



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERANCANGAN SIMULATOR MANAJEMEN SEBAGAI  
MEDIA PEMBELAJARAN PENGAMBILAN KEPUTUSAN  
PERENCANAAN KAPASITAS DALAM RANTAI SUPLAI  
LOOP TERTUTUP (STUDI KASUS RANTAI SUPLAI  
*RETURNABLE GLASS BOTTLE*)**

**SKRIPSI**

**RANGGA WIDYATAMA  
0706274962**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERANCANGAN SIMULATOR MANAJEMEN SEBAGAI  
MEDIA PEMBELAJARAN PENGAMBILAN KEPUTUSAN  
PERENCANAAN KAPASITAS DALAM RANTAI SUPLAI  
LOOP TERTUTUP (STUDI KASUS RANTAI SUPLAI  
*RETURNABLE GLASS BOTTLE*)**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
sarjana teknik**

**RANGGA WIDYATAMA  
0706274962**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JUNI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Rangga Widyatama**

**NPM : 0706274962**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : JUNI 2011**

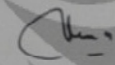


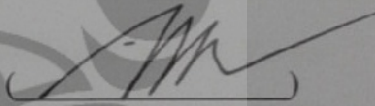
## HALAMAN PENGESAHAN


Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Rangga Widyatama  
NPM : 0706274962  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul Skripsi : Perancangan Simulator Manajemen Sebagai Media Pembelajaran Pengambilan Keputusan Perencanaan Kapasitas Dalam Rantai Suplai Loop Tertutup (Studi Kasus Rantai Suplai *Returnable Glass Bottle*)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Akhmad Hidayatno, ST, MBT (  )

Penguji : Ir. M. Dachyar M.Sc (  )

Penguji : Prof. Dr. Ir. T. Yuri M. Zagloel, M.EngSc (  )

Penguji : Ir. Yadrifil M.Sc (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 21 Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Akhmad Hidayatno, MBT. Selaku pembimbing yang telah membimbing, memberikan pengarahan, memotivasi, dan membantu Penulis dalam menyelesaikan penelitian ini;
2. Papa, Mama dan juga kakak saya, yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan segala bentuk dukungan fisik maupun spiritual kepada Penulis sepanjang hidup Penulis termasuk dalam mengerjakan penelitian ini hingga selesai.
3. Bapak Prof. Ir. Teuku Yuri M. Zagloel M.EngSc selaku Ketua Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia dan seluruh dosen pengajar Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia yang telah mengajarkan berbagai ilmu kepada penulis selama masa kuliah.
4. Peneliti SEMS, Aziiz Sutrisno, ST, yang telah banyak sekali membantu pengerjaan penelitian ini dari awal hingga selesai.
5. Agizta Herlingga, yang telah memberikan segala bentuk dukungan dan motivasinya kepada penulis sehingga penulis menyelesaikan penelitian ini.
6. Dosen-dosen di SEMS, Bapak Armand Omar Moeis, M.Sc; Bapak Komarudin, M.Sc yang telah memberikan banyak dukungan
7. Bapak Rahmat Nurcahyo, M Selaku Pembimbing Akademis Peneliti selama berkuliah di Departemen Teknik Industri UI

8. Teman-teman seperjuangan di bawah bimbingan Pak Akhmad, Berry Phann, Christian Tulus, Daril Bachtum, dan Gersianto Bagusputra yang telah melalui berbagai hal dalam menyelesaikan skripsi bersama.
9. Teman-teman optimasi di Lab SEMS, Ariel, Gersen Sumardi, Maolana Hakim, Oscar Sukoco, Paulus Bangun, dan Tarida Lucyana, yang berjuang bersama di lab kita tercinta.
10. Teman-teman yang berjuang bersama mengerjakan skripsi di kamar kos, Satria Utama dan Komara Jaya yang telah saling membantu dan mendukung dalam pengerjaan skripsi.
11. Seluruh responden *pilot testing* yang telah menyediakan waktu, pikiran serta saran-saran dalam analisis penelitian
12. Segenap teman-teman di TI07 yang menjadi teman terbaik selama 4 tahun kebersamaan kita.
13. Ibu Har, Mbak Ana, Mbak Willy, Mas Mursyid, Mas Latif, Bang Achil, Mas Dodi dan Mas Iwan atas bantuannya selama ini
14. Dan seluruh pihak yang baik secara langsung maupun tidak langsung membantu pengerjaan penelitian ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 14 Juni 2011  
Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rangga Widyatama  
NPM : 0706274962  
Departemen : Teknik Industri  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Perancangan Simulator Manajemen Sebagai Media Pembelajaran Pengambilan Keputusan Perencanaan Kapasitas Dalam Rantai Suplai Loop Tertutup (Studi Kasus Rantai Suplai *Returnable Glass Bottle*)

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 14 Juni 2011  
Yang menyatakan

(Rangga Widyatama)

## ABSTRAK

Nama : Rangga Widyatama  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul : Perancangan Simulator Manajemen sebagai Media Pembelajaran Pengambilan Keputusan Perencanaan Kapasitas dalam Rantai Suplai Loop Tertutup (Studi Kasus Rantai Suplai *Returnable Glass Bottle*)

Rantai suplai loop tertutup adalah rantai suplai yang sedang tumbuh namun menghadapi beberapa tantangan penting. Perencanaan kapasitas adalah salah satu factor strategis untuk mengatasi masalah-masalah yang ada. Penelitian ini merancang sebuah manajemen simulator yang akan membantu proses pembelajaran dalam kegiatan perencanaan kapasitas. Perilaku sistem yang dipelajari dianalisis melalui pendekatan sistem dinamis. Simulator manajemen ini akan member kesempatan pada pemain untuk merancang scenario dan mengevaluasi hasil penerapan keputusan di dalam simulator. Pencapaian poin pembelajaran dari simulator telah diuji dengan berhasil dengan dimainkan oleh beberapa mahasiswa

*Kata kunci:* rantai suplai loop tertutup, perencanaan kapasitas, sistem dinamis, simulator manajemen



## ABSTRACT

Name : Rangga Widyatama  
Study Program : Industrial Engineering  
Title : Management simulator design as learning media in capacity planning decision making in closed loop supply chain (Case Study of Returnable Glass Bottle Supply Chain)

Closed loop supply chain is an emerging supply chain method that continually faces several concerns in practice. Capacity planning is strategically one of the factors that relates strongly with the problems. This research designed a management simulator which will aid the learning process in capacity planning activities. The behavior of the system under study is analyzed through a system dynamics model. The management simulator will enable user to make their own decision and then recognize the effect of the condition applied. The simulator's learning points acquisition has been tested satisfactorily by being played by a group of undergraduate students.

*Keywords:* Reverse Supply Chain, capacity planning, management simulator, system dynamics

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUTAN.....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	vii
ABSTRAK/ABSTRACT .....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR RUMUS .....	xiv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah .....	4
1.3 Perumusan Masalah .....	5
1.4 Tujuan Penelitian .....	5
1.5 Batasan Masalah .....	5
1.6 Metodologi Penelitian.....	6
1.7 Sistematika Penelitian.....	9
<b>BAB 2 DASAR TEORI.....</b>	<b>11</b>
2.1 Definisi Simulasi.....	11
2.1.1 Tujuan Simulasi .....	12
2.1.2 Penggunaan Simulasi.....	13
2.1.3 Jenis-Jenis Simulasi .....	14
2.1.3.1 Simulasi Statis atau Simulasi Dinamis.....	15
2.1.3.2 Simulasi Stokastik atau Simulasi Deterministik.....	15
2.1.3.3 Simulasi Diskrit atau Simulasi Kontinu .....	17
2.1.4 Perbedaan Simulasi, Optimasi dan Ekonometri.....	18
2.2 Teori Sistem Dinamis .....	19
2.2.1 Sistem.....	19
2.2.2 Berpikir Sistem .....	20
2.2.3 Sistem Dinamis .....	20
2.2.4 Proses Permodelan Sistem Dinamis.....	22
2.2.5 Sumber Informasi dalam Pembuatan Model Simulasi.....	24
2.2.5.1 Data Tertulis .....	25
2.2.5.2 Data Numerik .....	25
2.2.5.3 Data Mental .....	25
2.2.6 Umpan Balik (Feedback) .....	26
2.2.7 Diagram Loop Sebab-akibat (Causal Loop Diagram) .....	26
2.2.8 Diagram Alir (Stock and Flow Diagram) .....	28
2.2.9 Struktur dan Perilaku Sistem Dinamis.....	31
2.2.10 Validasi Model.....	32

2.2.11 Analisis Sensitivitas Model.....	37
2.3 Permainan Simulasi dan Simulator Manajemen sebagai Media Pembelajaran.....	37
<b>BAB 3 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA .....</b>	<b>39</b>
3.1 Pengumpulan Data Mental.....	39
3.1.1 Pengumpulan Data Mental dari Jurnal Penelitian.....	39
3.1.1.1 Kebutuhan akan penerapan reverse logistics dan model di dalam bidang tersebut, sebuah pemahaman dari jurnal Quantitative models for reverse logistics: A review .....	39
3.1.1.2 Keuntungan Penerapan Rantai Suplai Berkelanjutan, sebuah Pemahaman dari Jurnal Exploring future competitive advantage through sustainable supply chains.....	42
3.1.1.3 Model Sistem Dinamis Sebagai Perangkat Metodologis Perencanaan Kapasitas dalam Rantai Suplai Loop Tertutup, sebuah Pemahaman dari Jurnal A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains .....	43
3.2 Konseptualisasi Model.....	46
3.3 Pengembangan Model.....	50
3.4 Verifikasi dan Validasi Model.....	52
3.5 Penggunaan Model.....	55
<b>BAB 4 ANALISIS .....</b>	<b>61</b>
4.1 Metode Pengujian Pencapaian Poin Pembelajaran .....	61
4.2 Analisis Pencapaian Poin Pembelajaran .....	63
4.2.1 Keterkaitan Antar-variabel yang Kompleks dan Dinamis dalam Rantai Suplai Loop Tertutup.....	64
4.2.2 Efek Penerapan Rantai Suplai Loop Tertutup Terhadap Keuntungan Finansial Rantai Suplai .....	65
4.2.3 Interaksi Antar-variabel yang Menguntungkan bagi Perusahaan dalam Perencanaan Kapasitas .....	66
4.2.4 Faktor Mana yang Berpengaruh pada Hasil Tertentu dalam Lingkungan Dinamis, dan juga Seperti Apa dan Sebesar Apa Pengaruhnya .....	68
<b>BAB 5 KESIMPULAN .....</b>	<b>70</b>
5.1 Kesimpulan .....	70
5.2 Saran .....	71
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>72</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Optimasi, Simulasi dan Ekonometri.....	18
Tabel 2.2 Cara-Cara Validasi Model .....	32
Tabel 2.3 Cara-Cara Validasi Model (Sambungan) .....	33
Tabel 2.4 Cara-Cara Validasi Model (Sambungan) .....	35
Tabel 2.5 Cara-Cara Validasi Model (Sambungan) .....	36
Tabel 3.1 Perbedaan dari Kedua Model.....	50
Tabel 3.2 Tabel Variabel Biaya dalam Simulator.....	58
Tabel 4.1 Korelasi Antar Kuesioner dengan Poin Pembelajaran.....	61
Tabel 4.2 Jawaban Responden terhadap Pertanyaan 1, 2, 4, dan 6.....	64
Tabel 4.3 Jawaban Responden Terhadap Pertanyaan 3 dan 8 .....	65
Tabel 4.4 Jawaban Responden Terhadap Pertanyaan 9 dan 10 .....	66
Tabel 4.5 Jawaban Responden Terhadap Pertanyaan 5 dan 7 .....	68



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah.....	4
Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	8
Gambar 1.3 Diagram Alir Metodologi Penelitian (Lanjutan).....	9
Gambar 2.1 Simulasi Memberikan Cara Virtual dalam Melakukan Eksperimen terhadap Sistem.....	14
Gambar 2.2 Contoh dari Simulasi Deterministik dan Simulasi Stokastik.....	16
Gambar 2.3 Perubahan Keadaan Diskrit Disebabkan oleh Adanya Discrete Event.....	17
Gambar 2.4 Perbandingan antara Discrete-Change Variable dan Continuous-Change Variable.....	18
Gambar 2.5 Proses Sistem Dinamik.....	23
Gambar 2.6 Cara Penulisan Diagram Loop Sebab-Akibat.....	27
Gambar 2.7 Polaritas Hubungan.....	28
Gambar 2.8 Cara Penulisan Diagram Alir.....	29
Gambar 2.9 Analogi Hidrolik.....	30
Gambar 2.10 Representasi Struktur Diagram Alir.....	31
Gambar 2.11 Perilaku Model secara Umum.....	32
Gambar 3.1 Batasan Sistem dalam Model.....	44
Gambar 3.2 Causal Loop Diagram dalam Model.....	45
Gambar 3.3 CLD Poin Pembelajaran.....	47
Gambar 3.4 Moda Referensi dari Observasi.....	49
Gambar 3.5 Diagram Sistem.....	49
Gambar 3.6 Stock and Flow Diagram dari Model.....	52
Gambar 3.7 Grafik Rasio Penggunaan Kembali dan Kapasitas Ketika dalam Model Dimasukkan Nilai Nol pada Periode Peninjauan.....	54
Gambar 3.8 Grafik Rasio Penggunaan Kembali dan Kapasitas Ketika dalam Model Dimasukkan Nilai 1052 pada Periode Peninjauan.....	54
Gambar 3.9 Halaman Intro Antarmuka Simulator.....	56
Gambar 3.10 Halaman Input Antarmuka Simulator.....	56
Gambar 3.11 Halaman Output Finansial Simulator.....	58
Gambar 3.12 Halaman Output Performa Rantai Suplai Simulator.....	59
Gambar 4.1 Pelaksanaan Pilot Testing Simulator.....	63

## DAFTAR RUMUS

Rumus (2.1) Aliran Nilai dalam Stok .....	30
Rumus (2.2) Perubahan Nilai dalam Stok.....	30



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1 Pendahuluan

Bab ini akan memberikan penjelasan mengenai latar belakang masalah, tujuan, dan juga gambaran umum dari penelitian yang dilakukan oleh Penulis.

#### 1.1 Latar Belakang Masalah

Studi di bidang teknik industri belakangan ini telah banyak meningkatkan perhatiannya pada bidang *reverse supply chain*, sebagai salah satu bidang terpenting mengingat besarnya efek ekonomis yang dapat diberikan metode tersebut dan juga tekanan dari berbagai peraturan-peraturan baru dari pemerintah mengenai dampak lingkungan. Meski konsep dasar dari *reverse supply chain*, yaitu kegiatan “penggunaan kembali”, bukanlah sesuatu yang benar-benar baru di dalam dunia industri, metode *reverse supply chain* bersama *reverse logistic* adalah suatu studi yang memberikan kemungkinan-kemungkinan baru yang lebih baik dalam mengelola kegiatan penggunaan kembali yang lebih efektif serta efisien, yang pada akhirnya akan berpengaruh pada peningkatan keuntungan secara ekonomis di masa depan. Dalam Council of Logistic Management (CLM) oleh Stock (1992), *reverse logistic* didefinisikan sebagai istilah yang digunakan mengacu kepada peran logistik dalam mendaur-ulang, pembuangan sampah, pengelolaan bahan-bahan berbahaya; sebuah perspektif yang lebih luas termasuk semua masalah yang berhubungan dengan kegiatan logistik yang dilakukan dalam rangka pengurangan sumber daya mentah, daur ulang, substitusi, penggunaan kembali material dan pembuangan.

Penerapan sistem *reverse logistic* (pengiriman kembali barang produksi ke produsen) pada bahan kemasan yang dapat digunakan kembali melalui proses *remanufacturing* memang memiliki banyak keuntungan, terutama dari segi biaya (proses *remanufacturing* jelas lebih murah dibandingkan dengan pembelian bahan baku baru) dan pencitraan yang baik terhadap masyarakat mengenai kepedulian terhadap daur ulang dan keterbatasan sumber daya alam. Pembahasan lebih lanjut mengenai keunggulan kompetitif dari penggunaan sistem ini bersama rantai suplai

yang sustainabel dapat dilihat pada Markley dan Davis (2007), sementara pengukuran performa pengelolaan rantai suplai hijau dapat dilihat pada Hervani dan Helms (2005).

