339,440	1,000,500,000	3	12,419,273,784
	2.1.12	6	1	12	3	3	1,030,802	667,000,000	3,646,652	-	671,677,454	-	10,747,339,440	1,000,500,000	3	12,419,516,894
	2.1.13	6	1	13	3	3	1,030,802	667,000,000	3,354,920	-	671,385,722	-	10,747,339,440	1,000,500,000	3	12,419,225,162
	2.1.14	6	1	14	3	3	687,202	667,000,000	3,136,121	-	670,823,322	-	10,747,339,440	667,000,000	2	12,085,162,762
	2.1.15	6	1	15	3	3	687,202	667,000,000	3,136,121	-	670,823,322	-	10,747,339,440	1,000,500,000	3	12,418,662,762
312-200753	2.1.1	6	1	1	4	4	2,061,605	1,840,000,000	50,232,438	-	1,892,294,042	-	24,181,513,740	9,200,000,000	20	35,273,807,782
	2.1.2	6	1	2	4	4	1,030,802	1,840,000,000	20,494,835	-	1,861,525,637	-	24,181,513,740	3,680,000,000	8	29,723,039,377
	2.1.3	6	1	3	4	4	687,202	1,840,000,000	11,921,832	-	1,852,609,033	-	24,181,513,740	1,840,000,000	4	27,874,122,773
	2.1.4	6	1	4	4	4	687,202	1,840,000,000	11,519,972	-	1,852,207,174	-	24,181,513,740	1,840,000,000	4	27,873,720,914
	2.1.5	6	1	5	4	4	687,202	1,840,000,000	11,118,113	-	1,851,805,314	-	24,181,513,740	1,840,000,000	4	27,873,319,054
	2.1.6	6	1	6	4	4	1,374,403	1,840,000,000	6,898,588	-	1,848,272,991	-	24,181,513,740	1,840,000,000	4	27,869,786,731
	2.1.7	6	1	7	4	4	1,374,403	1,840,000,000	6,798,123	-	1,848,172,526	-	24,181,513,740	1,840,000,000	4	27,869,686,266
	2.1.8	6	1	8	4	4	1,374,403	1,840,000,000	6,965,565	-	1,848,339,968	-	24,181,513,740	1,840,000,000	4	27,869,853,708
	2.1.9	6	1	9	4	4	1,374,403	1,840,000,000	6,195,334	-	1,847,569,737	-	24,181,513,740	1,840,000,000	4	27,869,083,477
	2.1.10	6	1	10	4	4	1,030,802	1,840,000,000	6,094,869	-	1,847,125,671	-	24,181,513,740	1,840,000,000	4	27,868,639,411
	2.1.11	6	1	11	4	4	1,374,403	1,840,000,000	6,128,357	-	1,847,502,760	-	24,181,513,740	1,840,000,000	4	27,869,016,500
	2.1.12	6	1	12	4	4	1,030,802	1,840,000,000	5,893,939	-	1,846,924,742	-	24,181,513,740	1,840,000,000	4	27,868,438,482
	2.1.13	6	1	13	4	4	1,030,802	1,840,000,000	5,726,498	-	1,846,757,300	-	24,181,513,740	1,840,000,000	4	27,868,271,040
	2.1.14	6	1	14	4	4	1,030,802	1,840,000,000	5,157,197	-	1,846,187,999	-	24,181,513,740	1,840,000,000	4	27,867,701,739
	2.1.15	6	1	15	4	4	1,030,802	1,840,000,000	4,587,896	552,000,000	2,397,618,698	2,686,834,860	24,181,513,740	1,840,000,000	4	28,419,132,438

Spare part	Skenario	Lead time	RsS or Not	R Topt	sMin	SMax	Total Ordering Cost	Total Maint Cost	Total Holding Cost	Direct Buying	Total Cost	Stockout Cost	Tot Loss Prod Can not GI	Inventory Value	Inv Level	Relevant Cost
329-200736	2.1.1	6	1	2	4	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955
	2.1.2	6	1	3	4	4	687,202	-	5,481,125	358,800,000	364,968,327	5,373,669,720	5,373,669,720	1,196,000,000	8	6,934,638,047
	2.1.3	6	1	2	4	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955
	2.1.4	6	1	2	4	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955
	2.1.5	6	1	2	4	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955
	2.1.6	6	1	2	4	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955
	2.1.7	6	1	2	4	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955
	2.1.8	6	1	2	4	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955
	2.1.9	6	1	2	4	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955
	2.1.10	6	1	2	4	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955
	2.1.11	6	1	2	4	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955
	2.1.12	6	1	2	4	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955
	2.1.13	6	1	2	4	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955
	2.1.14	6	1	2	4	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955
	2.1.15	6	1	2	4	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955

A.2. Hasil Eksperimen Faktors

Spare part	Skenario	Lead time	RsS or Not	R Topt	sMin	SMax	Total Ordering Cost	Total Maint Cost	Total Holding Cost	Direct Buying	Total Cost	Stockout Cost	Tot Loss Prod Can not GI	Inventory Value	Inv Level	Relevant Cost
620-200253	2.2.1	6	1	14	2	3	687,202	667,000,000	3,136,121	-	670,823,322	-	10,747,339,440	667,000,000	2	12,085,162,762
	2.2.2	6	1	14	1	3	343,601	667,000,000	2,868,700	-	670,212,300	-	10,747,339,440	333,500,000	1	11,751,051,740
	2.2.3	6	1	14	-	3	343,601	667,000,000	2,868,700	-	670,212,300	-	10,747,339,440	333,500,000	1	11,751,051,740
	2.2.4	6	1	14	-	3	343,601	667,000,000	2,868,700	-	670,212,300	-	10,747,339,440	333,500,000	1	11,751,051,740
	2.2.5	6	1	14	-	3	343,601	667,000,000	2,868,700	-	670,212,300	-	10,747,339,440	333,500,000	1	11,751,051,740
312-200753	2.2.1	6	1	14	3	4	1,030,802	1,840,000,000	5,157,197	-	1,846,187,999	-	24,181,513,740	1,840,000,000	4	27,867,701,739
	2.2.2	6	1	14	2	4	687,202	1,840,000,000	4,788,826	-	1,845,476,027	-	24,181,513,740	1,380,000,000	3	27,406,989,767
	2.2.3	6	1	14	1	4	687,202	1,840,000,000	4,788,826	-	1,845,476,027	-	24,181,513,740	1,380,000,000	3	27,406,989,767
	2.2.4	6	1	14	-	4	687,202	1,840,000,000	3,750,689	3,864,000,000	5,708,437,890	18,807,844,020	24,181,513,740	1,840,000,000	4	31,729,951,630
	2.2.5	6	1	14	1	4	687,202	1,840,000,000	4,788,826	-	1,845,476,027	-	24,181,513,740	1,380,000,000	3	27,406,989,767
329-200736	2.2.1	6	1	2	3	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955
	2.2.2	6	1	2	2	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955
	2.2.3	6	1	2	1	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955
	2.2.4	6	1	2	-	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955
	2.2.5	6	1	2	-	4	1,030,802	299,000,000	6,884,293	-	306,915,095	-	2,686,834,860	1,495,000,000	10	4,488,749,955