Namun, penerapan sistem tersebut memiliki beberapa masalah pada beberapa sektor seperti pada manajemen rantai suplai produk, terutama pada perencanaan kapasitas. Dalam perencanaan kapasitas pada produk dengan alternatif input bahan kemasan seperti pada penggunaan *Returnable Glass Bottle*, seringkali sulit dilakukan pengambilan keputusan yang tepat untuk mengantisipasi jumlah kembali *Returnable Glass Bottle* yang sulit diduga dan tanpa pola pada proses *remanufacturing*, sementara pemesanan bahan baku kemasan baru juga tetap harus dilakukan. Hal ini menjadi sangat vital mengingat di tengah kompetitifnya industri saat ini, di mana kesalahan pengambilan keputusan dalam perencanaan kapasitas dapat mengakibatkan kelebihan ruang dalam gudang (yang pada akhirnya meningkatkan biaya persediaan, sehingga skala kapasitas *remanufacturing* tidak ekonomis, yang ditandai dengan tidak tercapainya penurunan biaya rata-rata per unit output.) atau malah kekurangan tempat untuk menyimpan persediaan karena jumlah pengembalian barang hasil *remanufacturing* lebih besar dari dugaan, sementara pemesanan dalam jumlah besar sudah terlanjur dilakukan.

Selain itu, perencanaan kapasitas dan penerapan *reverse logistic* adalah suatu sistem yang banyak berinteraksi dengan banyak faktor lain seperti fluktuasi permintaan, perubahan peraturan pemerintah mengenai kebijakan daur ulang, dan biaya persediaan, sehingga suatu keputusan yang salah dapat berefek berantai pada banyak sektor lainnya seperti penjualan dan distribusi. Kesalahan pengambilan keputusan pada perencanaan kapasitas *remanufacturing* dalam jangka panjang dapat berdampak pada pengeluaran biaya yang berlebihan untuk penambahan gudang atau *overtime* mesin produksi, dan lain-lain

Pemahaman mengenai pengambilan keputusan dalam perencanaan kapasitas di dalam *reverse logistic* menjadi semakin penting, karena keputusan mengenai perencanaan kapasitas bukanlah suatu keputusan yang mudah untuk diubah seketika saat gagal berjalan dengan baik. Bisa dibilang, perencanaan kapasitas tidak memberikan kesempatan sedikitpun untuk kegagalan. Untuk



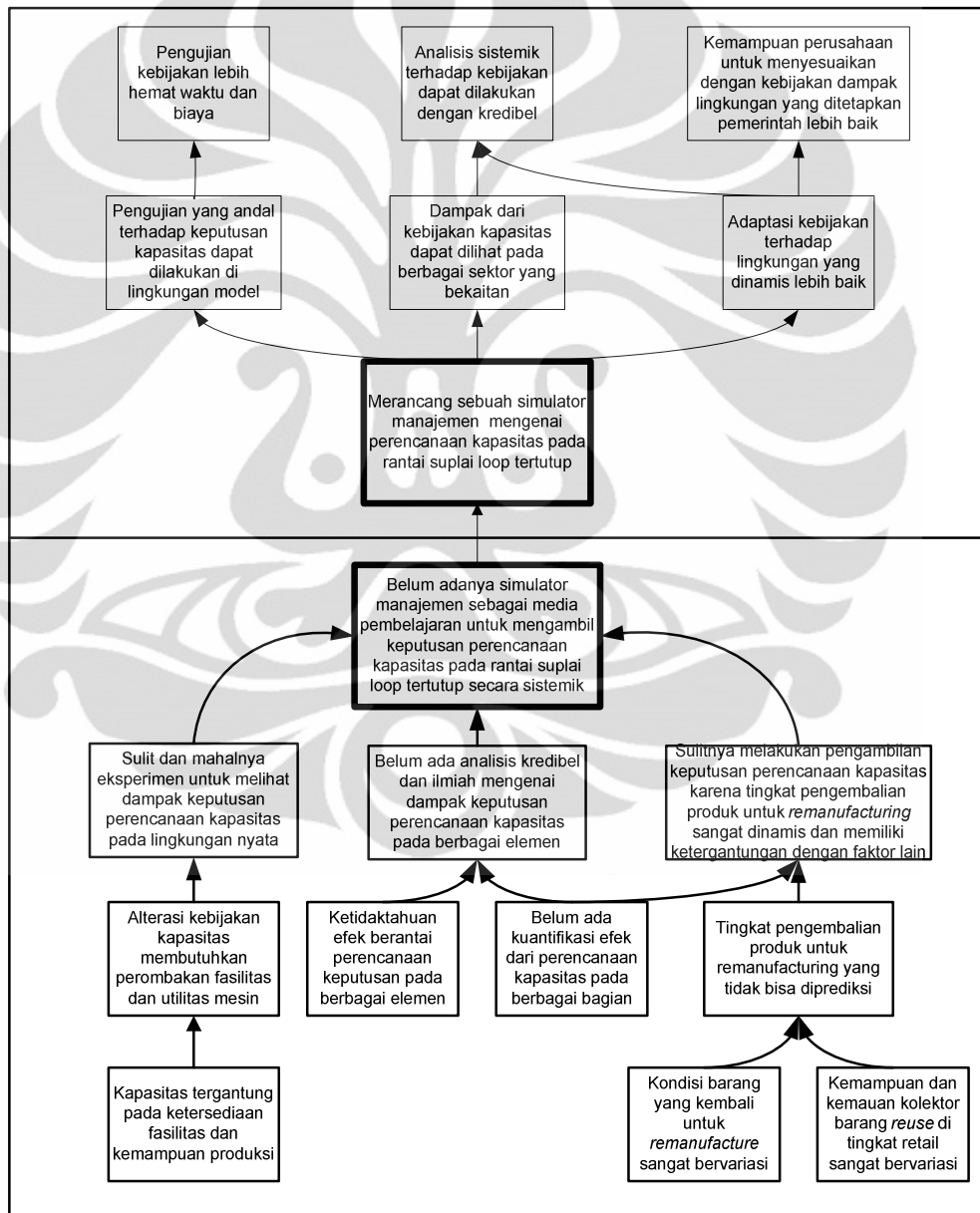
mencegah kesalahan yang amat sulit diperbaiki tersebut, diperlukan metode pembelajaran yang baik dan akurat mengenai perencanaan kapasitas. Namun, ketidak-fleksibel-an dari kapasitas juga menyulitkan pembelajaran, karena amat tidak mungkin melakukan “percobaan” pada kapasitas dari sebuah sistem manufaktur, karena efeknya yang begitu besar dan kompleks serta biaya yang sangat tinggi.

Dengan menggunakan pendekatan sistem dinamis, analisis terhadap efek berantai dengan berbagai dinamika tak terduga pada permintaan dan pengembalian *Returnable Glass Bottle* dapat dimungkinkan. Penelitian mengenai perencanaan kapasitas dengan menggunakan metode sistem dinamis pernah dilakukan Vlachos (2005), yang mengembangkan model dinamis mengenai perencanaan kapasitas *remanufacturing* dalam rantai suplai *loop* tertutup dengan menggunakan pasar ponsel Eropa yang menggunakan sistem *reverse supply chain*. Vlachos menitikberatkan penelitiannya pada penemuan perangkat metodologis untuk membantu pengambilan keputusan perencanaan kapasitas. Penulis akan mengembangkan model untuk menciptakan suatu media pembelajaran yang baik yang menangkap perilaku dinamis dalam sistem. Model yang dibangun merupakan model kuantitatif seperti hasil kerja Fleischmann (2000), namun penelitian ini akan menggunakan pendekatan sistem dinamis.

Model sistem dinamis yang telah dikembangkan akan digunakan sebagai dasar pembuatan simulator manajemen yang akan menjadi media pembelajaran untuk pengambilan keputusan perencanaan kapasitas *remanufacturing* pada sistem produksi yang menerapkan rantai suplai *loop* tertutup. Dengan menggunakan permainan yang dikembangkan, pemain akan dapat mengetahui pola perilaku sebagai efek dari tindakan dan keputusan yang diambil dalam perencanaan kapasitas *remanufacturing* dalam rantai suplai *loop* tertutup, serta dapat belajar dengan baik dengan merasakan sendiri efek dari keputusan yang diambil dalam dunia simulasi, tanpa perlu melakukan alterasi yang mahal pada dunia nyata untuk mencoba efek keputusan.

## 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Permasalahan di dalam penelitian ini adalah suatu sistem di mana masing-masing faktornya berkaitan satu sama lain. Diagram Keterkaitan Masalah dapat memberikan gambaran utuh mengenai interaksi antar-submasalah, serta keterkaitannya. Berikut adalah Diagram Keterkaitan Masalah yang dibuat berdasarkan gambaran umum pada latar belakang di atas, yang ditampilkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah

### 1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan diagram keterkaitan masalah yang telah dibahas, maka penelitian ini dilakukan dengan cakupan masalah belum adanya simulator manajemen sebagai media pembelajaran untuk mengetahui dampak keputusan pada perencanaan kapasitas pada rantai suplai loop tertutup secara sistemik.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang sebuah simulator manajemen yang dapat menjadi suatu media pembelajaran pengambilan keputusan dalam perencanaan kapasitas pada rantai suplai yang menerapkan *reverse logistic*.

### 1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah agar pelaksanaan serta hasil yang akan diperoleh sesuai dengan tujuan pelaksanaannya. Adapun batasan masalahnya adalah:

- Penelitian dilakukan pada perusahaan yang menerapkan *reverse logistic* dengan sistem *remanufacturing* pada produk terpakai.
- Simulator manajemen dibatasi pada sistem rantai suplai loop tertutup yang dikelola sendiri oleh perusahaan, dan pada kegiatan remanufaktur 1 tahap dan dikelola oleh perusahaan itu sendiri.
- Simulator manajemen yang akan dibuat dalam tujuan memaksimalkan performa rantai suplai dan meraih keunggulan finansial dari kegiatan dalam rantai suplai.
- Data yang digunakan merupakan berupa data primer dari hasil peninjauan lapangan, dan data sekunder dari literatur-literatur yang berhubungan.
- Simulator manajemen dibuat dengan target pengguna adalah pemegang keputusan perencanaan kapasitas beserta pekerja yang berkaitan langsung dengan perencanaan kapasitas, dan mahasiswa di bidang teknik.
- Simulasi akan dijalankan hingga rentang waktu 300 minggu dari saat ini, untuk melihat dampak jangka panjang dari keputusan yang diambil.

## 1.6 Metodologi Penelitian

Berikut ini akan dijelaskan mengenai metodologi atau langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian. Metodologi penelitian ini terdiri atas tahapan yang antara lain adalah sebagai berikut:

### 1. Penentuan Topik Penelitian.

Topik dari riset yang akan dijalankan didapatkan melalui diskusi dengan pembimbing skripsi. Topik dari riset ini adalah Perancangan Simulator manajemen Sebagai Media Pembelajaran Pengambilan Keputusan Perencanaan Kapasitas Pada Rantai Suplai *Loop* Tertutup. Hasil akhir dan ruang lingkup riset juga akan diidentifikasi pada bagian ini sehingga riset dapat terarahkan dan memiliki fokus yang jelas.

### 2. Pembahasan Landasan Teori

Dalam fase ini, landasan teori yang akan digunakan dalam menyelesaikan masalah yang diajukan akan ditentukan. Landasan teori ini menjadi referensi dan metode dasar dalam melaksanakan riset dan pencapaian tujuan. Adapun landasan teori yang terkait adalah dasar teori simulator manajemen, dasar teori sistem dinamis, dan dasar teori pembuatan kebijakan.

### 3. Pengumpulan dan pengolahan data yang dibutuhkan

Pada tahap ini, penulis mencari data primer mengenai penerapan *reverse supply chain* pada dunia industri, dan juga data sekunder yang didapatkan dari referensi dari jurnal dan sumber lainnya, serta mempelajari model simulasi dari perencanaan kapasitas pada sistem *reverse supply chain* hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

### 4. Tahap Konseptualisasi

Dalam tahap ini terdiri dari empat kegiatan utama yaitu:

- a. Pembentukan *mental model* melalui *Causal Loop Diagram* dan *Stock and Flow Diagram*.
- b. Penyusunan moda acuan untuk melihat perilaku seiring waktu. Adapun moda acuan yang digunakan adalah kapasitas *remanufacturing* dan kapasitas koleksi barang terpakai – *market share*,

- c. Pengambilan hipotesis dinamis dan poin pembelajaran berdasarkan moda acuan yang sudah disusun.
- d. Penentuan batasan dan asumsi yang digunakan dalam model.

#### 5. Tahap Formulasi

Dalam tahap ini SFD yang sudah didapat diformulasikan kedalam perangkat lunak simulasi untuk kemudian dilakukan perancangan simulator manajemen yang sesuai dengan tujuan.

#### 6. Tahap Verifikasi dan Validasi

Ketika perancangan permainan telah selesai dilakukan, maka dilakukan tahap pengujian terhadap model yang digunakan dalam permainan untuk memperoleh verifikasi atas kevalidan model yang digunakan. Terdapat 2 pengujian yang dilakukan yaitu pengujian perilaku dan pengujian numerik.

#### 7. Tahap Distribusi Pengetahuan

Untuk mencapai tujuan riset ini yaitu membuat simulator manajemen yang menjadi media pembelajaran yang efektif, maka dilakukan pengujian pemahaman pengetahuan melalui penggunaan permainan pada beberapa mahasiswa .

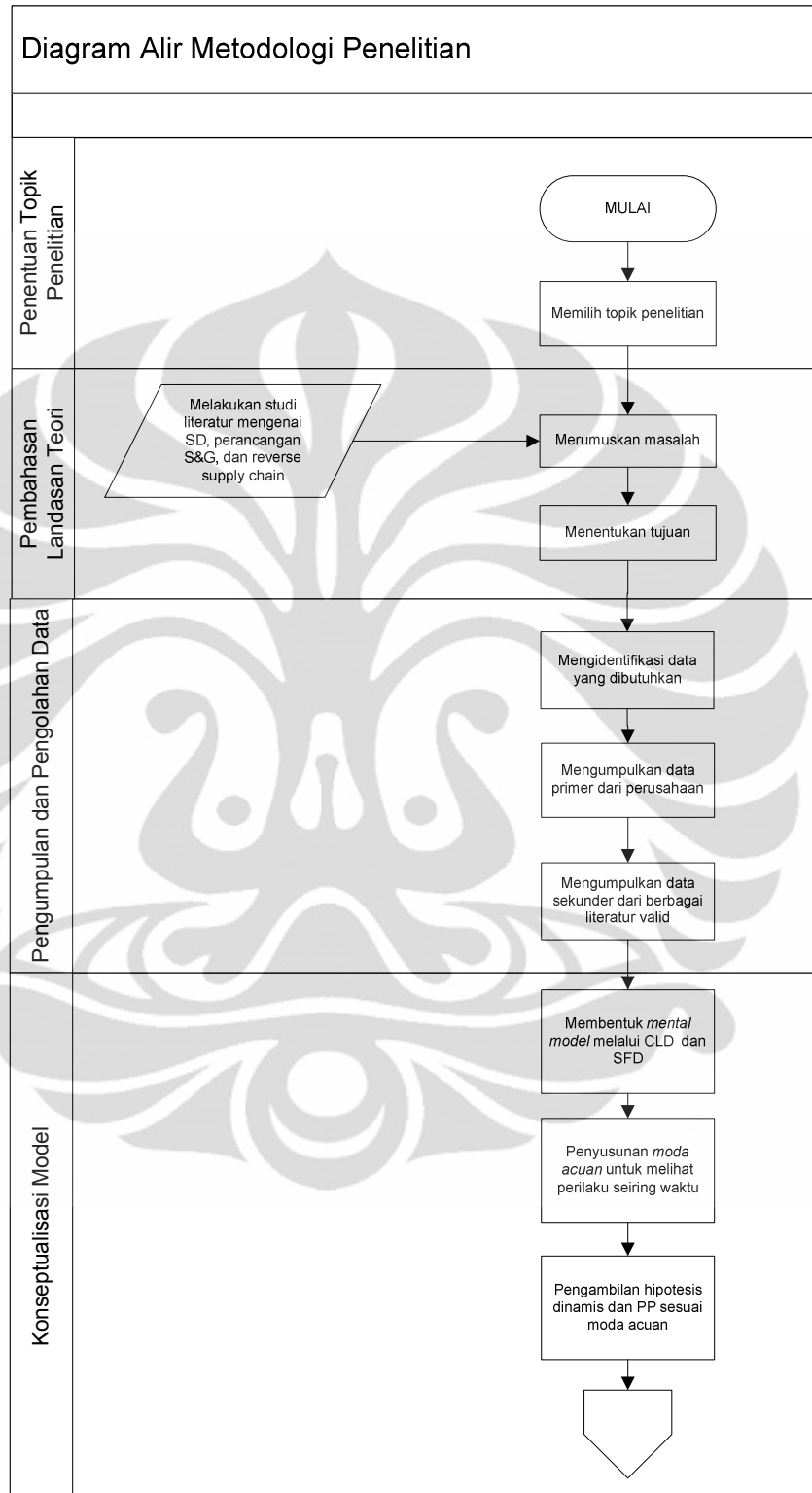
#### 8. Analisa Hasil Distribusi Pengetahuan

Dalam tahap ini tingkat keberhasilan dari permainan akan dievaluasi terutama mengenai bagaimana dan seberapa banyak poin pembelajaran tersampaikan pada para pemain.

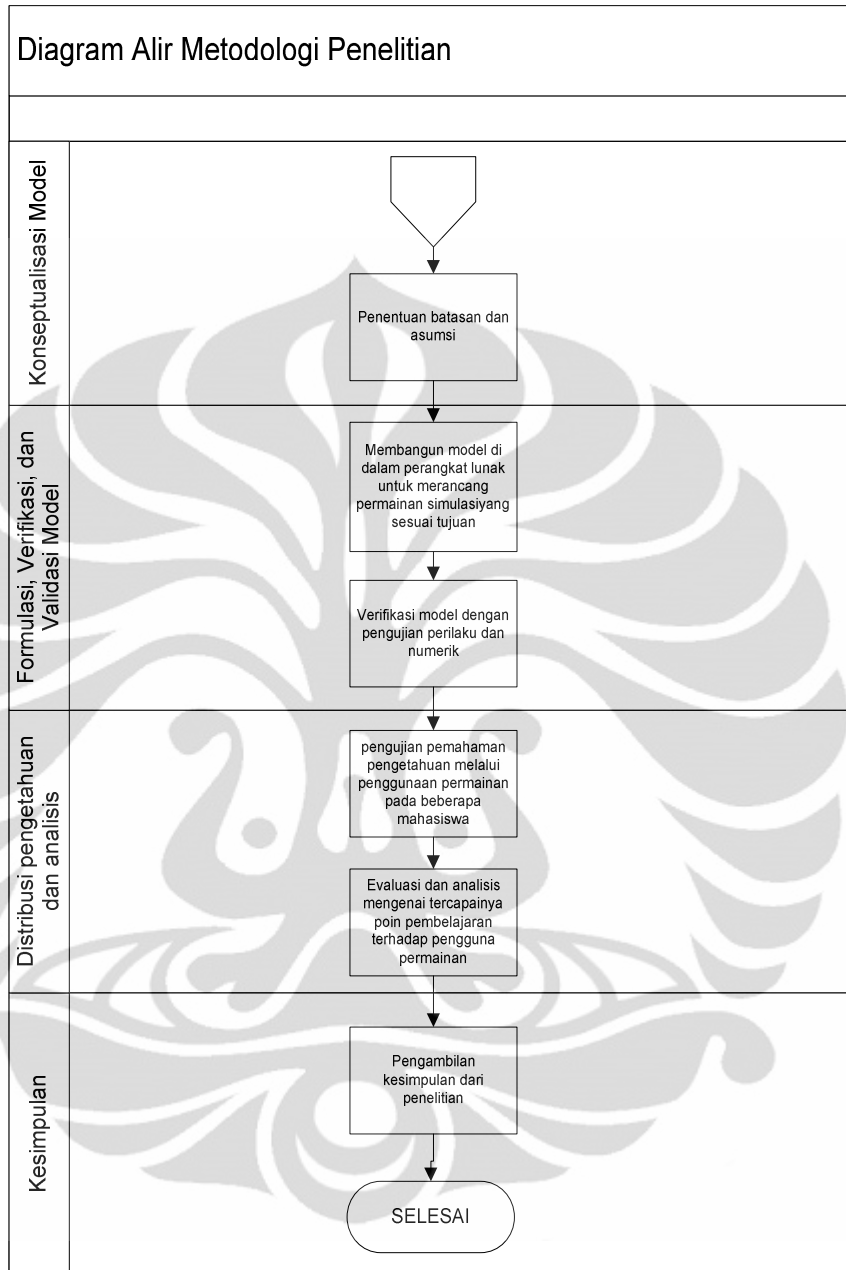
#### 9. Hasil dan Kesimpulan.

Pada tahap ini dilakukan pengambilan kesimpulan.

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai metodologi penelitian tahap demi tahap, penulis memberikan gambar visual berupa diagram alir metodologi penelitian sebagai berikut:



**Gambar 1.2** Diagram Alir Metodologi Penelitian



**Gambar 1.3** Diagram Alir Metodologi Penelitian (Lanjutan)

### 1.7 Sistematika Penelitian

Skripsi ini dibagi menjadi 6 bab yang disusun secara sistematis sesuai dengan tahap-tahap yang dilakukan penulis dalam melakukan riset.

Bab pertama merupakan pendahuluan dari laporan. Bab ini berisi latar belakang permasalahan, diagram keterkaitan masalah, perumusan masalah, tujuan

penelitian, ruang lingkup atau atasan penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab kedua adalah tinjauan atas teori-teori dan literatur yang terkait dengan objek penelitian skripsi. Teori-teori ini akan digunakan sebagai dasar cara berpikir dan pemecahan masalah dalam riset. Di dalam riset ini, teori-teori yang digunakan adalah teori simulator manajemen, teori sistem dinamis, serta teori pembuatan kebijakan.

Bab ketiga adalah mengenai pengumpulan dan pengolahan data. Pada bagian awal dibahas mengenai data tertulis dan data mental yang dikumpulkan dalam usaha mendapatkan gambaran valid mengenai objek skripsi. Pembahasan kemudian dilanjutkan dengan perancangan model simulasi, perancangan model dinamis dibahas secara bertahap dari proses awal pembuatan *causal loop diagram* yang menggambarkan hubungan sebab-akibat dari variabel-variabel yang ada serta *stock and flow diagram* sebagai dasar dari pembuatan model simulasi sistem dinamis yang dibuat. Simulator akan dibangun menggunakan model tersebut, yang dirancang sesuai poin pembelajaran dan diagram sistem yang telah dibuat.

Bab keempat adalah analisis hasil pengujian simulator pada pengguna dan pencapaian poin pembelajaran yang didapat oleh pengguna. Pencapaian poin pembelajaran akan diukur dari kemampuan pengguna untuk menjawab pertanyaan mengenai poin pembelajaran yang ditargetkan.

Bab kelima adalah bagian kesimpulan. Bab ini merangkum keseluruhan proses penelitian yang dilakukan serta hasil dan analisa yang diperoleh dari model simulasi yang dibuat. Diharapkan model yang telah dibuat dapat menjadi media pembelajaran yang efektif dalam perencanaan kapasitas pada rantai suplai *loop* tertutup. Pada bagian akhir dibahas mengenai saran untuk penelitian berikutnya.



## BAB 2 DASAR TEORI

### 2 Dasar Teori

Bab ini menjelaskan mengenai dasar-dasar teori yang digunakan di dalam penelitian yang dilakukan. Teori ini akan meliputi teori mengenai simulasi, pendekatan sistem dinamis, dan juga permainan simulasi

#### 2.1 Definisi Simulasi

Berdasarkan *Oxford American Dictionary* (1980), simulasi didefinisikan sebagai cara “untuk mereproduksi kondisi dari suatu situasi, dengan menggunakan sebuah model atau peraga, untuk keperluan penelitian, percobaan, atau latihan”. Dalam hal ini, definisi ini lebih ditekankan pada mereproduksi sifat operasional dari suatu sistem dinamis.

Model yang akan digunakan pada penelitian ini menggunakan model komputer (*computer model*). Simulasi dalam konteks ini dapat didefinisikan sebagai imitasi dari sistem dinamis dengan menggunakan model komputer untuk mengevaluasi dan kemudian menganalisis kemungkinan untuk melakukan perbaikan terhadap kinerja sistem. Menurut Schriber (1987), simulasi adalah suatu aktivitas memodelkan suatu proses atau sistem sedemikian sehingga model yang dibuat memiliki respon yang menyerupai sistem aktual terhadap kejadian-kejadian yang terjadi seiring berjalannya waktu.

Simulasi komputer umumnya dibuat dengan menggunakan perangkat lunak simulasi komersial yang memiliki sistem konstruksi model yang dirancang secara spesifik untuk menangkap perilaku dinamis dari suatu sistem. Statistik kinerja sistem dinamis selama jalannya simulasi dikumpulkan dan secara otomatis diringkas dalam bentuk rangkuman statistik untuk memudahkan analisis. Pada umumnya perangkat lunak simulasi modern mampu memberikan gambaran secara realistis mengenai perilaku sistem dengan memungkinkan adanya animasi grafis.

Selama jalannya simulasi, *user* dapat secara interaktif mengatur kecepatan simulasi dan bahkan melakukan perubahan pada nilai parameter model untuk melakukan analisis “bagaimana-jika” (*“what-if” analysis*). Teknologi simulasi

juga memungkinkan kemampuan untuk melakukan optimalisasi. Bagaimanapun, optimalisasi ini tidak terjadi karena simulasi itu sendiri, melainkan karena adanya skenario-skenario yang memenuhi kendala-kendala kemungkinan yang ada sehingga model dapat dijalankan secara otomatis dan dianalisa dengan menggunakan algoritma mencapai tujuan secara khusus.

### 2.1.1 Tujuan Simulasi

Simulasi menyediakan suatu cara untuk memvalidasi apakah suatu keputusan yang telah dibuat merupakan keputusan yang terbaik. Simulasi menghindarkan akan metode tradisional yang mahal, memakan waktu, dan menghabiskan banyak sumber daya. Dengan penekanan pada kondisi yang ada sekarang ini, metode pengambilan keputusan tradisional dengan cara *trial-and-error* sudah dianggap tidak sesuai lagi.

Kemampuan simulasi terletak pada fakta bahwa simulasi menyediakan suatu metode analisis yang tidak hanya formal dan prediktif, tetapi juga secara akurat mampu mengevaluasi kinerja dari suatu sistem, bahkan sistem yang paling kompleks sekalipun. Dengan kondisi persaingan pasar saat ini yang menuntut “*getting it right the first time*”, pentingnya simulasi menjadi semakin jelas agar tidak dilakukan permulaan yang keliru.

Dengan menggunakan komputer untuk memodelkan suatu sistem sebelum sistem itu dibuat atau untuk melakukan uji operasi sebelum sistem itu benar-benar diimplementasikan, kesalahan-kesalahan yang kerap kali ditemukan pada saat suatu sistem yang baru dijalankan atau saat memodifikasi sistem yang lama dapat dihindari. *Improvement* yang pada umumnya dengan metode tradisional dapat memakan waktu berbulan-bulan bahkan bertahun-tahun dapat dicapai dengan waktu hitungan hari bahkan jam. Hal ini dimungkinkan karena simulasi berjalan dalam waktu yang dikompresi (*compressed time*) di mana waktu mingguan dari suatu sistem dapat disimulasikan dalam beberapa menit bahkan beberapa detik.

Karakteristik dari suatu simulasi yang menyebabkan simulasi dianggap sebagai *tool* yang efektif untuk perencanaan dan pengambilan keputusan antara lain adalah sebagai berikut:

- Kemampuan menangkap saling ketergantungan di dalam sistem.
- Kemampuan menggambarkan variasi di dalam sistem.

- Kemambuan untuk memodelkan sistem apapun.
- Kemampuan menunjukkan perilaku terhadap waktu.
- Memakan biaya dan waktu yang lebih rendah serta menggunakan sumber daya yang lebih efisien dibandingkan dengan metode tradisional yang melakukan eksperimen secara langsung pada sistem aktual.
- Kemampuan menyediakan informasi pada pengukuran kinerja yang berbeda-beda.
- Kemampuan visual yang menarik dan memancing keingintahuan dari orang-orang.
- Kemampuan menyajikan hasil yang mudah dimengerti dan mudah dikomunikasikan.
- Kemampuan untuk mengkompresikan waktu.
- Menuntut perhatian untuk diberikan pada detail perancangan.

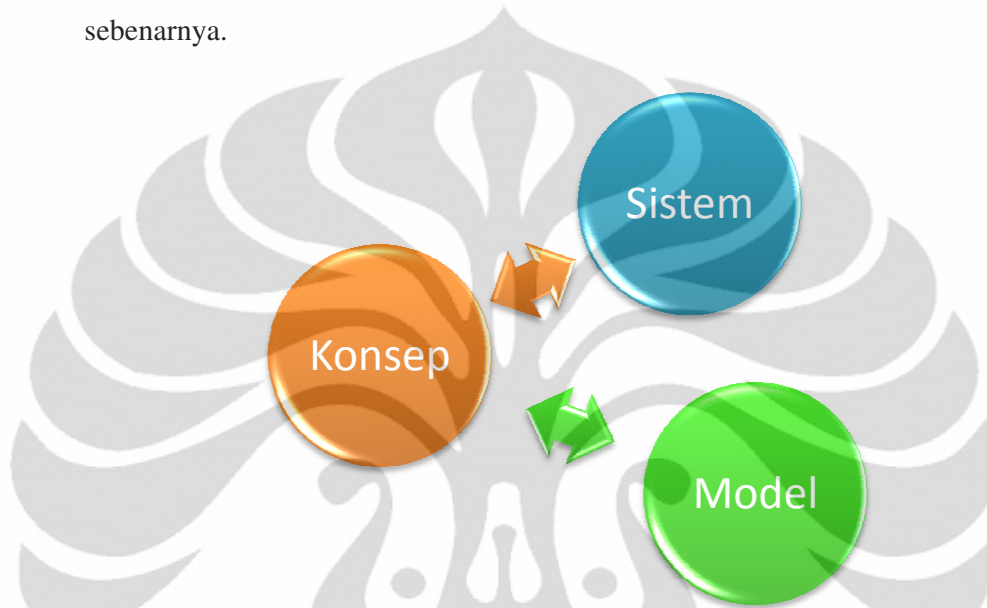
Karena simulasi dapat menggambarkan adanya saling ketergantungan (*interdependencies*) dan variasi, simulasi dapat memberikan pandangan yang mendalam mengenai dinamika yang kompleks dari suatu sistem yang tidak dapat diperoleh dengan menggunakan teknik analisis lainnya.

Simulasi memberikan kebebasan bagi perencana sistem untuk mencoba bermacam-macam ide yang berbeda untuk *improvement* dengan resiko yang nihil, yakni tidak menimbulkan biaya, tidak memakan waktu, dan tidak menimbulkan gangguan terhadap sistem aktual yang ada. Simulasi juga mampu menyajikan hasil secara visual dan kuantitatif dengan statistik kinerja yang tercatat secara otomatis dengan menggunakan bermacam-macam metrik pengukuran. Simulasi dapat dikerjakan dengan informasi yang tidak akurat, tetapi simulasi tidak dapat dibuat dengan data yang tidak lengkap.

### 2.1.2 Penggunaan Simulasi

Simulasi hampir selalu dilaksanakan sebagai bagian dari proses dalam perancangan sistem atau perbaikan proses yang besar. Alternatif-alternatif solusi akan dihasilkan dan kemudian dievaluasi, setelah itu solusi yang terbaik akan dipilih dan diimplementasikan.

Simulasi pada dasarnya adalah sebuah *tool* yang digunakan untuk eksperimentasi di mana model komputer dari sistem yang baru atau sistem yang sudah ada dibuat dengan tujuan untuk melakukan eksperimen. Model ini berperan sebagai pengganti dari sistem yang sebenarnya. Pengetahuan yang diperoleh dengan melakukan eksperimen pada model dapat ditransfer ke sistem yang sebenarnya.