A.3. Hasil Eksperimen Faktor S

Spare part	Skenario	Lead time	RsS or Not	R Topt	sMin	SMax	Total Ordering Cost	Total Maint Cost	Total Holding Cost	Direct Buying	Total Cost	Stockout Cost	Tot Loss Prod Can not GI	Inventory Value	Inv Level	Relevant Cost
620-200253	2.3.1	6	1	14	-	2	343,601	667,000,000	1,580,216	-	668,923,817	-	10,747,339,440	-	-	11,416,263,257
	2.3.2	6	1	14	-	1	687,202	333,500,000	923,819	1,600,800,000	1,935,911,020	10,747,339,440	13,434,174,300	333,500,000	1	15,703,585,320
	2.3.3	6	1	14	-	2	343,601	667,000,000	1,580,216	-	668,923,817	-	10,747,339,440	-	-	11,416,263,257
	2.3.4	6	1	14	-	2	687,202	667,000,000	1,726,082	1,200,600,000	1,870,013,284	8,060,504,580	10,747,339,440	667,000,000	2	13,284,352,724
312-200753	2.3.1	6	1	14	1	3	687,202	1,380,000,000	3,884,642	2,208,000,000	3,592,571,843	10,747,339,440	26,868,348,600	1,380,000,000	3	31,840,920,443
	2.3.2	6	1	14	1	5	687,202	1,840,000,000	5,525,568	1,656,000,000	3,502,212,770	8,060,504,580	24,181,513,740	2,300,000,000	5	29,983,726,510
	2.3.3	6	1	14	1	4	687,202	1,840,000,000	4,788,826	-	1,845,476,027	-	24,181,513,740	1,380,000,000	3	27,406,989,767
	2.3.4	6	1	14	1	4	687,202	1,380,000,000	5,659,521	-	1,386,346,723	-	26,868,348,600	1,840,000,000	4	30,094,695,323
329-200736	2.3.1	6	1	2	-	3	1,030,802	299,000,000	4,812,428	-	304,843,230	-	2,686,834,860	1,046,500,000	7	4,038,178,090
	2.3.2	6	1	2	-	3	1,030,802	299,000,000	4,812,428	-	304,843,230	-	2,686,834,860	1,046,500,000	7	4,038,178,090
	2.3.3	6	1	2	-	2	1,030,802	299,000,000	2,740,563	-	302,771,365	-	2,686,834,860	598,000,000	4	3,587,606,225
	2.3.4	6	1	2	-	1	1,030,802	149,500,000	1,370,281	179,400,000	331,301,084	2,686,834,860	5,373,669,720	299,000,000	2	6,003,970,804

LAMPIRAN B

Variable Equation

$$\text{Inv_Level}[\text{Part_A}](t) = \text{Inv_Level}[\text{Part_A}](t - dt) + (\text{Goods_Receipt}[\text{Part_A}] - \text{Goods_Issued}[\text{Part_A}]) * dt$$

$$\text{INIT Inv_Level}[\text{Part_A}] = 0$$

$$\text{Inv_Level}[\text{Part_B}](t) = \text{Inv_Level}[\text{Part_B}](t - dt) + (\text{Goods_Receipt}[\text{Part_B}] - \text{Goods_Issued}[\text{Part_B}]) * dt$$

$$\text{INIT Inv_Level}[\text{Part_B}] = 0$$

$$\text{Inv_Level}[\text{Part_C}](t) = \text{Inv_Level}[\text{Part_C}](t - dt) + (\text{Goods_Receipt}[\text{Part_C}] - \text{Goods_Issued}[\text{Part_C}]) * dt$$

$$\text{INIT Inv_Level}[\text{Part_C}] = 0$$

INFLOWS:

$$\text{Goods_Receipt}[\text{Part_A}] = \text{Qty_Order_Lead_Time_A}$$

$$\text{Goods_Receipt}[\text{Part_B}] = \text{Qty_Order_Lead_Time_B}$$

$$\text{Goods_Receipt}[\text{Part_C}] = \text{Qty_Order_Lead_Time_C}$$

OUTFLOWS:

$$\text{Goods_Issued}[\text{Part_A}] = \text{IF Maint_Planner_Approval}[\text{Issued_A}] = 1 \text{ THEN Qty_Maint_Activity_Spare_part_A ELSE } 0$$

$$\text{Goods_Issued}[\text{Part_B}] = \text{IF Maint_Planner_Approval}[\text{Issued_B}] = 1 \text{ THEN Qty_Maint_Activity_Spare_part_B ELSE } 0$$

$$\text{Goods_Issued}[\text{Part_C}] = \text{IF Maint_Planner_Approval}[\text{Issued_C}] = 1 \text{ THEN Qty_Maint_Activity_Spare_part_C ELSE } 0$$

$$\text{Maint_Budget_per_Department}(t) = \text{Maint_Budget_per_Department}(t - dt) + (\text{Opex_Target_RKAP} - \text{Budget_Allocation_Per_Month_per_Department}) * dt$$

$$\text{INIT Maint_Budget_per_Department} = 0$$

INFLOWS:

$$\text{Opex_Target_RKAP} = \text{Opex_Proportional}$$

OUTFLOWS:

Budget_Allocation__Per_Month_per_Department = if
 Maint_Budget_per_Department>History_Budgetting_Table_per_Department then
 History_Budgetting_Table_per_Department else Maint_Budget_per_Department

Qty_Eval_Tech(t) = Qty_Eval_Tech(t - dt) + (Aanwidjzing -
 Qty_of_Evatec_Approval) * dt

INIT Qty_Eval_Tech = 0

INFLOWS:

Aanwidjzing = if Qty_Vendor_Invitation >= 2 then RFQ_Rate else 0

OUTFLOWS:

Qty_of_Evatec_Approval = if Qty_of_Mgr_User_Approval_for_Evatec =
 Qty_of_Mgr_PSC_Approval_for_Evatec then
 Qty_of_Mgr_User_Approval_for_Evatec else 0

Qty_E_Auction(t) = Qty_E_Auction(t - dt) + (E_Auction_Rate -
 Auction_Approval) * dt

INIT Qty_E_Auction = 0

INFLOWS:

E_Auction_Rate = if Qty_E_Auction>Qty_of_Evatec_Approval then 0 else
 Qty_of_Evatec_Approval

OUTFLOWS:

Auction_Approval = if Proc_Approval = 1 then Qty_E_Auction else 0

Qty_Goods_Receipt_Documents(t) = Qty_Goods_Receipt_Documents(t - dt) +
 (GR_Rate - Closing_Rate) * dt

INIT Qty_Goods_Receipt_Documents = 0

INFLOWS:

GR_Rate = Receipt

OUTFLOWS:

Closing_Rate = if Receipt >0 then Qty_Goods_Receipt_Documents else 0

Qty_PO(t) = Qty_PO(t - dt) + (PO_Rate - Receipt) * dt

INIT Qty_PO = 0

INFLOWS:

$PO_Rate = \text{if } Qty_PO > Auction_Approval \text{ then } 0 \text{ else } Auction_Approval$

OUTFLOWS:

$Receipt = \text{if } Goods_Receipt[Part_A] > 0 \text{ then } 1 \text{ else if } Goods_Receipt[Part_B] > 0 \text{ then } 1 \text{ else if } Goods_Receipt[Part_C] > 0 \text{ then } 1 \text{ else } 0$

$Qty_PR_Released(t) = Qty_PR_Released(t - dt) + (PR_Rate - RFQ_Rate) * dt$

INIT $Qty_PR_Released = 0$

INFLOWS:

$PR_Rate = Number_Reservation$

OUTFLOWS:

$RFQ_Rate = \text{if } Willingness = 1 \text{ then if } Total_Inv_Value < Max_Inv_Price \text{ then if } 4 * Qty_Personel \geq Qty_PR_Released \text{ then } Qty_PR_Released \text{ else } 4 * Qty_Personel \text{ else } 0 \text{ else } 0$

$Total_Goods_Issued[Tot_Goods_Issued](t) = Total_Goods_Issued[Tot_Goods_Issued](t - dt) + (In_GI[Tot_Goods_Issued]) * dt$

INIT $Total_Goods_Issued[Tot_Goods_Issued] = 0$

INFLOWS:

$In_GI[Aaaaaa] = Goods_Issued[Part_A]$

$In_GI[Bbbbbbb] = Goods_Issued[Part_B]$

$In_GI[Cccccc] = Goods_Issued[Part_C]$

$Total_Inv_Level[Tot_Inventory_Level](t) = Total_Inv_Level[Tot_Inventory_Level](t - dt) + (In_HC[Tot_Inventory_Level]) * dt$

INIT $Total_Inv_Level[Tot_Inventory_Level] = 0$

INFLOWS:

$In_HC[Aaaa] = Inv_Level[Part_A]$

$In_HC[Bbbb] = Inv_Level[Part_B]$

$In_HC[Cccc] = Inv_Level[Part_C]$

$$\text{Total_Ordering_Cost}[\text{Order_Cost}](t) = \text{Total_Ordering_Cost}[\text{Order_Cost}](t - dt) + (\text{In_OC}[\text{Order_Cost}]) * dt$$

INIT Total_Ordering_Cost[Order_Cost] = 0

INFLOWS:

$$\text{In_OC}[\text{Aa}] = \text{Freq_GR}[\text{PartA}] * \text{Ordering_Cost}$$

$$\text{In_OC}[\text{Bb}] = \text{Freq_GR}[\text{PartB}] * \text{Ordering_Cost}$$

$$\text{In_OC}[\text{Cc}] = \text{Freq_GR}[\text{PartC}] * \text{Ordering_Cost}$$

$$\text{Total_Stock_Out}[\text{Stock_Out}](t) = \text{Total_Stock_Out}[\text{Stock_Out}](t - dt) + (\text{In_SO}[\text{Stock_Out}]) * dt$$

INIT Total_Stock_Out[Stock_Out] = 0

INFLOWS:

$$\text{In_SO}[1] = \text{Stockout}[1]$$

$$\text{In_SO}[2] = \text{Stockout}[2]$$

$$\text{In_SO}[3] = \text{Stockout}[3]$$

$$\begin{aligned} \text{Tot_Loss_Prod_Can_not_GI}[\text{Stock_Out}](t) \\ \text{Tot_Loss_Prod_Can_not_GI}[\text{Stock_Out}](t - dt) + (\text{in_DT}[\text{Stock_Out}]) * dt \end{aligned} =$$

INIT Tot_Loss_Prod_Can_not_GI[Stock_Out] = 0

INFLOWS:

$$\text{in_DT}[1] = \text{Downtime_Can_not_GI}[1] * \text{Loss_Prod_Rp_per_day_per_ton}$$

$$\text{in_DT}[2] = \text{Downtime_Can_not_GI}[2] * \text{Loss_Prod_Rp_per_day_per_ton}$$

$$\text{in_DT}[3] = \text{Downtime_Can_not_GI}[3] * \text{Loss_Prod_Rp_per_day_per_ton}$$

$$\text{User_Maint_Cost}(t) = \text{User_Maint_Cost}(t - dt) + (\text{User_Budget_for_Maint} - \text{Cost_of_Material_Issued}) * dt$$

INIT User_Maint_Cost = 0

INFLOWS:

$$\text{User_Budget_for_Maint} = \text{Budget_per_month_per_user}$$

OUTFLOWS:

Cost_of_Material_Issued = IF Maint_Planner_Approval[Issued_A] = 1 AND
 Maint_Planner_Approval[Issued_B] = 1 AND
 Maint_Planner_Approval[Issued_C] = 1 THEN Sum_Issued ELSE IF
 Maint_Planner_Approval[Issued_A] = 1 AND
 Maint_Planner_Approval[Issued_B] = 1 THEN
 Issued_Value_All[A]+Issued_Value_All[B] ELSE IF
 Maint_Planner_Approval[Issued_A] = 1 AND
 Maint_Planner_Approval[Issued_C] = 1 THEN
 Issued_Value_All[A]+Issued_Value_All[C] ELSE IF
 Maint_Planner_Approval[Issued_B] = 1 AND
 Maint_Planner_Approval[Issued_C] = 1 THEN Issued_Value_All[B] +
 Issued_Value_All[C] ELSE IF Maint_Planner_Approval[Issued_A] = 1 THEN
 Issued_Value_All[A] ELSE IF Maint_Planner_Approval[Issued_B] = 1 THEN
 Issued_Value_All[B] ELSE IF Maint_Planner_Approval[Issued_C] = 1 THEN
 Issued_Value_All[C] ELSE 0

Adj = 0

Adj_B = 0

Adj_C = 0

Auction_Price_Part_A = IF TIME < 13 THEN
 Spare_Part_A_Price+(5*Spare_Part_A_Price/100) ELSE IF TIME > 12 AND
 TIME < 25 THEN Spare_Part_A_Price+(7*Spare_Part_A_Price/100) ELSE IF
 TIME > 24 AND TIME < 37 THEN
 Spare_Part_A_Price+(9*Spare_Part_A_Price/100) ELSE IF TIME > 36 AND
 TIME < 49 THEN Spare_Part_A_Price+(12*Spare_Part_A_Price/100) ELSE IF
 TIME > 48 AND TIME < 61 THEN
 Spare_Part_A_Price+(14*Spare_Part_A_Price/100) ELSE IF TIME > 60 AND
 TIME < 73 THEN Spare_Part_A_Price+(15*Spare_Part_A_Price/100) ELSE 0

Auction_Price_Part_B = IF TIME < 13 THEN

Spare_Part_B_Price+(5*Spare_Part_B_Price/100) ELSE IF TIME > 12 AND
 TIME < 25 THEN Spare_Part_B_Price+(7*Spare_Part_B_Price/100) ELSE IF
 TIME > 24 AND TIME < 37 THEN
 Spare_Part_B_Price+(9*Spare_Part_B_Price/100) ELSE IF TIME > 36 AND
 TIME < 49 THEN Spare_Part_B_Price+(12*Spare_Part_B_Price/100) ELSE IF
 TIME > 48 AND TIME < 61 THEN
 Spare_Part_B_Price+(14*Spare_Part_B_Price/100) ELSE IF TIME > 60 AND
 TIME < 73 THEN Spare_Part_B_Price+(15*Spare_Part_B_Price/100) ELSE 0

Auction_Price_Part_C = IF TIME < 13 THEN

Spare_Part_C_Price+(5*Spare_Part_C_Price/100) ELSE IF TIME > 12 AND
 TIME < 25 THEN Spare_Part_C_Price+(7*Spare_Part_C_Price/100) ELSE IF
 TIME > 24 AND TIME < 37 THEN

Spare_Part_C_Price+(9*Spare_Part_C_Price/100) ELSE IF TIME > 36 AND TIME < 49 THEN Spare_Part_C_Price+(12*Spare_Part_C_Price/100) ELSE IF TIME > 48 AND TIME < 61 THEN Spare_Part_C_Price+(14*Spare_Part_C_Price/100) ELSE IF TIME > 60 AND TIME < 73 THEN Spare_Part_C_Price+(15*Spare_Part_C_Price/100) ELSE 0

Budget_per_month_per_user =
Budget_Allocation__Per_Month_per_Department/Qty_User

Class_Part_A = 1

Class_Part_B = 1

Class_Part_C = 1

Direct_Buying[1] = if time = 72 then Total_Stock_Out[1]*(Auction_Price_Part_A + (20*Auction_Price_Part_A/100)) else 0

Direct_Buying[2] = if time = 72 then Total_Stock_Out[2]*(Auction_Price_Part_B + (20*Auction_Price_Part_B/100)) else 0

Direct_Buying[3] = If time = 72 then Total_Stock_Out[3]*(Auction_Price_Part_C + (20*Auction_Price_Part_C/100)) else 0

Doc_Tender = 1

Downtime_Can_not_GI[1] = if Qty_Req_Issued_Spare_Part_A = Goods_Issued[Part_A] then 0 else 1

Downtime_Can_not_GI[2] = if Qty_Req_Issued_Spare_Part_B=Goods_Issued[Part_B] then 0 else 1

Downtime_Can_not_GI[3] = if Qty_Req_Issued_Spare_Part_C = Goods_Issued[Part_C] then 0 else 1

Engineering_Cost_Estimated_Part_A = IF TIME < 13 THEN Spare_Part_A_Price+(6*Spare_Part_A_Price/100) ELSE IF TIME > 12 AND TIME < 25 THEN Spare_Part_A_Price+(8*Spare_Part_A_Price/100) ELSE IF TIME > 24 AND TIME < 37 THEN Spare_Part_A_Price+(10*Spare_Part_A_Price/100) ELSE IF TIME > 36 AND TIME < 49 THEN Spare_Part_A_Price+(13*Spare_Part_A_Price/100) ELSE IF TIME > 48 AND TIME < 61 THEN Spare_Part_A_Price+(15*Spare_Part_A_Price/100) ELSE IF TIME > 60 AND TIME < 73 THEN Spare_Part_A_Price+(16*Spare_Part_A_Price/100) ELSE 0