**Gambar 2.1** Simulasi Memberikan Cara Virtual dalam Melakukan Eksperimen terhadap Sistem

(Sumber: Bowden, et. al., 2000, hal. 9)

Menjalankan simulasi adalah sebuah proses merancang model dari sistem yang nyata dan melakukan eksperimen dengan model ini. Melakukan eksperimen pada model akan mengurangi waktu, biaya, dan kerusakan jika dibandingkan dengan eksperimen yang dilakukan pada sistem aktual. Bertolak dari hal ini, simulasi dapat dianggap sebagai *virtual prototyping tool* untuk mendemonstrasikan bukti dari konsep yang ada

### 2.1.3 Jenis-Jenis Simulasi

Cara simulasi bekerja didasarkan terutama pada jenis dari simulasi yang digunakan. Terdapat banyak pemahaman dalam mengkategorikan simulasi. Beberapa pemahaman yang umum adalah simulasi statis atau simulasi dinamis, simulasi stokastik atau simulasi deterministik, serta simulasi diskrit atau simulasi kontinu.

### 2.1.3.1 Simulasi Statis atau Simulasi Dinamis

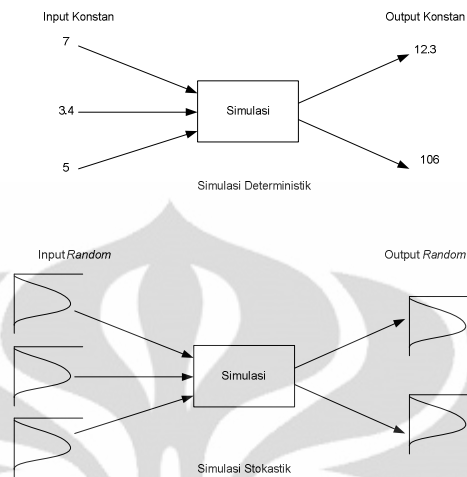
Simulasi statis adalah simulasi yang tidak didasarkan atas waktu. Simulasi ini seringkali melibatkan *random sampling* untuk menghasilkan hasil statistik sehingga simulasi ini kerap kali disebut dengan simulasi *Monte Carlo*.

Sebaliknya, simulasi dinamis mengikutsertakan di dalamnya aliran waktu. Keadaan yang ada di dalam sistem akan berubah seiring dengan jalannya waktu. Karena sifat ini, simulasi dinamis tepat untuk digunakan untuk menganalisa sistem manufaktur dan sistem jasa.

### 2.1.3.2 Simulasi Stokastik atau Simulasi Deterministik

Simulasi di mana satu atau lebih variabel *input* di dalamnya bersifat *random* disebut dengan simulasi stokastik atau probabilistik. Simulasi stokastik menghasilkan *output* yang juga bersifat *random* dan karenanya hanya memberikan satu *data point* mengenai bagaimana perilaku dari sistem.

Sementara itu simulasi yang tidak mempunyai komponen *input* yang bersifat *random* dapat dikatakan sebagai simulasi deterministik. Model simulasi deterministik pada umumnya serupa dengan model stokastik, hanya saja model simulasi deterministik tidak memiliki *randomness*. Dalam simulasi deterministik, semua keadaan ke depan ditentukan begitu data *input* dan keadaan awal telah didefinisikan.



**Gambar 2.2** Contoh dari Simulasi Deterministik dan Simulasi Stokastik

(Sumber: Bowden, et. al., 2000, hal. 49)

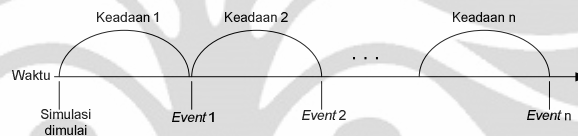
Seperti yang dilihat pada gambar 2.2, simulasi deterministik memiliki *input* konstan dan menghasilkan *output* yang bersifat konstan pula. Sementara itu, simulasi stokastik memiliki *input random* dan menghasilkan *output* yang juga *random*. *Input* yang ada meliputi waktu aktivitas, interval kedatangan, dan urutan *routing*. Sementara itu *output* yang ada meliputi metrik-metrik seperti waktu aliran rata-rata, *flow rate*, dan *resource utilization*. *Output* apapun yang dihasilkan oleh *variable input* yang bersifat *random* akan juga menjadi variabel yang bersifat *random*.

Simulasi deterministik akan selalu mengeluarkan hasil yang sama tidak peduli berapa kali simulasi itu dijalankan. Dalam simulasi stokastik, beberapa replikasi harus dibuat untuk memperoleh perkiraan kinerja yang akurat karena setiap replikasi bervariasi antara satu dengan lainnya secara statistik. Estimasi kinerja dari simulasi stokastik diperoleh dengan menghitung nilai rata-rata dari metrik kinerja yang ada di antara replikasi-replikasi. Sebaliknya, simulasi deterministik hanya perlu dijalankan satu kali untuk memperoleh hasil yang akurat karena hasil yang diperoleh akan selalu sama.

### 2.1.3.3 Simulasi Diskrit atau Simulasi Kontinu

Simulasi terkadang dapat dikategorikan sebagai simulasi diskrit (*discrete-event simulation*) atau simulasi kontinu (*continuous simulation*). Sebuah simulasi diskrit merupakan simulasi di mana perubahan terjadi pada titik-titik diskrit di dalam waktu yang dipicu oleh adanya *event*. *Event* yang dimaksudkan dapat berupa:

- Kedatangan *entity* ke dalam *workstation*.
- Kegagalan kerja dari *resource*.
- Selesaiannya suatu aktivitas.
- Akhir dari *shift* kerja.

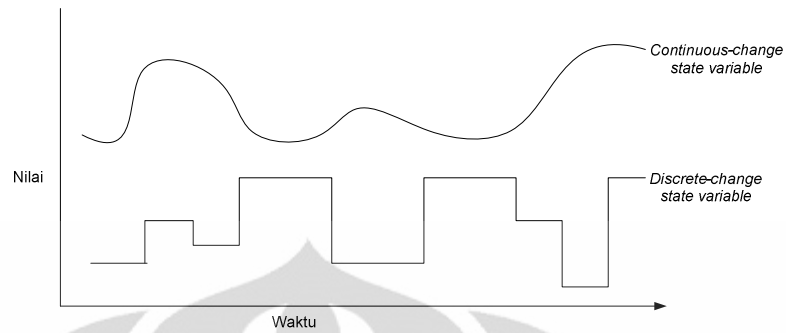


**Gambar 2.3** Perubahan Keadaan Diskrit Disebabkan oleh Adanya Discrete Event

(Sumber: Bowden, et. al., 2000, hal. 49)

Perubahan keadaan di dalam model terjadi pada saat beberapa *event* terjadi, seperti yang terlihat pada gambar di atas. Keadaan dari model menjadi keadaan kolektif dari semua elemen-elemen di dalam model pada suatu waktu tertentu. Variabel keadaan (*state variable*) yang terdapat di dalam simulasi diskrit disebut dengan *variable* perubahan keadaan diskrit (*discrete-change state variable*).

Di dalam simulasi kontinu, variabel keadaan berubah secara kontinu seiring dengan berjalannya waktu dan karenanya dinamakan *variable* perubahan keadaan kontinu (*continuous-change state variable*). Gambar di bawah ini menunjukkan perbandingan antara *discrete-change state variable* dan *continuous-change state variable* yang berubah terhadap waktu.



**Gambar 2.4** Perbandingan antara Discrete-Change Variable dan Continuous-Change Variable

(Sumber: Bowden, et. al., 2000, hal. 50)

#### 2.1.4 Perbedaan Simulasi, Optimasi dan Ekonometri

Didalam tulisannya yang berjudul *A Skeptic's Guide to Computer Models*, John Sterman mencoba untuk memberikan rangkuman tentang perbedaan dari tiga buah alat yang sering digunakan untuk melakukan permodelan, rangkuman tersebut dapat dilihat pada table di bawah ini.

**Tabel 2.1** Perbedaan Optimasi, Simulasi dan Ekonometri

Differences	a Brief Review on Optimization, Simulation and Econometrics		
	Optimization	Simulation	Econometrics
Purpose	The output of an optimization model is a statement of the best way to accomplish some goal	The purpose of simulations may be foresight (predicting how systems might behave in the future under assumed conditions) or policy design	Measure economic relationships, and it originally involved statistical analysis of economic data.
Parts	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Objective Function</li> <li>- Decision Variables</li> <li>- Constraints</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Representation of the physical world relevant to the problem under study</li> <li>- Portrait the behavior of the actors in the system</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Specification</li> <li>- Estimation</li> <li>- Forecasting</li> </ul>
Limitations	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Specification of Objective Values Bias</li> <li>- Produce Linear Behavior</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Accuracy of the Decision Rules</li> <li>- Limitations of Soft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Static Behavior</li> <li>- Irony of</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lack of Feedback</li> <li>- Lack of Dynamics</li> </ul>	<b>Variables</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Broad Model Boundaries</li> </ul>	<b>Equilibrium</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lack of Feedback</li> <li>- Lack of Dynamics</li> </ul>
--	--	---	---

## 2.2 Teori Sistem Dinamis

Di dalam penelitian ini digunakan pendekatan sistem dinamis, oleh karena itu diperlukan penjelasan lebih lanjut mengenai teori ini.

### 2.2.1 Sistem

Secara luas sistem dapat didefinisikan sebagai keseluruhan interaksi antar unsur dari sebuah obyek dalam batas lingkungan tertentu yang bekerja untuk mencapai tujuan tertentu. Beberapa contoh sistem antara lain sistem perbintangan, ekosistem, sistem lalu lintas, sistem politik, sistem ekonomi, sistem manufaktur, dan sistem jasa.

Suatu sistem setidaknya terbentuk atas elemen-elemen sebagai berikut:

- Komponen-komponen atau bagian-bagian penyusun suatu sistem
- Interaksi antar komponen-komponen
- Tujuan bersama atas interaksi-interaksi antar komponen-komponen
- Lingkungan atau batasan sistem (*system boundary*)

Berdasarkan pengaruh hasil keluaran (*output*) sistem terhadap kondisi sistem, maka sistem dapat dibedakan menjadi:

- Sistem terbuka

Sistem terbuka ialah suatu sistem dimana *output* merupakan hasil dari *input*, walaupun demikian *output* terpisah dan tidak memiliki pengaruh terhadap *input* awal. Sistem ini tidak mengamati maupun bereaksi dengan performanya sendiri sehingga tidak memiliki kendali atas perilakunya di masa mendatang.

- Sistem tertutup

Sistem tertutup disebut juga *feedback* sistem, yaitu sistem yang memiliki struktur *loop* yang tertutup yang membawa hasil dari tindakan di masa lalu (*output* sebelumnya) kembali untuk mengendalikan tindakan (*input* saat ini) di masa mendatang. Sebuah *loop* umpan balik membutuhkan dua faktor penting untuk menjalankan operasinya yakni perbedaan antara hasil aktual dengan hasil

yang diinginkan, serta aturan atau kebijakan yang menentukan aksi yang akan dilakukan terhadap suatu nilai perbedaan.

### 2.2.2 Berpikir Sistem

Untuk memahami apa itu sistem dinamis perlu diketahui terlebih dahulu apa itu berpikir sistem (*system thinking*) karena berpikir sistem merupakan konsep dasar dari pemahaman terhadap sistem dinamis. Berpikir sistem merupakan suatu konsep di mana suatu sistem hanya dapat dipahami jika dilihat secara keseluruhan sebagai suatu integritas.

”Berpikir sistem adalah kemampuan untuk melihat dunia sebagai suatu sistem yang kompleks, yang kita mengerti bahwa ’kita tidak dapat melakukan hanya satu hal’ dan bahwa ’segala sesuatu berkaitan dengan segala sesuatu.’” (Serman, 2000, hal. 4).

Berdasarkan berpikir sistem, kita tidak dapat memahami suatu individu sebagai komponen dari sistem untuk dapat memahami sistem secara keseluruhan, sebab sistem memiliki karakteristik unik yang tidak dimiliki oleh komponen-komponen dari sistem tersebut. Karakteristik ini terbentuk karena adanya interaksi-interaksi antar komponen-komponen dalam sistem tersebut.

Dalam memahami sistem ada dua cara yang umum dilakukan:

- Mempelajari/menganalisis bagaimana komponen-komponen dari sistem bekerja sehingga kita mendapatkan hasil berupa pengetahuan mengenai kerja sistem tersebut
- Melakukan proses sintesis di mana kita melihat sistem secara keseluruhan sehingga mendapatkan hasil berupa pemahaman akan sistem tersebut.

Cara ini merupakan prinsip dasar dari berpikir sistem

### 2.2.3 Sistem Dinamis

Sistem dinamis disusun dan dibangun pada akhir tahun 1950-an dan awal tahun 1960-an di *Massachusetts Institute of Technology* oleh Jay Forrester. Memang, kedatangan sistem dinamik secara umum dianggap menjadi alat publikasi buku pionir Forrester, *Industrial Dynamics* pada tahun 1961.

Sistem dinamis adalah metode untuk memperkuat pembelajaran dalam sistem yang kompleks, dan sebagian, adalah sebagai metode untuk membentuk

suatu *management flight simulator*, model simulasi komputer, untuk membantu dalam mempelajari kompleksitas dinamis, mengerti sumber resistensi kebijakan, dan mendesain kebijakan yang lebih efektif (Sterman, 2000, hal. 4). Dinamika atau perilaku sistem didefinisikan oleh strukturnya dan interaksi antar komponen-komponennya.

Sementara itu, Forrester (1991, hal. 5) dalam sebuah tulisannya yang berjudul *System Dynamics and 35 Years of Experience* juga mengemukakan sisi lain pengertian *system dynamics*: “*System dynamics combines the theory, methods, and philosophy needed to analyze the behavior of systems in not only management, but also in environmental change, politics, economic behavior, medicine, engineering, and other fields*”.

Hal tersebut sejalan dengan berbagai hal yang dihadapi oleh sang penggagas konsep selama hidupnya sebelumnya menciptakan konsep ini. Forrester (1989) mengemukakan dalam sebuah perbincangan jamuan makan pada pertemuan internasional *System Dynamics Society* bahwa bidang keilmuan ini seolah telah terbentuk semenjak kecil. Berkat masa kecilnya yang ia habiskan di peternakan, konsep-konsep ekonomi seperti penawaran dan permintaan, perubahan harga dan biaya, dan tekanan perekonomian dunia pertanian menjadi pengalaman yang merasuk dalam jiwanya. Singkatnya, berbagai pengalaman yang diperolehnya dengan melakukan banyak proyek di berbagai bidang, dari teknologi rendah hingga teknologi tinggi mendorongnya untuk menggabungkan kedua konsep tersebut, yaitu kekompleksan dan dinamika sistem dengan komputer.

Pada dasarnya, menurut Jenna Barnes, dalam jurnalnya yang berjudul “*System Dynamics and Its Use in Organization*”, terdapat empat konsep dasar dalam sistem dinamis yang menopang struktur dan perilaku sistem yang kompleks. Konsep tersebut adalah (Sterman, 2000):

#### 1. Ruang lingkup yang tertutup

Yang dimaksud tertutup di sini bukan berarti tidak ada interaksi dengan variabel dari luar sistem. Yang dimaksud tertutup adalah variabel penting yang menciptakan interaksi sebab-akibat berada di dalam sistem dan variabel yang tidak begitu penting berada di luar

#### 2. *Loop* umpan balik sebagai komponen dasar sistem

Perilaku dari sistem dipengaruhi oleh struktur dari *loop* umpan balik yang ada dalam sistem yang tertutup. Sehingga struktur umpan balik inilah yang mempengaruhi setiap perubahan yang terjadi pada sistem sepanjang waktu.

### 3. *Level* dan *rate* (tingkat)

Sebuah sistem dinamis pasti memiliki dua jenis variabel dasar yaitu *level* dan *rate*. *Level*, seperti halnya stok, merupakan akumulasi elemen sepanjang waktu, contohnya seperti jumlah pegawai atau jumlah inventori di gudang. Sedangkan *rate* merupakan variabel yang mempengaruhi perubahan nilai dari level.

### 4. Kondisi yang ingin dicapai, kondisi riil, dan perbedaan antara kondisi yang ingin dicapai dengan kondisi riil.

Suatu sistem yang dinamis akan memperlihatkan adanya kondisi yang menjadi tujuan sistem dan kondisi yang saat ini terjadi. Oleh karena ada kemungkinan kondisi yang ingin dicapai belum terjadi maka terjadi perbedaan yang mendasari perubahan dalam sistem.

Setiap gejala, baik fisik maupun non-fisik, bagaimanapun kerumitannya, dapat disederhanakan menjadi struktur dasar yaitu mekanisme dari masukan, proses, keluaran, dan umpan balik. Mekanisme kerja berkelanjutan yang menunjukkan adanya perubahan menurut waktu bersifat dinamis. Perubahan tersebut menghasilkan kinerja sistem yang dapat diamati perilakunya.