Engineering_Cost_Estimated_Part_B = IF TIME < 13 THEN

Spare_Part_B_Price+(6*Spare_Part_B_Price/100) ELSE IF TIME > 12 AND TIME < 25 THEN Spare_Part_B_Price+(8*Spare_Part_B_Price/100) ELSE IF

TIME > 24 AND TIME < 37 THEN
 Spare_Part_B_Price+(10*Spare_Part_B_Price/100) ELSE IF TIME > 36 AND
 TIME < 49 THEN Spare_Part_B_Price+(13*Spare_Part_B_Price/100) ELSE IF
 TIME > 48 AND TIME < 61 THEN
 Spare_Part_B_Price+(15*Spare_Part_B_Price/100) ELSE IF TIME > 60 AND
 TIME < 73 THEN Spare_Part_B_Price+(16*Spare_Part_B_Price/100) ELSE 0

Engineering_Cost_Estimated_Part_C = IF TIME < 13 THEN

Spare_Part_C_Price+(6*Spare_Part_C_Price/100) ELSE IF TIME > 12 AND
 TIME < 25 THEN Spare_Part_C_Price+(8*Spare_Part_C_Price/100) ELSE IF
 TIME > 24 AND TIME < 37 THEN
 Spare_Part_C_Price+(10*Spare_Part_C_Price/100) ELSE IF TIME > 36 AND
 TIME < 49 THEN Spare_Part_C_Price+(13*Spare_Part_C_Price/100) ELSE IF
 TIME > 48 AND TIME < 61 THEN
 Spare_Part_C_Price+(15*Spare_Part_C_Price/100) ELSE IF TIME > 60 AND
 TIME < 73 THEN Spare_Part_C_Price+(16*Spare_Part_C_Price/100) ELSE 0

Freq_GR[PartA] = if Goods_Receipt[Part_A] > 0 then 1 else 0

Freq_GR[PartB] = if Goods_Receipt[Part_B] > 0 then 1 else 0

Freq_GR[PartC] = if Goods_Receipt[Part_C] > 0 then 1 else 0

Holding_Cost[Aaaaa] = 1750393

Holding_Cost[Bbbbb] = 2411157

Holding_Cost[Ccccc] = 789282

Inventory_Value_Part_A = Inv_Level[Part_A]*Auction_Price_Part_A

Inventory_Value_Part_B = Inv_Level[Part_B]*Auction_Price_Part_B

Inventory_Value_Part_C = Inv_Level[Part_C]*Auction_Price_Part_C

Issued_Value_A = Qty_Maint_Activity_Spare_part_A*Auction_Price_Part_A

Issued_Value_All[A] = Issued_Value_A

Issued_Value_All[B] = Issued_Value_B

Issued_Value_All[C] = Issued_Value_C

Issued_Value_B = Qty_Maint_Activity_Spare_part_B*Auction_Price_Part_B

Issued_Value_C = Qty_Maint_Activity_Spare_part_C*Auction_Price_Part_C

Lead_time_A = if Receipt_Approval_A = 1 then 6 else 0

Lead_time_B = if Receipt_Approval_B = 1 then 5 else 0

Lead_time_C = if Receipt_Approval_C then 7 else 0

Locking_Budget = 1400000000

Loss_Prod_Rp_per_day_per_ton = 2686834860

Maintenance_Planning_per_User_for_All_Spare_Part =
Maintenance_Planning_per_User_for_Spare_part_A+Maintenance_Planning_per
_User_for_Spare_part_B+Maintenance_Planning_per_User_for_Spare_part_C

Maintenance_Planning_per_User_for_Spare_part_A =
Qty_Req_Issued_Spare_Part_A*Spare_Part_A_Price

Maintenance_Planning_per_User_for_Spare_part_B =
Qty_Req_Issued_Spare_Part_B*Spare_Part_B_Price

Maintenance_Planning_per_User_for_Spare_part_C =
Qty_Req_Issued_Spare_Part_C*Spare_Part_C_Price

Maintennance_Planning_Department = 47500000

Maint_Planner_Approval[Issued_A] = if Issued_Value_A > 0 THEN IF
Sum_Issued <= User_Maint_Cost then if Issued_Value_A <= Locking_Budget
THEN 1 ELSE 0 ELSE IF (Issued_Value_A+Issued_Value_B) <=
User_Maint_Cost THEN 1 ELSE IF (Issued_Value_A+Issued_Value_C) <=
User_Maint_Cost THEN 1 ELSE IF Issued_Value_A <= User_Maint_Cost THEN
1 ELSE 0 ELSE 0

Maint_Planner_Approval[Issued_B] = if Issued_Value_B > 0 THEN IF
Sum_Issued <= User_Maint_Cost THEN IF Issued_Value_B <= Locking_Budget
THEN 1 ELSE 0 ELSE IF (Issued_Value_A+Issued_Value_B) <=
User_Maint_Cost THEN 1 ELSE IF (Issued_Value_B+Issued_Value_C) <=
User_Maint_Cost THEN 1 ELSE IF Issued_Value_B <= User_Maint_Cost THEN
1 ELSE 0 ELSE 0

Maint_Planner_Approval[Issued_C] = if Issued_Value_C > 0 THEN IF
Sum_Issued <= User_Maint_Cost then if Issued_Value_C <= Locking_Budget
THEN 1 ELSE 0 ELSE IF (Issued_Value_A+Issued_Value_C) <=
User_Maint_Cost THEN 1 ELSE IF (Issued_Value_B+Issued_Value_C) <=
User_Maint_Cost THEN 1 ELSE IF Issued_Value_C <= User_Maint_Cost THEN
1 ELSE 0 ELSE 0