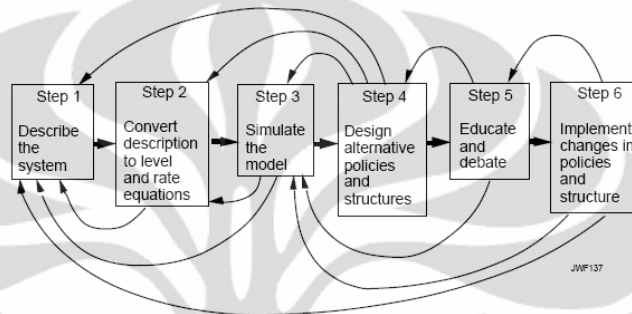
Mekanisme berkelanjutan dari masukan, proses, keluaran dan umpan balik tersebut dalam dunia nyata tidak bebas atau tidak tumbuh tanpa batas, tetapi tumbuh dengan pengendalian. Kendali yang membatasi tersebut dapat bersumber dari dalam maupun dari luar sistem. Kendali dari dalam sistem menyangkut kerusakan sistem, sedangkan kendali dari luar sistem menyangkut intervensi dan hambatan lingkungan.

#### **2.2.4 Proses Permodelan Sistem Dinamis**

Tujuan model sistem dinamik adalah untuk mempelajari, mengenal, dan memahami struktur, kebijakan, dan *delay* suatu keputusan yang mempengaruhi perilaku sistem itu sendiri. Dalam kerangka berpikir sistem dinamik, permasalahan dalam suatu sistem dilihat tidak disebabkan oleh pengaruh luar (*exogenous explanation*) namun dianggap disebabkan oleh struktur internal sistem

(*endogenous explanation*). Fokus utama dari metodologi sistem dinamik adalah memperoleh pemahaman atas suatu sistem, sehingga langkah-langkah pemecahan masalah memberikan umpan balik pada pemahaman sistem.

Pada gambar 2.5 ditunjukkan rangkaian proses dalam sistem dinamik yang dijelaskan oleh Jay Forrester dalam jurnalnya, "*System Dynamics, System Thinking and Soft OR*":



**Gambar 2.5** Proses Sistem Dinamik

(Sumber: Forrester, 1994, hal.4)

Langkah pertama merupakan investigasi yang termotivasi oleh perilaku sistem yang tidak diinginkan yang ingin dimengerti dan diperbaiki. Langkah awal adalah mengerti, tetapi tujuan akhirnya adalah perbaikan. Pertama-tama adalah mendeskripsikan sistem yang relevan kemudian menghasilkan suatu hipotesis bagaimana sistem tersebut menghasilkan perilaku.

Langkah kedua adalah memulai memformulasikan suatu model simulasi. Deskripsi sistem dari langkah pertama diubah menjadi persamaan *level* dan *rate* dari suatu model sistem dinamik. Penulisan persamaan bisa memperlihatkan adanya gap dan ketidakkonsistenan yang harus diperbaiki di tahap sebelumnya (tahap deskripsi).

Langkah ketiga dapat dimulai jika persamaan di langkah kedua telah memenuhi kriteria logis untuk sebuah model yang dapat dijalankan. *Software* sistem dinamik biasanya menyediakan cek logis untuk memenuhi kriteria logis tersebut. Tahap simulasi ini juga mengarahkan pada deskripsi masalah dan perbaikan persamaan kembali. Langkah ketiga ini harus menyesuaikan dengan elemen penting dalam praktek sistem dinamik yang baik, simulasi harus menggambarkan bagaimana pertimbangan kesulitan yang dicoba dilakukan di sistem yang nyata. Berbeda dengan metodologi yang berfokus pada kondisi masa

depan ideal untuk suatu sistem, sistem dinamik hanya menyatakan bagaimana kondisi saat ini dan bagaimana mengarahkannya ke suatu perbaikan. Simulasi pertama akan mengarahkan pada pertanyaan-pertanyaan dan pengulangan langkah pertama dan kedua, hingga model benar-benar dikatakan cukup untuk mencapai tujuan. Tidak ada cara untuk membuktikan validasi dari isi suatu teori yang merepresentasikan perilaku dunia nyata. Yang mungkin dicapai hanyalah tingkat kepercayaan dari sebuah model yang terhadap kecukupan, waktu, serta biaya untuk melakukan perbaikan.

Langkah keempat adalah mengidentifikasi alternatif skenario atau *policy option* untuk pengujian. Uji simulasi digunakan untuk mencari skenario yang akan memberikan peluang penerapan terbaik. Alternatif tersebut dapat berupa pengetahuan intuitif selama tiga langkah pertama, analisis yang berpengalaman, permintaan orang-orang yang berada dalam sistem, atau berupa uji perubahan parameter secara otomatis yang lebih mendalam. Pencarian parameter secara otomatis akan sangat berguna.

Langkah kelima melalui suatu konsensus untuk proses implementasi. Langkah kelima merepresentasikan tantangan terbesar terhadap kemampuan memimpin dan mengoordinasi. Tidak masalah berapa orang yang ikut andil dalam langkah pertama hingga keempat, karena semuanya akan terlibat dalam proses implementasi. Model akan memperlihatkan bagaimana sistem menyebabkan masalah yang sedang mereka hadapi.

Langkah keenam adalah implementasi kebijakan baru. Kesulitan dari langkah ini kebanyakan berasal dari ketidakcukupan langkah sebelumnya. Jika modelnya relevan dan persuasif, dan pendidikan di langkah kelima telah cukup, maka langkah keenam akan berjalan dengan baik. Walaupun demikian, implementasi memerlukan waktu yang sangat panjang. Kebijakan lama harus benar-benar dihilangkan, dan kebijakan baru akan memerlukan sumber informasi baru dan *training*.

### **2.2.5 Sumber Informasi dalam Pembuatan Model Simulasi**

Pembuatan suatu model membutuhkan sumber informasi yang tepat. Sumber informasi yang digunakan dalam pembuatan model dari suatu sistem sangat beragam dan dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu data mental,

data tertulis dan data numerik. Dari ketiga jenis sumber informasi ini, data mental memiliki kandungan informasi paling banyak dan data numerik memiliki kandungan informasi paling sedikit.

#### **2.2.5.1 Data Tertulis**

Sumber informasi lain yang juga diperlukan dalam pembuatan suatu model dapat berasal dari data-data tertulis seperti dokumen dan literatur atau pun data hasil wawancara/kuesioner yang dilakukan. Data ini memiliki kandungan informasi yang lebih spesifik dan jelas jika dibandingkan dengan data mental dalam memahami struktur suatu sistem atau permasalahan yang ada sehingga mampu melengkapi fungsi data mental yang bersifat terlalu umum. Tetapi, data tertulis juga memiliki batasan di mana tidak mampu menjelaskan keterkaitan antar variabel dalam suatu sistem dengan jelas.

#### **2.2.5.2 Data Numerik**

Data numerik memiliki informasi yang sangat spesifik dan presisi, oleh karenanya berperan penting dalam proses pendekatan ilmiah dalam penyelesaian masalah. Data numerik mendukung proses kuantifikasi pembuatan model dan memberikan kejelasan fungsi sistem secara matematis. Data numerik membantu proses analisis ketika kita menghadapi permasalahan nonlinieritas yang kompleks. Walaupun memiliki informasi yang sangat spesifik, data numerik memiliki kandungan informasi yang rendah dan tidak dapat menggambarkan aspek-aspek sosial dan aspek tak terlihat lainnya dengan efektif.

#### **2.2.5.3 Data Mental**

Data mental merupakan jenis sumber informasi yang memiliki kandungan informasi paling kaya dan merupakan sumber utama dalam pembuatan suatu model. Data mental memuat informasi yang terlihat maupun tidak terlihat. Data mental terbentuk berdasarkan pengalaman dan pemahaman akan struktur terhadap suatu sistem atau permasalahan. Data mental mengandung informasi konseptual secara umum dalam melihat sistem secara keseluruhan. Informasi konseptual yang ada pada data mental tidak dapat digantikan oleh jenis informasi lain. Jika kita mengganti informasi ini dalam bentuk numerik maka akan menjadi tidak efektif. Secara umum, informasi yang didasarkan atas pemahaman konseptual dan terkait

dengan perilaku sistem dapat dicek ulang dengan menggunakan sumber informasi lain.

Namun, jika terlalu mengandalkan sumber informasi dari data mental dalam proses pembuatan model juga akan mengakibatkan ketidakefektifan. Hal ini dikarenakan perbedaan data mental yang dapat diperoleh dari individu yang berbeda. Selain itu kecenderungan biasanya data juga sangat besar karena data mental merupakan data kualitatif.

### 2.2.6 Umpan Balik (*Feedback*)

Sistem dinamis memandang bahwa suatu sistem memiliki *loop* tertutup, konsep dasar sistem dinamis adalah mengenai umpan balik, sehingga setiap variabel yang ada pada sistem dapat memiliki dua peran yaitu sebagai penyebab dan sebagai akibat. Dalam sistem tertutup, perubahan pada suatu variabel dapat mempengaruhi perubahan pada keseluruhan lingkungan dalam sistem, termasuk variabel itu sendiri.

Umpan balik merupakan suatu proses di mana suatu variabel penyebab melewati suatu rantai hubungan kausal sehingga menyebabkan perubahan pada variabel penyebab itu sendiri. Umpan balik dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu:

- Umpan balik positif

Suatu umpan balik disebut positif jika peningkatan pada suatu variabel, setelah penundaan, mengakibatkan peningkatan pada variabel yang sama. Umpan balik jenis ini dapat ditemui pada sistem yang memiliki perilaku pola eksponensial.

- Umpan balik negatif

Suatu umpan balik disebut negatif apabila peningkatan pada suatu variabel akan mengakibatkan penurunan pada variabel yang sama. Umpan balik negatif bersifat menyetabilisasi sistem atau menyeimbangkan sistem. Umpan balik negatif dapat ditemui pada sistem yang memiliki perilaku dengan pola osilasi.

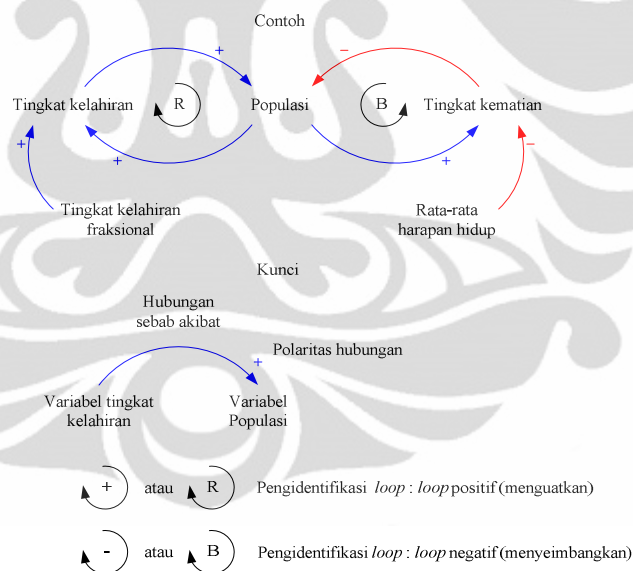


### 2.2.7 Diagram Loop Sebab-akibat (Causal Loop Diagram)

Diagram *loop* sebab akibat adalah alat yang penting untuk merepresentasikan struktur umpan balik dari sistem. Diagram *loop* sebab akibat baik jika digunakan untuk (Sterman, 2000, hal. 137) :

- Menangkap dengan cepat hipotesis penyebab dinamika.
- Mendapat/menangkap mental model dari individu atau tim.
- Mengkomunikasikan umpan balik penting yang diyakini bertanggung jawab terhadap suatu masalah.

Diagram *loop* sebab akibat terdiri dari variabel-variabel yang dihubungkan oleh tanda panah yang menunjukkan pengaruh sebab akibat di antara variabel-variabel tersebut. *Loop* umpan balik juga diidentifikasi di dalam diagram. Berikut merupakan cara yang umum digunakan untuk menggambarkan hubungan sebab akibat:











**Gambar 2.6** Cara Penulisan Diagram Loop Sebab-Akibat

(Sumber : Sterman, 2000, hal. 138)

Variabel-variabel berhubungan sebab akibat, seperti yang ditunjuk oleh tanda panah dalam contoh di atas, tingkat kelahiran ditentukan oleh populasi dan tingkat kelahiran fraksional. Setiap hubungan sebab akibat ditentukan oleh polaritas, baik positif (+) maupun negatif (-) yang mengindikasikan bagaimana variabel A yang bergantung pada variabel B ikut berubah ketika variabel B

berubah. *Loop-loop* di dalam diagram diidentifikasi oleh pengidentifikasi *loop* yang menunjukkan apakah *loop* tersebut umpan balik positif (menguatkan) atau negatif (menyeimbangkan).

Dapat diperhatikan bahwa pengidentifikasi *loop* berputar dalam arah yang sama dengan *loop* yang diwakilinya. Dalam contoh di atas, umpan balik positif yang berhubungan dengan kelahiran dan populasi adalah searah jarum jam dan begitu juga dengan pengidentifikasi *loop*-nya. Sedangkan umpan balik negatif yang berhubungan dengan tingkat kematian dan populasi adalah berlawanan arah jarum jam sesuai dengan pengidentifikasi *loop*-nya. Gambar berikut akan menjelaskan polaritas hubungan:

Simbol	Interpretasi	Persamaan matematika	Contoh
	<p>Jika X meningkat (menurun), maka Y akan meningkat (menurun). Jika terjadi akumulasi, X menambah Y.</p>	<p><math>\partial Y / \partial X &gt; 0</math> Jika terjadi akumulasi, <math>Y = \int_0^t (X + \dots) ds + Y_0</math></p>	<p>Kualitas produk  Penjualan Usaha  Hasil Kelahiran  Populasi</p>
	<p>Jika X meningkat (menurun), maka Y akan menurun (meningkat). Jika terjadi akumulasi, X mengurangi Y.</p>	<p><math>\partial Y / \partial X &lt; 0</math> Jika terjadi akumulasi, <math>Y = \int_0^t (-X + \dots) ds + Y_0</math></p>	<p>Harga produk  Penjualan Frustrasi  Hasil Kematian  Populasi</p>

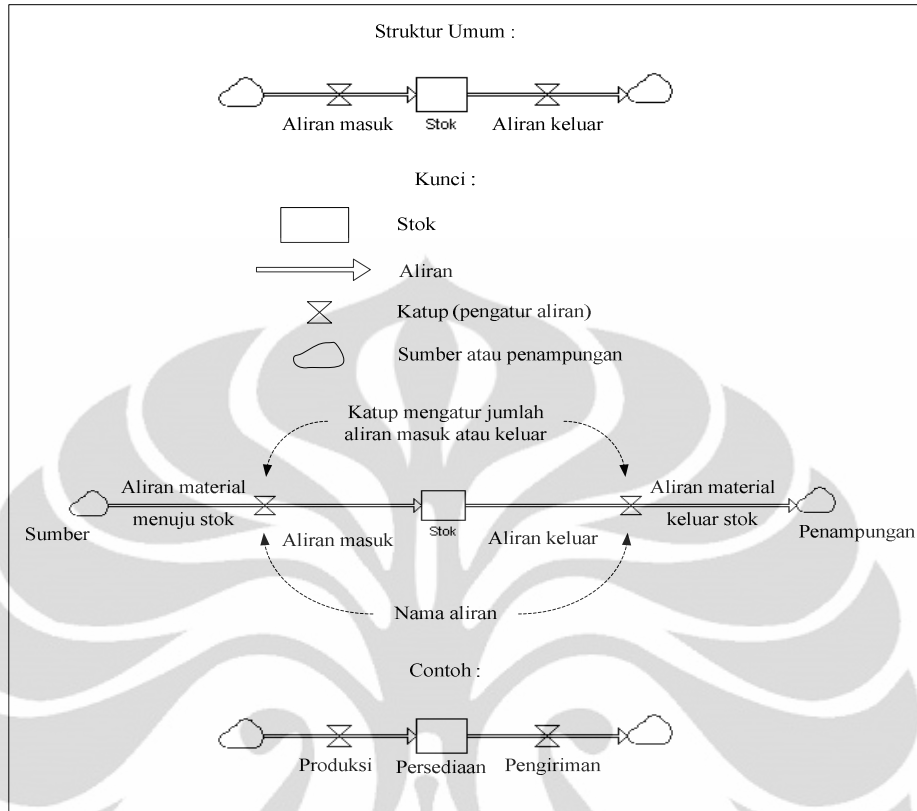
**Gambar 2.7** Polaritas Hubungan

(Sumber : Sterman, 2000, hal. 139)

### 2.2.8 Diagram Alir (Stock and Flow Diagram)

Diagram *loop* sebab akibat memiliki beberapa keterbatasan dan dengan mudah dapat disalahgunakan. Salah satu keterbatasan yang paling penting dari diagram sebab akibat adalah ketidakmampuannya untuk menangkap struktur stok dan aliran (*stock and flow*) dari sistem. Stok dan aliran, bersama dengan umpan balik, merupakan dua konsep utama dari teori sistem dinamik.