Management_Policy = 1200000000

Max_Inv_Price = 3480000000

Number_Reservation = Spare_Part_Planner_Approval_Req_Part_A+Spare_Part_Planner_Approval_Req_Part_B+Spare_Part_Planner_Approval_Req_Part_C

Opex_Proportional = Prop_MP*Management_Policy+Prop_MPD*Maintennance_Planning_Departmen
t+Prop_TIV*Total_Inv_Value

Ordering_Cost = 343600.76

Proc_Approval = if Proc_Approval_Part_A = 1 then 1 else IF Proc_Approval_Part_B = 1 THEN 1 ELSE IF Proc_Approval_Part_C = 1 THEN 1 ELSE 0

Proc_Approval_Part_A = if Spare_Part_Planner_Approval_Req_Part_A = 1 then if Auction_Price_Part_A <=Engineering_Cost_Estimated_Part_A then 1 else 0 else 0

Proc_Approval_Part_B = if Spare_Part_Planner_Approval_Req_Part_B = 1 then if Auction_Price_Part_B <=Engineering_Cost_Estimated_Part_B then 1 else 0 else 0

Proc_Approval_Part_C = if Spare_Part_Planner_Approval_Req_Part_C = 1 then if Auction_Price_Part_C <=Engineering_Cost_Estimated_Part_C then 1 else 0 else 0

Prop_MP = 0.7

Prop_MPD = 0.2

Prop_TIV = 0.1

Qty_Inv_Total = Inv_Level[Part_A]+Inv_Level[Part_B]+Inv_Level[Part_C]

Qty_Maint_Activity_All = Qty_Maint_Activity_Spare_part_A+Qty_Maint_Activity_Spare_part_B+Qty_Maint_Activity_Spare_part_C

Qty_Maint_Activity_Spare_part_A = if User_Manager_Approval_for_Issued=1 then if Inv_Level[Part_A] >= Qty_Req_Issued_Spare_Part_A then Qty_Req_Issued_Spare_Part_A else Inv_Level[Part_A] else 0

Qty_Maint_Activity_Spare_part_B = if User_Manager_Approval_for_Issued=1 then if Inv_Level[Part_B] >= Qty_Req_Issued_Spare_Part_B then Qty_Req_Issued_Spare_Part_B else Inv_Level[Part_B] else 0

Qty_Maint_Activity_Spare_part_C = if User_Manager_Approval_for_Issued=1 then if Inv_Level[Part_C] >=Qty_Req_Issued_Spare_Part_C then Qty_Req_Issued_Spare_Part_C else Inv_Level[Part_C] else 0

Qty_of_Mgr_PSC_Approval_for_Evatec = if Spec_Tender_OK_? = 1 then
Qty_Eval_Tech else 0

Qty_of_Mgr_User_Approval_for_Evatec = if Spec_Tender_OK_? = 1 then
Qty_Eval_Tech else 0

Qty_Order_Lead_Time_A = DELAY(Qty_Order_of_Part_A,Lead_time_A-1)

Qty_Order_Lead_Time_B = DELAY(Qty_Order_of_Part_B,Lead_time_B-1)

Qty_Order_Lead_Time_C = DELAY(Qty_Order_of_Part_C,Lead_time_C-1)

Qty_Order_of_Part_A = if RsS_or_Not_Part_A = 1 then if
Spare_Part_Planner_Approval_Req_Part_A = 1 then if Proc_Approval_Part_A = 1
then SMax_Spare_A-Inv_Level[Part_A] else 0 else 0 else if
Spare_Part_Planner_Approval_Req_Part_A = 1 then Qty_Request_A_by_User +
Adj else 0

Qty_Order_of_Part_B = if RsS_or_Not_Part_B = 1 then if
Spare_Part_Planner_Approval_Req_Part_B = 1 then if Proc_Approval_Part_B = 1
then SMax_Spare_B-Inv_Level[Part_B] else 0 else 0 else if
Spare_Part_Planner_Approval_Req_Part_B = 1 then Qty_Request_B_by_User +
Adj_B else 0

Qty_Order_of_Part_C = if RsS_or_Not_Part_C = 1 then if
Spare_Part_Planner_Approval_Req_Part_C = 1 then if Proc_Approval_Part_C = 1
then SMax_Spare_C-Inv_Level[Part_C] else 0 else 0 else if
Spare_Part_Planner_Approval_Req_Part_C = 1 then Qty_Request_C_by_User +
Adj_C else 0

Qty_Personel = 4

Qty_User = 1

Qty_Vendor_Invitation = if RFQ_Rate >0 then 5 else 0

Receipt_Approval_A = 1

Receipt_Approval_B = 1

Receipt_Approval_C = 1

Relevant_Cost[Cost_A] =
Total_Cost[Cost_A]+Inventory_Value_Part_A+Tot_Loss_Prod_Can_not_GI[1]

Relevant_Cost[Cost_B] =
Total_Cost[Cost_B]+Inventory_Value_Part_B+Tot_Loss_Prod_Can_not_GI[2]

Relevant_Cost[Cost_C] =
Total_Cost[Cost_C]+Inventory_Value_Part_C+Tot_Loss_Prod_Can_not_GI[3]

RsS_or_Not_Part_A = 0

RsS_or_Not_Part_B = 0

RsS_or_Not_Part_C = 0

R_TOpt_A = 12

R_TOpt_B = 7

R_TOpt_C = 5

SMax_Spare_A = 7

SMax_Spare_B = 4

SMax_Spare_C = 5

sMin_Spare_A = 6

sMin_Spare_B = 2

sMin_Spare_C = 3

Spare_Part_A_Price = 2.9e+008

Spare_Part_B_Price = 4000000000

Spare_Part_C_Price = 1.3e+008

Spare_Part_Planner_Approval_Req_Part_A = if RsS_or_Not_Part_A = 1 then if
Class_Part_A = 1 then if time/R_TOpt_A = int (time/R_TOpt_A) then if
Inv_Level[Part_A] <= sMin_Spare_A then 1 else 0 else 0 else 0 else if
Class_Part_A = 1 then if Qty_Request_A_by_User > 0 then 1 else 0 else 0