Stok adalah akumulasi. Stok menggolongkan keadaan sistem dan membentuk informasi pada keputusan dan tindakan. Stok memberi sistem kekuatan untuk bergerak dan melengkapinya dengan memori. Stok menciptakan penundaan dengan mengakumulasi perbedaan antara aliran masuk menuju proses dan aliran keluarannya. Dengan memisahkan tingkat aliran, stok merupakan sumber ketidakseimbangan dalam sistem.



**Gambar 2.8** Cara Penulisan Diagram Alir

(Sumber : Sterman, 2000, hal. 193)

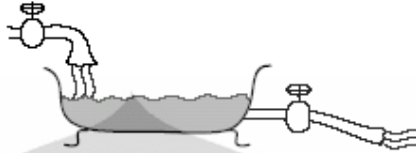
Gambar 2.8 merupakan cara-cara penulisan diagram alir dalam sistem dinamis, dengan penjelasan sebagai berikut.

Stok diwakili oleh persegi empat. Aliran masuk diwakili oleh pipa dengan tanda panah yang mengarah pada stok yang berarti menambah stok. Aliran keluar diwakili oleh pipa yang mengarah keluar stok dan berarti mengurangi stok.

Katup yang mengendalikan aliran. Awan mewakili sumber dan penampungan aliran. Sumber menggambarkan darimana stok berasal dan dimana aliran yang mula-mula berada diluar batasan model muncul. Sementara, penampungan menggambarkan kemana stok menuju dimana aliran yang meninggalkan batasan model keluar. Sumber dan penampungan diasumsikan memiliki kapasitas yang tidak terhingga dan tidak pernah dapat membatasi aliran.

Kaidah diagram alir didasari oleh analogi hidrolik, yang merupakan aliran air menuju dan keluar tempat penampungan air. Memang sangat membantu jika menggambarkan stok sebagai bak air. Kuantitas air di dalam bak pada suatu

waktu adalah akumulasi dari air yang mengalir masuk melalui keran dikurangi air yang mengalir keluar melalui saluran pipa dengan asumsi tidak ada percikan dan penguapan.



**Gambar 2.9** Analogi Hidrolik

(Sumber: Sterman, 2002, hal. 508.)

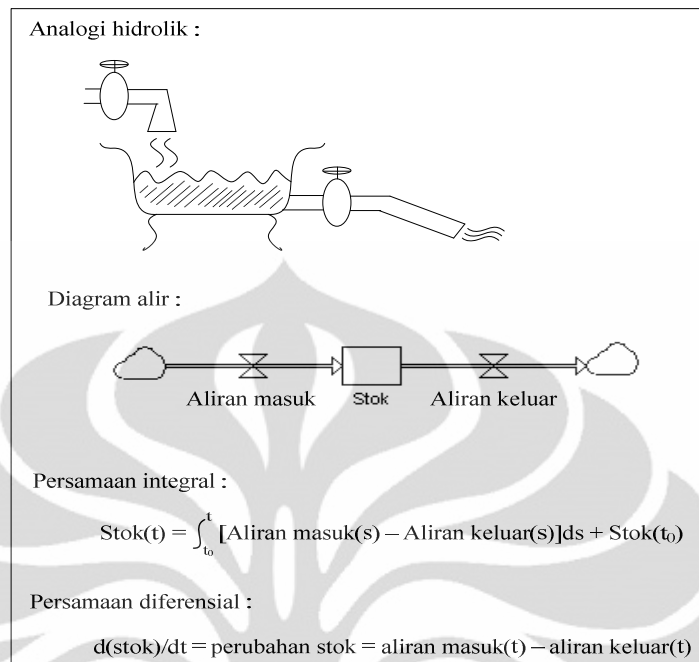
Melalui cara yang sama, kuantitas material dalam stok apapun merupakan akumulasi dari aliran material yang masuk dikurangi aliran material yang keluar. Analogi ini memiliki pengertian matematis yang tepat dan tidak ambigu. Stok mengakumulasi atau mengintegrasikan alirannya; aliran menuju stok adalah tingkat perubahan dari stok. Oleh karena itu, struktur yang digambarkan dalam gambar 2.10 di atas sesuai dengan persamaan integral berikut ini :

$$\text{Stok}(t) = \int_{t_0}^t [\text{Aliran masuk}(s) - \text{Aliran keluar}(s)] ds + \text{Stok}(t_0) \quad (2-1)$$

dimana aliran masuk (s) mewakili nilai dari aliran masuk pada waktu s antara waktu awal  $t_0$  dan waktu sekarang t. Dengan persamaan yang sama, tingkat perubahan stok adalah aliran masuk dikurangi aliran keluar, yang didefinisikan dengan persamaan diferensial

$$d(\text{stock})/dt = \text{aliran masuk}(t) - \text{aliran keluar}(t) \quad (2-2)$$

Secara umum, aliran akan menjadi fungsi dari stok serta variabel-variabel dan parameter-parameter kondisi yang lain. Gambar berikut menunjukkan empat representasi yang sama dari diagram alir secara umum. Dari suatu sistem persamaan integral dan diferensial kita dapat membuat peta stok dan aliran yang sesuai:



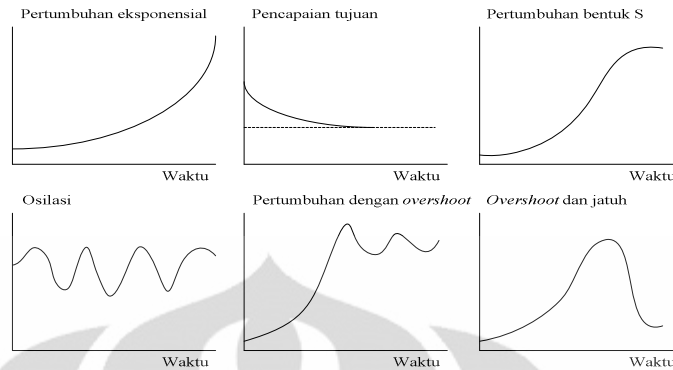
**Gambar 2.10** Representasi Struktur Diagram Alir

(Sumber : John D. Sterman, 2000, hal. 194)

### 2.2.9 Struktur dan Perilaku Sistem Dinamis

Perilaku dari sebuah sistem muncul dari strukturnya. Di mana sebuah struktur terdiri dari *loop* umpan balik, stok dan aliran, serta kenonlinieran yang diciptakan oleh interaksi dari struktur fisik dan institusional sistem dengan proses pengambilan keputusan dari agen-agen yang bertindak di dalamnya.

Perubahan mengambil banyak bentuk, dan variasi dari kedinamisan di sepenulir penulis sangat mengejutkan. Dapat dibayangkan bahwa ada banyak sekali variasi yang sesuai dari struktur umpan balik yang berbeda-beda untuk menghitung susunan kedinamisan yang bermacam-macam. Pada kenyataannya kedinamisan merupakan contoh kecil dari pola perilaku yang berbeda, seperti pertumbuhan ekponensial (*exponential growth*) atau osilasi (*oscillation*). Gambar berikut menunjukkan model perilaku secara umum.



**Gambar 2.11** Perilaku Model secara Umum

(Sumber : Sterman, 2000, hal. 108)

Tiga bentuk dasar dari perilaku sistem dinamik adalah pertumbuhan eksponensial (*exponential growth*), pencapaian tujuan (*goal seeking*), dan osilasi (*oscillation*). Masing-masing dari ketiga perilaku ini dibentuk oleh struktur umpan balik yang sederhana, yaitu: pertumbuhan muncul dari umpan balik positif, pencapaian tujuan muncul dari umpan balik negatif, dan osilasi muncul dari umpan balik negatif dengan penundaan waktu dalam *loop*. Bentuk umum perilaku lainnya yang muncul dari interaksi nonlinier antara struktur-struktur umpan balik dasar meliputi pertumbuhan bentuk S (*S-shaped growth*), pertumbuhan bentuk S dengan *overshoot* dan osilasi, dan *overshoot* dan jatuh (*collapse*).

### 2.2.10 Validasi Model

Banyak pemodel yang membicarakan masalah "validasi" atau mengklaim bahwa mereka memiliki model yang telah di "verifikasi". Pada kenyataannya, validasi serta verifikasi tidaklah mungkin. Verifikasi berasal dari bahasa latin "*verus*" yang berarti kebenaran sedangkan valid didefinisikan sebagai "memiliki satu kesimpulan yang benar yang diturunkan dari premis-premisnya ... dan secara tersirat didukung oleh kebenaran objektif" (Sterman, 2000).

Dengan definisi ini, tidak ada model yang dapat divalidasi atau diverifikasi. Mengapa? Karena semua model adalah salah. Setiap model dibatasi, representasi yang disederhanakan dari dunia nyata. Model berbeda dengan dunia nyata dalam besar dan kecil, angka yang tidak terbatas, berikut cara melakukan validasi model menurut Sterman.

**Tabel 2.2** Cara-Cara Validasi Model

No	Jenis Pengujian	Tujuan Pengujian	Alat dan Prosedur
1	Kecukupan batasan	Menentukan batasan masalah yang dianggap <i>endogenous</i>	Gunakan grafik batasan, diagram sub-sistem, diagram sebab-akibat, peta <i>stock and flow</i> , dan pemeriksaan persamaan model secara langsung
		Apakah perilaku model berubah secara signifikan ketika batasan masalah diubah?	Gunakan <i>interview</i> , <i>workshop</i> untuk mendapatkan opini para ahli, bahan-bahan utama, literatur, partisipasi langsung pada proses sistem
		Apakah rekomendasi kebijakan akan berubah ketika batasan model diperluas?	Modifikasi model untuk mendapatkan struktur tambahan yang mungkin, membuat konstanta dan variabel eksogenus dan endogenus, lalu ulangi analisa kebijakan dan sensitivitas

Tabel 2.3 Cara-Cara Validasi Model (Sambungan)

No	Jenis Pengujian	Tujuan Pengujian	Alat dan Prosedur
2	Penilaian struktur	Apakah struktur model konsisten dengan pengetahuan yang relevan dari sistem?	Gunakan diagram struktur kebijakan, diagram sebab-akibat, peta <i>stock and flow</i> , pemeriksaan persamaan model secara langsung
		Apakah tingkat agregasinya mencukupi?	Gunakan interview, workshop untuk mendapatkan para ahli, bahan-bahan utama, literatur, partisipasi langsung pada proses sistem
		Apakah model tersebut menyesuaikan dengan hukum perlindungan alam?	Adakah tes model secara parsial dengan kebijakan yang diinginkan
			Apakah percobaan laboratorium untuk mendapatkan <i>mental model</i> dan kendali kebijakan dari partisipan
		Apakah kebijakan mengendalikan perilaku sistem?	Bangun sub-model parsial dan bandingkan perilakunya terhadap perilaku secara keseluruhan Perhatikan beberapa variabel kemudian ulangi analisa kebijakan dan sensitivitas
3	Konsistensi dimensi	Apakah tiap persamaan sudah konsisten, tanpa menggunakan parameter yang tidak perlu?	Gunakan <i>software</i> analisa dimensi, periksa persamaan model di variabel-variabel tertentu
4	Penilaian parameter	Apakah parameter nilai telah sesuai dengan pengetahuan deskriptif dan numerik sistem	Gunakan metode statistik untuk memperkirakan parameter
			Gunakan tes model secara parsial untuk mengkalibrasi sub-sistem
		Apakah setiap parameter memiliki imbangannya di dunia nyata?	Gunakan metode penilaian berdasarkan <i>interview</i> , opini para ahli, fokus grup, bahan utama, pengalaman langsung, dan sebagainya
			Gunakan beberapa sub-model untuk memperkirakan hubungan dalam keseluruhan model



**Tabel 2.4** Cara-Cara Validasi Model (Sambungan)

No	Jenis Pengujian	Tujuan Pengujian	Alat dan Prosedur
5	Kondisi ekstrim	Apakah model tersebut masih sesuai jika inputnya ditaruh sebagai kondisi ekstrim?	Periksa tiap persamaan, tes respon pada nilai ekstrim di tiap input, tiap bagian atau dalam kombinasi
		Apakah model memungkinkan merespon kebijakan, gangguan, dan parameter ekstrim?	Subjek model pada gangguan besar dan kondisi ekstrim. Gunakan tes sesuai dengan aturan dasar (misal: tidak ada inventori, tidak ada <i>shipment</i> , dll)
6	<i>Error</i> dalam integrasi	Apakah hasil simulasi sensitif terhadap pemilihan timestep atau metode integrasi numerik?	Gunakan setengah timestep dan tes perubahan perilakunya. Gunakan metode integrasi berbeda dari tes perubahan perilakunya
7	Reproduksi perilaku	apakah model menghasilkan perilaku penting dari sistem?	gunakan pengukuran statistik untuk melihat kesesuaian antara model dan data
		Apakah variabel endogen menghasilkan gejala kesulitan pembelajaran?	Bandingkan keluaran model dengan data secara kualitatif termasuk perilaku sederhana, ukuran variabel, asimetris, amplitudo dan fase relatif, kejadian yang tidak biasa
		Apakah model menghasilkan beberapa perilaku sederhana seperti pada dunia nyata?	
		Apakah frekuensi dan fase hubungan antar variabel sesuai dengan data?	Perilaku respon model terhadap input tes, <i>shock event</i> dan <i>noise</i>

Tabel 2.5 Cara-Cara Validasi Model (Sambungan)

No	Jenis Pengujian	Tujuan Pengujian	Alat dan Prosedur
8	Anomali perilaku	Apakah ada anomali perilaku ketika asumsi model diubah atau dihilangkan?	<i>Zero out key effect</i> , gantikan asumsi <i>equilibrium</i> dengan asumsi dengan struktur <i>disequilibrium</i>
9	Anggota keluarga	Bisakah model digunakan untuk melihat perilaku di bagian lain dalam suatu sistem?	Kalibrasikan model pada range kemungkinan yang lebih luas dari sistem yang berhubungan
10	Perilaku mengejutkan	Apakah model menghasilkan perilaku yang tak terduga?	Pertahankan akurasi, kelengkapan, dan record data dari simulasi model. Gunakan model untuk mensimulasikan perilaku masa mendatang dari sistem
		Apakah model bisa mengantisipasi respon sistem pada kondisi baru?	Pisahkan semua ketidaksesuaian antara model dengan pengertianmu terhadap sistem nyata  Dokumentasikan partisipan serta mental model klien sebelum memodelkannya
11	Analisa sensitivitas	Sensitivitas numerik lakukan perubahan nilai secara signifikan	Gunakan analisa sensitivitas univariat dan multivariat, gunakan metode analitis (linier, lokal dan analisa stabilitas global
		Sensitivitas perilaku lakukan perubahan perilaku sederhana model secara signifikan	Buat batasan model dan daftar tes agregat untuk tes di atas
		Sensitivitas kebijakan lakukan perubahan implikasi kebijakan secara	Gunakan metode optimasi untuk mendapatkan parameter dan kebijakan terbaik
		Kapan asumsi terhadap parameter, batasan dan agregasi bervariasi pada <i>range</i> kemungkinan ketidakpastian?	Gunakan metode optimasi untuk mendapatkan kombinasi parameter yang menghasilkan ketidakmungkinan atau <i>reverse policy outcomes</i>
12	Perbaikan sistem	Apakah proses <i>modeling</i> membantu merubah sistem menjadi lebih baik?	Desain percobaan terkontrol dengan perlakuan dan kontrol grup, tugas acak, penilaian sebelum dan sesudah intervensi

(Sumber : Sterman, 2000, hal. 859)

### 2.2.11 Analisis Sensitivitas Model

Analisis sensitivitas digunakan untuk mengetahui sensitivitas suatu model terhadap perubahan nilai dari parameter model yang ada dan terhadap perubahan struktur dari model. Dalam analisis sensitivitas, dikenal konsep sensitivitas parameter. Yang dimaksud sensitivitas parameter adalah di mana penulis mempersiapkan nilai-nilai parameter yang berbeda untuk diuji pada model yang telah dibuat agar penulis dapat melihat bagaimana perubahan pada parameter dapat menyebabkan perubahan perilaku pada sistem. Dengan menunjukkan bagaimana perilaku sistem merespons perubahan pada parameter, penulis dapat menjadikan analisis sensitivitas sebagai *tool* yang sangat berguna dalam proses pembentukan maupun evaluasi model.

## 2.3 Permainan Simulasi dan Simulator Manajemen sebagai Media Pembelajaran

Permainan simulasi memiliki berbagai kegunaan dan aplikasi di berbagai bidang termasuk logistic (Thorsteinsson, 1988), pengelolaan produksi (Leao, 1990), pengelolaan financial, dan berbagai bidang lainnya. Salah satu contoh penerapan permainan simulasi sebagai alat untuk memfasilitasi praktek menginterpretasikan dan menganalisis laporan financial adalah penelitian yang dilakukan oleh Hidayatno dan Putera (2006). Permainan financial tersebut juga menggunakan pendekatan sistem dinamis seperti yang digunakan dalam penelitian ini.

Penggunaan permainan simulasi sebagai media pembelajaran dalam penerapan rantai suplai loop tertutup bersama dengan *reverse logistics* dan *reverse supply chain* didukung oleh dua tujuan dalam pembelajaran dengan menggunakan permainan simulasi (Riis, 1995), yaitu:

1. Permainan simulasi digunakan untuk menyediakan model abstrak yang kompleks dari realitas yang memiliki esensi pengalaman pada pengguna yang tinggi dan dalam bentuk konkret, sehingga partisipan dapat mendeskripsikan, menganalisis, dan mengevaluasi kenyataan dalam perencanaan kapasitas dalam praktek rantai suplai loop tertutup.

2. Dapat juga digunakan sebagai metode pelatihan, yang mana mendorong partisipan untuk mengembangkan keahlian dan menggunakan keahlian tersebut dalam praktek di dunia.



## **BAB 3**

### **PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

#### **3 Pengumpulan dan Pengolahan Data**

Pada bab ini, akan dibahas mengenai pengumpulan dan pengolahan data. Seperti yang telah dijelaskan pada bab 2, data-data yang dikumpulkan dapat berupa data tertulis, data numerik maupun data mental. Alur pengumpulan dan pengolahan data dimulai dari pengolahan terhadap data mental untuk mengidentifikasi permasalahan dan kondisi yang ada. Dari data mental tersebut, dirancang poin-poin pembelajaran yang diperlukan oleh pengguna, kemudian dirumuskan data-data numerik untuk mencapai kesesuaian perilaku dengan keadaan nyata, sehingga dapat dibangun simulator manajemen yang sesuai kebutuhan dan dapat menjadi media pembelajaran yang efektif.

##### **3.1 Pengumpulan Data Mental**

Pada bagian ini dilakukan pembahasan mengenai pengumpulan data-data yang digunakan sebagai landasan dalam pembentukan konsep terhadap permasalahan yang ada di dalam penerapan rantai suplai loop tertutup. Konsep yang telah didapatkan dan dipahami dari data-data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan kerangka berpikir sebagai landasan dalam pembuatan model simulasi serta sebagai acuan dalam menentukan pengumpulan dan pengolahan data tertulis dan data numerik, serta perumusan poin pembelajaran.

###### **3.1.1 Pengumpulan Data Mental dari Jurnal Penelitian**

Bagian ini membahas mengenai pengumpulan data mental yang diperoleh dari beberapa jurnal penelitian yang meneliti tentang permasalahan yang terdapat di dalam penerapan rantai suplai loop tertutup dan keperluan akan simulator sebagai media pembelajaran dalam melakukan transfer pengetahuan.

### **3.1.1.1 Kebutuhan akan penerapan reverse logistics dan model di dalam bidang tersebut, sebuah pemahaman dari jurnal *Quantitative models for reverse logistics: A review***

Kegiatan penggunaan kembali bukanlah hal baru di bidang industry, mengingat dengan keberadaan pendaur-ulang kertas ataupun plastik sejak bertahun-tahun lalu. Namun, dengan berkembangnya isu keterbatasan sumber daya yang semakin santer di dunia, aktifitas penggunaan kembali menjadi satu jawaban pemecahan masalah yang sangat baik. Kepopuleran metode penggunaan kembali juga semakin meningkat karena penggunaan kembali menyelesaikan satu lagi masalah besar di dunia yaitu jumlah sampah yang berlebih. Dengan penerapan penggunaan kembali, produk bekas pakai dari konsumen tidak perlu dibuang, melainkan dapat dipakai kembali sebagai barang baru yang kembali berguna bagi konsumen. Dengan ini, maka kebutuhan akan tempat pembuangan sampah serta tempat pembakaran sampah –yang semakin tak punya ruang untuk dibangun seiring pertumbuhan eksponensial populasi dan kebutuhan perumahan– semakin berkurang.

Tekanan pemerintah di seluruh dunia yang berbentuk peraturan dan undang-undang yang mewajibkan organisasi untuk bertanggungjawab atas produk terpakai hasil produksinya semakin memperkuat alasan penerapan metode penggunaan kembali. Sebagai contoh, di Belanda, setiap produsen mobil harus bertanggungjawab terhadap seluruh mobil terpakai yang sudah tidak layak pakai hasil produksinya. Selain itu, di Jerman terdapat batas minimum untuk pendaurulangan material untuk kemasan.

Jurnal ini menekankan bahwa *reverse logistics* memiliki efek yang besar pada 3 area dari kegiatan industry. Yang pertama adalah area yang terpengaruh langsung karena harus melaksanakan pengiriman barang kembali, yaitu perencanaan distribusi. Area kedua yang juga harus disesuaikan ketika penerapan *reverse logistics* dilakukan adalah pengelolaan persediaan, yang tentunya akan terpengaruh karena adanya input bahan mentah alternative selain dari pembelian bahan. Terakhir, perencanaan produksi juga terpengaruh karena pengaruh yang diberikan pada pengelolaan persediaan.

Perencanaan distribusi pada *reverse logistics* terkadang terintegrasi dengan sistem distribusi konvensional, namun beberapa menerapkannya secara terpisah. Penerapan *reverse logistics* yang terpisah dari *forward logistics* telah coba dimodelkan oleh beberapa peneliti. Mirchandani dan Francis (1989) mengajukan model tata letak pabrik yang dimodifikasi untuk desain jaringan *reverse distribution*, sedangkan karakteristik struktur konvergen dari-banyak-ke-sedikit dari sistem pengumpulan barang terpakai dibahas oleh Ginter dan Starling (1978).

Penerapan yang terintegrasi umumnya memiliki masalah dalam *routing* dan cara penanganan barang yang tentu berbeda antara barang baru dan barang terpakai. Sayangnya, belum banyak model yang memperlakukan distribusi konvensional dan *reverse* secara simultan, di mana digunakan lokasi atau fasilitas bersama untuk kedua distribusi. Namun, beberapa pendekatan sederhana terhadap integrasi tersebut telah ada di dunia industri, seperti penggunaan RGB (*Returnable Glass Bottles*). Del Castillo dan Cochran (1996) telah mempelajari perencanaan produksi dan persediaan untuk barang terkirim dalam kemasan yang dapat dipakai kembali. Model ini juga mencakup transportasi kemasan kosong kembali ke pabrik. Keberadaan kemasan kosong menjadi batasan sumber daya dalam produksi.

Pengendalian persediaan juga harus ditingkatkan untuk beradaptasi dengan sistem ini. Yang menjadi masalah utama adalah meningkatnya ketidakpastian dalam penentuan jumlah persediaan. Secara matematis, aliran barang kembali menyebabkan hilangnya sumber tunggal dan monoton dari persediaan, yang membuat model makin rumit. Model mengenai topic ini pun masih sangat beragam, tanpa pendekatan yang menyatukan pemikiran, sebuah analisis sistematis mengenai efek aktivitas penggunaan kembali pada pengendalian persediaan. Oleh karena itu, belum ada pula perbandingan numerik antara penerapan sistem yang diadaptasikan sesuai kegiatan penggunaan kembali dengan pengendalian persediaan konvensional yang diterapkan pada sistem penggunaan kembali. Penggunaan sistem informasi modern sangat membantu pengendalian persediaan dalam sistem ini, karena dapat mengurangi level ketidakpastian yang disebabkan oleh aliran barang kembali.

Dari sudut pandang perencanaan produksi, diperlukan banyak peningkatan melalui pendekatan teknik dan perancangan produk. Kerumitan dalam perencanaan produksi dalam sistem penggunaan kembali banyak disebabkan oleh penambahan tahap *disassembly* dan ketidakpastian dalam perencanaan waktu, kuantitas, dan kualitas dari aliran barang kembali yang tinggi. Namun, seperti yang telah disebutkan sebelumnya, penggunaan sistem informasi yang lebih maju akan semakin mengurangi level ketidakpastian dalam sistem. Di sisi lain, sistem MRP tradisional terbukti gagal beradaptasi dengan kondisi di dalam sistem penggunaan kembali.

Secara umum, jurnal ini membahas mengenai bidang *reverse logistics* yang sedang cepat berkembang. Pengelolaan aliran kembali dari barang yang terjadi dalam berbagai jenis penggunaan kembali produk dan material di proses produksi industri telah menjadi perhatian besar belakangan ini. Berbagai peneliti telah mengajukan model kuantitatif mengenai perubahan dalam lingkungan logistic tersebut. Namun, belum ada gambaran umum mengenai model kuantitatif dari *reverse logistics* tersebut. Oleh karena itu, keberadaan gambaran sistematis dari masalah-masalah yang berkembang di dalam konteks *reverse logistics* sangatlah diperlukan. Dalam jurnal ini bidang *reverse logistics* dibagi menjadi 3 area utama, yaitu perencanaan distribusi, pengendalian persediaan, dan perencanaan produksi.

### **3.1.1.2 Keuntungan Penerapan Rantai Suplai Berkelanjutan, sebuah Pemahaman dari Jurnal *Exploring future competitive advantage through sustainable supply chains***

Sejak awal tahun 1990-an terdapat ketertarikan dari para peneliti untuk mengatasi masalah keterbatasan sumber daya yang semakin habis seiring waktunya dan menggali keunggulan kompetitif dari pemecahan masalah tersebut. Salah satu bidang yang menjadi jawaban permasalahan tersebut adalah penggunaan konsep 3BL (*Triple Bottom Line*), yang telah digunakan di berbagai perusahaan di dunia dengan kesuksesan yang luar biasa. Ide di dalam konsep 3BL adalah bahwa pengukuran kesuksesan perusahaan tidak hanya diukur dari dasar-dasar pengukuran finansial tradisional, tapi juga dengan performa sosial/etis dan



lingkungan dari perusahaan. Secara sederhana, konsep 3BL banyak diinterpretasikan sebagai salah satu konsep populer di dunia industry saat ini, yaitu CSR (*Corporate Social Responsibility*). Konsep CSR ini juga telah diadaptasi dalam sistem rantai suplai belakangan ini, namun adaptasi ini masih berjalan dengan sangat lambat. Di sisi lain, tingkat kepentingan tanggung jawab sosial dalam praktek rantai suplai juga semakin meningkat. Terdapat beberapa akibat positif dari penerapan CSR pada rantai suplai perusahaan pada *triple bottom line* dari perusahaan itu sendiri. Salah satu dampak positif dari penerapan CSR tersebut adalah bukti bahwa pelanggan semakin meningkatkan perhatiannya pada masalah-masalah CSR perusahaan pada rantai suplai. Terdapat beberapa riset yang telah menunjukkan bahwa tindakan mengacuhkan tanggung jawab perusahaan mengenai delapan kategori performa perusahaan (kesejahteraan binatang, bioteknologi, komunitas, lingkungan, praktek financial, kesehatan dan keselamatan, pekerja dan pembelian perusahaan) dapat berakibat pada kerugian perusahaan secara langsung.

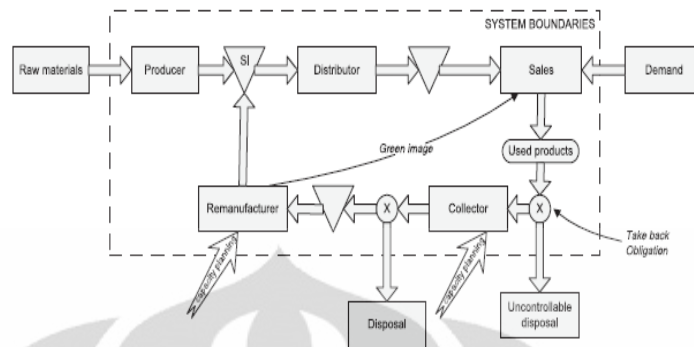
Salah satu bagian besar dari rantai suplai adalah praktek logistik. Untuk mencapai performa terbaik dari bisnis perusahaan, perusahaan bekerja sama dengan penyedia bahan baku, pengangkut barang, distributor, dan pelanggan untuk meningkatkan performa logistik mereka. Meskipun dampak lingkungan dari penerapan suatu sistem rantai suplai tidak menjadi perhatian besar pada banyak perusahaan, sejumlah perusahaan besar di Amerika Serikat telah meningkatkan kompetitivitasnya dengan melakukan beberapa aktivitas yang meningkatkan performa lingkungan mereka seperti mengurangi barang busuk dan limbah hasil pemeliharaan, material untuk operasi dan perbaikan melalui praktek pembelian dan pengelolaan persediaan yang maju, yang juga secara substansial mengurangi jumlah *scrap* dan kehilangan material, mengurangi jumlah pelatihan, *material handling*, dan pengeluaran lain untuk bahan-bahan berbahaya, meningkatkan pendapatan dengan mengubah limbah menjadi produk sampingan, mengurangi penggunaan bahan berbahaya dengan sistem pelacakan dan pelaporan material yang akurat, mengurangi penggunaan dan limbah pelarut, cat, dan bahan kimia lain, dan menggunakan kembali sumber daya bernilai dengan program *take back* yang efisien.

### **3.1.1.3 Model Sistem Dinamis Sebagai Perangkat Metodologis Perencanaan Kapasitas dalam Rantai Suplai Loop Tertutup, sebuah Pemahaman dari Jurnal *A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains***

Penerapan *reverse supply chain* telah menjadi perhatian belakangan ini, seiring dengan semakin ketatnya regulasi di dunia yang mengatur mengenai penggunaan kembali, dan juga upaya perusahaan untuk mengurangi pembelian sumber daya mentah baru untuk mendapatkan profit rantai suplai yang lebih besar. Perencanaan kapasitas menjadi bidang terpenting dalam mencapai tujuan tersebut, yaitu dengan menyesuaikan kapasitas sesuai dengan yang diatur pemerintah untuk mencapai target regulasi, dan mengembangkan kapasitas remanufaktur untuk meningkatkan keuntungan. Perencanaan kapasitas adalah masalah yang kompleks, karena keputusan untuk memperluas kapasitas membutuhkan pertimbangan mengenai banyak hal. Bahkan ketika keputusan untuk memperluas kapasitas telah dikeluarkan, masih harus dipertimbangkan lagi kapan dan berapa banyak.