Spare_Part_Planner_Approval_Req_Part_B = if RsS_or_Not_Part_B = 1 then if
Class_Part_B = 1 then if time/R_TOpt_B = int (time/R_TOpt_B) then if
Inv_Level[Part_B] <= sMin_Spare_B then 1 else 0 else 0 else 0 else if
Class_Part_B = 1 then if Qty_Request_B_by_User > 0 then 1 else 0 else 0

Spare_Part_Planner_Approval_Req_Part_C = if RsS_or_Not_Part_C = 1 then if
Class_Part_C = 1 then if time/R_TOpt_C = int (time/R_TOpt_C) then if
Inv_Level[Part_C] <= sMin_Spare_C then 1 else 0 else 0 else 0 else if
Class_Part_C = 1 then if Qty_Request_C_by_User > 0 then 1 else 0 else 0

Spec_Requirement = 1

Spec_Tender_OK_? = if Qty_Eval_Tech>0 then if Spec_Requirement =
Doc_Tender then 1 else 0 else 0

Stockout[1] = if Qty_Req_Issued_Spare_Part_A > 0 and
Qty_Req_Issued_Spare_Part_A > Inv_Level[Part_A] then abs
(Qty_Req_Issued_Spare_Part_A-Inv_Level[Part_A]) else 0

Stockout[2] = if Qty_Req_Issued_Spare_Part_B > 0 and
Qty_Req_Issued_Spare_Part_B > Inv_Level[Part_B] then abs
(Qty_Req_Issued_Spare_Part_B-Inv_Level[Part_B]) else 0

Stockout[3] = if Qty_Req_Issued_Spare_Part_C > 0 and
Qty_Req_Issued_Spare_Part_C > Inv_Level[Part_C] then abs
(Qty_Req_Issued_Spare_Part_C-Inv_Level[Part_C]) else 0

Stock_Out_Cost[1] = if time = 72 then Total_Stock_Out[1] *
Loss_Prod_Rp_per_day_per_ton else 0

Stock_Out_Cost[2] = if time = 72 then Total_Stock_Out[2] *
Loss_Prod_Rp_per_day_per_ton else 0

Stock_Out_Cost[3] = if time = 72 then Total_Stock_Out[3] *
Loss_Prod_Rp_per_day_per_ton else 0

Sum_Issued = ARRAYSUM(Issued_Value_All[*])

Total_Cost[Cost_A] = if time = 72 then Total_Ordering_Cost[Aa] +
Total_Holding_Cost[Aaaaa] + Total_Maint_Cost[Aaaaaaa] + Direct_Buying[1]
else 0

Total_Cost[Cost_B] = if time = 72 then Total_Ordering_Cost[Bb] +
Total_Holding_Cost[Bbbbb] + Total_Maint_Cost[Bbbbbbb] + Direct_Buying[2]
else 0

Total_Cost[Cost_C] = if time = 72 then Total_Ordering_Cost[Cc] +
Total_Holding_Cost[Ccccc] + Total_Maint_Cost[Ccccccc] + Direct_Buying[3]
else 0

Total_Cost_All_Part = ARRAYSUM(Total_Cost[*])

Total_Holding_Cost[Aaaaa] = if time = 72 then (Total_Inv_Level[Aaaa] +
In_HC[Aaaa])/72*Holding_Cost[Aaaaa] else 0

Total_Holding_Cost[Bbbbb] = if time = 72 then (Total_Inv_Level[Bbbb] +
In_HC[Bbbb])/72*Holding_Cost[Bbbbb] else 0

Total_Holding_Cost[Ccccc] = if time = 72 then (Total_Inv_Level[Cccc] +
In_HC[Cccc])/72*Holding_Cost[Ccccc] else 0

Total_Inv_Value =
Inventory_Value_Part_A+Inventory_Value_Part_B+Inventory_Value_Part_C

Total_Maint_Cost[Aaaaaaa] = if time = 72 then Total_Goods_Issued[Aaaaaa] *
Auction_Price_Part_A else 0

Total_Maint_Cost[Bbbbbbb] = if time = 72 then Total_Goods_Issued[Bbbbbbb] *
Auction_Price_Part_B else 0

Total_Maint_Cost[Cccccc] = if time = 72 then
Total_Goods_Issued[Cccccc]*Auction_Price_Part_C else 0

User_Manager_Approval_for_Issued = 1

Willingness = 1

History_Budgeting_Table_per_Department = GRAPH(TIME)

(1.00, 1e+008), (2.01, 1e+008), (3.03, 1e+008), (4.04, 1e+008), (5.06, 1e+008),
(6.07, 1e+008), (7.09, 3.6e+008), (8.10, 1e+008), (9.11, 1e+008), (10.1, 1e+008),
(11.1, 1e+008), (12.2, 1e+008), (13.2, 1e+008), (14.2, 1e+008), (15.2, 1e+008),
(16.2, 1e+008), (17.2, 1e+008), (18.2, 1e+008), (19.3, 1e+008), (20.3, 1e+008),
(21.3, 1e+008), (22.3, 1e+008), (23.3, 1e+008), (24.3, 1e+008), (25.3, 1e+008),
(26.4, 1e+008), (27.4, 1e+008), (28.4, 1e+008), (29.4, 1e+008), (30.4, 9e+008),
(31.4, 9e+008), (32.4, 1e+008), (33.5, 1e+008), (34.5, 1e+008), (35.5, 5e+008),
(36.5, 5e+008), (37.5, 1e+008), (38.5, 1e+008), (39.5, 3.9e+008), (40.6, 1e+008),
(41.6, 1e+008), (42.6, 5e+008), (43.6, 1e+008), (44.6, 1e+008), (45.6, 7.9e+008),
(46.6, 3.9e+008), (47.7, 6.5e+008), (48.7, 3.9e+008), (49.7, 5e+008), (50.7,
1e+008), (51.7, 1e+008), (52.7, 9e+008), (53.7, 1e+008), (54.8, 9e+008), (55.8,
9e+008), (56.8, 3.9e+008), (57.8, 1e+008), (58.8, 1e+008), (59.8, 1e+008), (60.8,
1e+008), (61.9, 1e+008), (62.9, 9e+008), (63.9, 1e+008), (64.9, 1e+008), (65.9,
1e+008), (66.9, 1e+008), (67.9, 1e+008), (69.0, 1e+008), (70.0, 1.3e+009), (71.0,
1e+008), (72.0, 1e+008)

Qty_Request_A_by_User = GRAPH(TIME)

(1.00, 0.00), (2.00, 0.00), (3.00, 0.00), (4.00, 0.00), (5.00, 0.00), (6.00, 0.00), (7.00,
0.00), (8.00, 2.00), (9.00, 0.00), (10.0, 0.00), (11.0, 0.00), (12.0, 0.00), (13.0, 0.00),
(14.0, 0.00), (15.0, 0.00), (16.0, 0.00), (17.0, 0.00), (18.0, 0.00), (19.0, 2.00), (20.0,
0.00), (21.0, 0.00), (22.0, 0.00), (23.0, 0.00), (24.0, 0.00), (25.0, 0.00), (26.0, 0.00),
(27.0, 0.00), (28.0, 0.00), (29.0, 0.00), (30.0, 0.00), (31.0, 0.00), (32.0, 0.00), (33.0,
0.00), (34.0, 0.00), (35.0, 1.00), (36.0, 1.00), (37.0, 0.00), (38.0, 0.00), (39.0, 0.00),
(40.0, 0.00), (41.0, 0.00), (42.0, 1.00), (43.0, 1.00), (44.0, 0.00), (45.0, 0.00), (46.0,
0.00), (47.0, 0.00), (48.0, 0.00), (49.0, 0.00), (50.0, 0.00), (51.0, 0.00), (52.0, 0.00),
(53.0, 0.00), (54.0, 0.00), (55.0, 0.00), (56.0, 0.00), (57.0, 0.00), (58.0, 1.00), (59.0,
1.00), (60.0, 0.00), (61.0, 0.00), (62.0, 0.00), (63.0, 0.00), (64.0, 0.00), (65.0, 0.00),
(66.0, 2.00), (67.0, 0.00), (68.0, 0.00), (69.0, 0.00), (70.0, 0.00), (71.0, 0.00), (72.0,
0.00)

(1.00, 0.00), (2.00, 0.00), (3.00, 0.00), (4.00, 0.00), (5.00, 0.00), (6.00, 0.00), (7.00, 0.00), (8.00, 0.00), (9.00, 0.00), (10.0, 0.00), (11.0, 0.00), (12.0, 0.00), (13.0, 0.00), (14.0, 0.00), (15.0, 0.00), (16.0, 0.00), (17.0, 0.00), (18.0, 0.00), (19.0, 0.00), (20.0, 0.00), (21.0, 0.00), (22.0, 0.00), (23.0, 0.00), (24.0, 0.00), (25.0, 0.00), (26.0, 0.00), (27.0, 0.00), (28.0, 0.00), (29.0, 0.00), (30.0, 0.00), (31.0, 2.00), (32.0, 2.00), (33.0, 0.00), (34.0, 0.00), (35.0, 0.00), (36.0, 1.00), (37.0, 1.00), (38.0, 0.00), (39.0, 0.00), (40.0, 0.00), (41.0, 0.00), (42.0, 0.00), (43.0, 1.00), (44.0, 0.00), (45.0, 0.00), (46.0, 1.00), (47.0, 0.00), (48.0, 0.00), (49.0, 0.00), (50.0, 1.00), (51.0, 0.00), (52.0, 0.00), (53.0, 2.00), (54.0, 0.00), (55.0, 2.00), (56.0, 2.00), (57.0, 0.00), (58.0, 0.00), (59.0, 0.00), (60.0, 0.00), (61.0, 0.00), (62.0, 0.00), (63.0, 2.00), (64.0, 0.00), (65.0, 0.00), (66.0, 0.00), (67.0, 0.00), (68.0, 0.00), (69.0, 0.00), (70.0, 3.00), (71.0, 0.00), (72.0, 0.00)

Qty_Req_Issued_Spare_Part_C = GRAPH(TIME)

(1.00, 0.00), (2.00, 0.00), (3.00, 0.00), (4.00, 0.00), (5.00, 0.00), (6.00, 0.00), (7.00, 0.00), (8.00, 2.00), (9.00, 0.00), (10.0, 0.00), (11.0, 0.00), (12.0, 0.00), (13.0, 0.00), (14.0, 0.00), (15.0, 0.00), (16.0, 0.00), (17.0, 0.00), (18.0, 0.00), (19.0, 0.00), (20.0, 0.00), (21.0, 0.00), (22.0, 0.00), (23.0, 0.00), (24.0, 0.00), (25.0, 0.00), (26.0, 0.00), (27.0, 0.00), (28.0, 0.00), (29.0, 0.00), (30.0, 0.00), (31.0, 0.00), (32.0, 0.00), (33.0, 0.00), (34.0, 0.00), (35.0, 0.00), (36.0, 0.00), (37.0, 0.00), (38.0, 0.00), (39.0, 0.00), (40.0, 0.00), (41.0, 0.00), (42.0, 0.00), (43.0, 0.00), (44.0, 0.00), (45.0, 0.00), (46.0, 0.00), (47.0, 0.00), (48.0, 2.00), (49.0, 0.00), (50.0, 0.00), (51.0, 0.00), (52.0, 0.00), (53.0, 0.00), (54.0, 0.00), (55.0, 0.00), (56.0, 0.00), (57.0, 0.00), (58.0, 0.00), (59.0, 0.00), (60.0, 0.00), (61.0, 0.00), (62.0, 0.00), (63.0, 0.00), (64.0, 0.00), (65.0, 0.00), (66.0, 0.00), (67.0, 0.00), (68.0, 0.00), (69.0, 0.00), (70.0, 0.00), (71.0, 0.00), (72.0, 0.00)