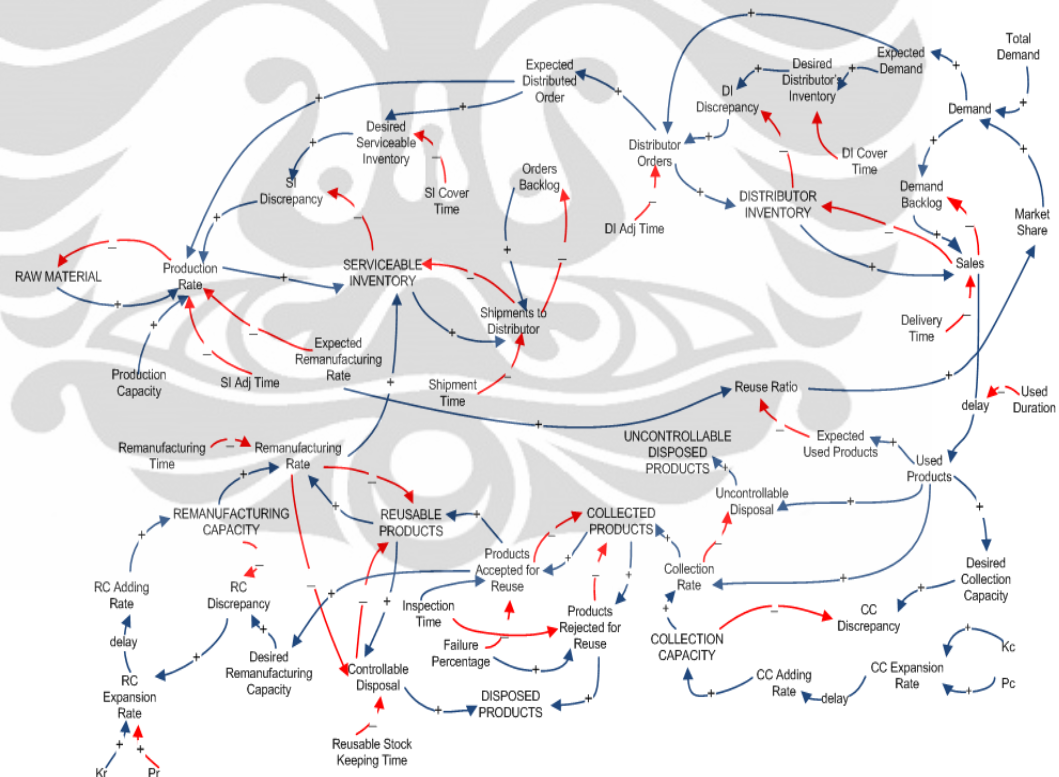
Model yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah model sistem dinamis yang diperkenalkan oleh Jay Forrester pada tahun 1961. Model sistem dinamis telah digunakan dalam berbagai penelitian terkait rantai suplai, meskipun umumnya banyak membahas mengenai rantai suplai konvensional (*forward supply chain*).

Penelitian ini berfokus pada rantai suplai loop tertutup dengan produk tunggal, termasuk kegiatan suplai, produksi, distribusi, penggunaan, koleksi, remanufaktur, dan pembuangan. Di dalam model yang dikembangkan, rantai suplai konvensional terdiri dari 2 eselon (produsen dan distributor), sedangkan dalam *reverse supply chain* diasumsikan bahwa kegiatan penggunaan kembali satu-satunya adalah remanufaktur. Loop rantai suplai tertutup oleh efek penggunaan kembali pada penjualan perusahaan (*green image*), dan pemenuhan persediaan melalui kegiatan penggunaan kembali.



**Gambar 3.1** Batasan Sistem dalam Model

Dalam penelitian ini, dikembangkan suatu *causal loop diagram* (CLD) yang memperlihatkan hubungan antar-variabel dalam studi, dan bagaimana variable-variabel tersebut dapat saling memberikan *feedback*. Di dalam CLD, terlihat 2 loop seperti yang disebutkan pada bagian sebelumnya.



**Gambar 3.2** Causal Loop Diagram dalam Model

Pengambilan keputusan perencanaan kapasitas dalam model dimulai dengan memperhitungkan kapasitas yang diinginkan melalui teknik peramalan *exponential smoothing* terhadap jumlah produk terpakai yang akan beredar di

konsumen, kemudian akan dilakukan penghitungan gap antara kapasitas yang diinginkan dengan kapasitas yang ada pada saat ini. Perhitungan gap tersebut akan dilakukan pada interval periode tertentu yang ditetapkan oleh perusahaan, misalnya satu kali dalam 1 tahun. Sesuai dengan perhitungan gap tersebut, ekspansi kapasitas akan dilakukan. Ekspansi akan dilakukan sesuai dengan strategi perusahaan untuk memaksimalkan pangsa pasar atau untuk memaksimalkan utilisasi fasilitas.

Formulasi matematis dari model ini dilakukan menggunakan perangkat lunak untuk pembuatan model dengan pendekatan Sistem Dinamis, yaitu PowerSim 2.5. Pada variabel *stock* akan terjadi “pengisian” oleh hasil bersih dari *flow* yang masuk dan keluar dari *stock* tersebut melalui integral terhadap waktu.

Hasil dari penelitian ini adalah sebuah model dinamis berdasar metodologi Sistem Dinamis untuk perencanaan kapasitas strategis untuk kapasitas remanufaktur dan koleksi dalam *reverse supply chain* dengan produk tunggal. Model yang telah dikembangkan memberikan deskripsi dan analisis yang komprehensif dari operasi sistem yang terjadi yang terkait dengan pertimbangan kapasitas, kebijakan pemerintah mengenai kewajiban penggunaan kembali dan efek *green image* terhadap permintaan produk.

Sebagai kesimpulan, jurnal ini menekankan mengenai tantangan yang dihadapi dalam penerapan *reverse supply chain* belakangan ini, seperti aliran kembali barang yang sangat tidak terduga. Perencanaan kapasitas adalah poin strategis penting untuk mengatasi masalah tersebut dengan profitabilitas yang juga baik. Jurnal ini membahas mengenai pengembangan kebijakan perencanaan kapasitas yang efisien untuk fasilitas remanufaktur dalam *reverse supply chain*, dengan mempertimbangkan aspek keuangan dan juga lingkungan. Hasil dari penelitian ini adalah model simulasi sebagai perangkat eksperimental untuk mengevaluasi kebijakan perencanaan kapasitas jangka panjang.

### **3.2 Konseptualisasi Model**

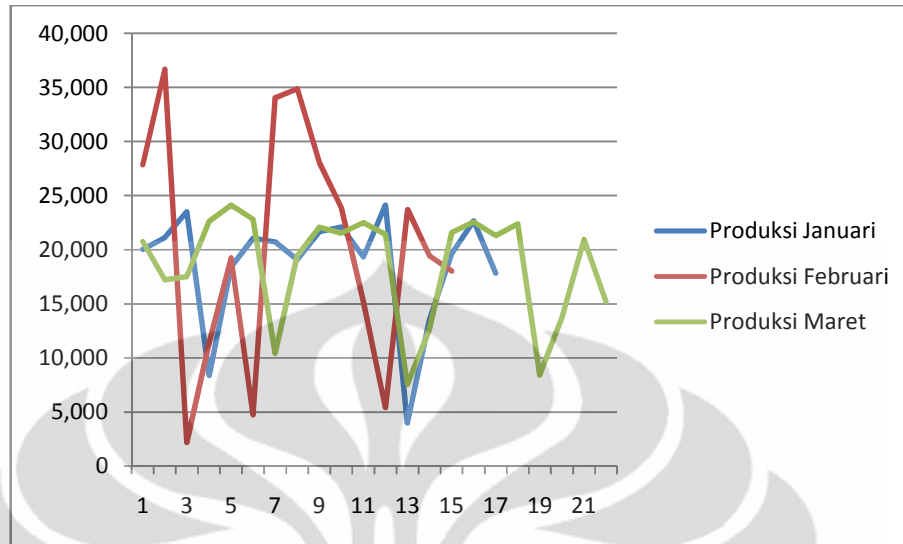
Konsep dari model yang akan dibuat adalah menciptakan pengalaman nyata dalam merencanakan kapasitas dalam lingkungan rantai suplai loop tertutup, sehingga pemain dapat mendapatkan pelajaran yang nantinya dapat diaplikasikan dalam lingkungan nyata. Pengalaman yang didapat melalui simulasi inilah yang



Seperti yang terlihat dalam CLD yang digambarkan di atas, kita dapat melihat dua loop penguatan yang berhubungan dengan penjualan. Loop penguatan (*reinforcing loop*) adalah loop sebab-akibat di mana hubungan antar-variabelnya akan semakin menguatkan suatu efek, positif ataupun negative, seiring dengan berjalannya waktu. Loop penguatan pertama (R1) adalah Loop Efek *Green Image*, yang menunjukkan bagaimana penjualan dari perusahaan dapat ditingkatkan dengan meningkatnya kegiatan penggunaan kembali. Hal ini disebabkan peningkatan kesadaran masyarakat mengenai konsep keberlanjutan di dunia, sehingga perusahaan dengan konsep yang berkelanjutan akan mendapat keunggulan yang khas di mata masyarakat, sehingga produk perusahaan akan semakin laku.

Pada loop penguatan yang kedua (R2), yaitu Loop Reduksi *Backlog* menunjukkan bagaimana kegiatan penggunaan kembali mengatasi masalah keterbatasan sumber daya dengan menyediakan input alternatif di dalam sistem produksi, sehingga kekurangan bahan baku akan teratasi, yang menyebabkan berkurangnya *backlog* baik di tingkat distributor ataupun di tingkat penjualan, yang pada gilirannya akan meningkatkan penjualan dari perusahaan. Kedua loop penguatan tersebut melalui variable rasio penggunaan kembali sebagai salah satu variabelnya. Dapat dilihat dalam gambar, bahwa peningkatan positif pada rasio penggunaan kembali akan meningkatkan penjualan pada kedua loop. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa cara untuk mencapai tujuan dalam permainan, yaitu memaksimalkan profit dengan meningkatkan penjualan, dalam rantai suplai loop tertutup adalah meningkatkan rasio penggunaan kembali di dalam sistem. Dengan kata lain, dapat disimpulkan pula bahwa mengabaikan penggunaan kembali dalam sistem akan menyebabkan penjualan yang stagnan, sedangkan penurunan rasio penggunaan kembali akan menurunkan penjualan melalui dua loop.

Sebagai dasar konsep pembuatan model, Penulis juga telah melakukan observasi ke sebuah perusahaan *consumer goods* di bidang minuman ringan yang menerapkan *reverse logistic* dalam dalam proses rantai suplainya. Berikut merupakan hipotesis dinamis mengenai moda referensi dalam produksi barang jadi dalam sistem.



**Gambar 3.4** Moda Referensi dari Observasi

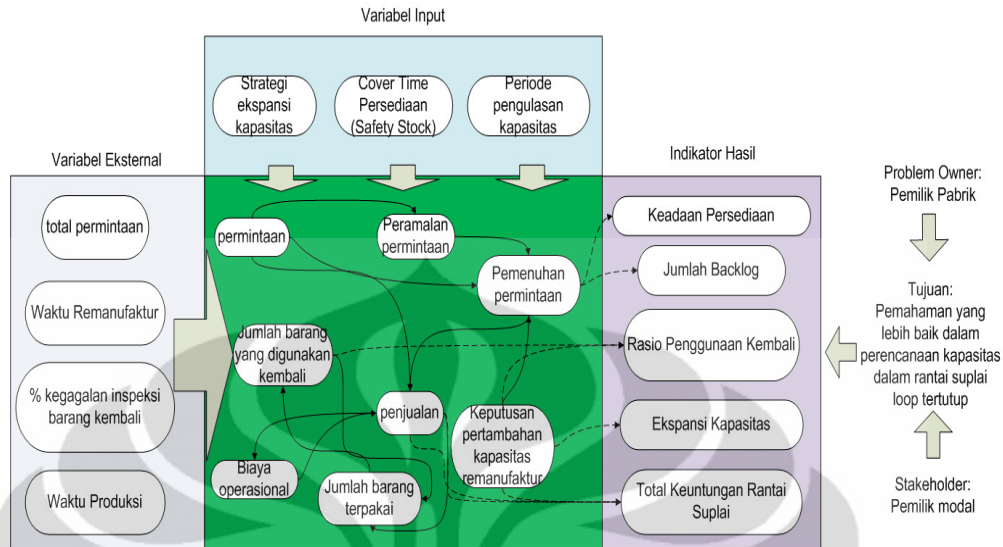
Model ini memiliki batasan dalam mensimulasikan kondisi nyata, yaitu:

1. Model terbatas untuk penerapan rantai suplai loop tertutup yang proses *reverse supply chain*-nya dikelola oleh perusahaan produsen itu sendiri
2. Model terbatas untuk sistem remanufaktur yang dilakukan hanya dengan satu tahap proses, seperti penggunaan kembali dalam industry pembotolan.
3. Model disesuaikan dengan model mental keputusan dan penerapan *reverse supply chain* di Indonesia

Dalam simulator, model akan dijalankan untuk periode 6 tahun, sesuai dukungan dari tinjauan artikel yang telah dilakukan untuk melihat perkembangan kapasitas perusahaan. Pemain akan memiliki kesempatan untuk melakukan percobaan terhadap segala macam kombinasi strategi yang dimungkinkan di dalam keputusan dalam simulator, kemudian dapat mengevaluasi keputusan tersebut melalui output yang disediakan dalam simulator.

Untuk membentuk konsep simulator semakin jelas, maka dibutuhkan diagram sistem untuk menunjukkan gambaran akan simulator yang akan dibuat.





**Gambar 3.5** Diagram Sistem

Diagram sistem ini menunjukkan variabel-variabel yang termasuk di dalam simulator, peran masing-masing variabel di dalam sistem, keterkaitan antar-variabel yang terjadi, tujuan, serta struktur kepemilikan masalah dalam pembuatan simulator. Seperti yang terlihat pada gambar, terdapat 3 variabel yang menjadi variabel input di dalam simulator, yaitu *cover time* yang merupakan keputusan *safety stock* dari persediaan di distributor dan produsen, strategi ekspansi kapasitas yang merupakan strategi mengenai seberapa besar ekspansi kapasitas remanufaktur dan koleksi yang akan dilakukan dibandingkan dengan gap kebutuhan kapasitas yang telah ditinjau, serta yang terakhir adalah periode peninjauan kapasitas yang merupakan interval waktu yang seragam di mana diadakan pengecekan gap kebutuhan kapasitas remanufaktur dan koleksi.

Variabel eksternal dalam simulator dimunculkan melalui pre-determinasi oleh penulis dan juga *random number* dengan menggunakan distribusi tertentu. Selain itu, beberapa variabel lain ditetapkan sebagai indikator dari permainan, dan muncul sebagai output dari simulasi yang dilakukan setelah pengambilan keputusan yang dilakukan pemain. Pemilihan variabel pengukuran performa ini dilakukan melalui studi observasi dan literatur.

### 3.3 Pengembangan Model

Dalam tahap pembangunan model, Penulis melakukan pembangunan ulang dari model perencanaan kapasitas dalam rantai suplai loop tertutup yang



telah dilakukan oleh Vlachos (2006). Pembangunan ulang dari model ini disertai dengan modifikasi dan simplifikasi dari model aslinya dengan mempertimbangkan relevansi dari struktur model dengan kondisi penerapan rantai suplai loop tertutup di Indonesia, dan juga untuk memfokuskan model sebagai media pembelajaran yang efektif bagi pemainnya untuk mendapatkan poin pembelajaran yang telah dirancang. Tabel di bawah ini akan menjelaskan perbedaan dari model yang dikembangkan oleh Vlachos (2006) dengan model yang Penulis kembangkan untuk simulator ini.

**Tabel 3.1** Perbedaan dari Kedua Model

No.	Model Vlachos	Model Simulator
1	Terdapat pembuangan tak terkontrol dari barang terpakai di tangan konsumen	Pembuangan tidak terkontrol tidak dimasukkan dalam model
2	Tidak terdapat formulasi matematis untuk pengambilan keputusan untuk manajemen persediaan	Terdapat cara pengambilan keputusan untuk manajemen persediaan baik di produsen ataupun di distributor
3	Variasi permintaan relatif besar	Variasi permintaan relatif kecil
4	Terdapat pembuangan terkontrol pada barang terkoleksi yang terlalu lama tidak terpakai	Tidak ada pembuangan terkontrol pada produk terkoleksi karena nilai jual barang dan ketahanannya yang tetap tinggi
5	Aliran bahan mentah berlanjut dan tidak terbatas	Aliran bahan mentah diatur oleh kebijakan pembelian bahan mentah tahunan
6	Barang yang telah diremanufaktur dialirkan langsung ke persediaan siap jual	Barang yang telah diremanufaktur dialirkan ke gudang bahan mentah untuk kemudian diproses lebih jauh dalam proses produksi

Poin pertama dilakukan untuk menyesuaikan dengan kondisi Indonesia, di mana konsumen tidak memiliki keinginan untuk membuang barang terpakai tersebut secara sembarangan tanpa diberikan ke pihak pengoleksi karena imbalan berupa uang yang diberikan oleh pihak pengoleksi untuk tiap barang yang dikembalikan. Meskipun terdapat kejadian barang hilang dalam prakteknya, namun jumlahnya sangat kecil dan dapat diabaikan dalam model.

Poin kedua dilakukan sebagai penyempurnaan model awal, karena pada model awal proses produksi maupun pengiriman ke distributor tetap dilakukan dalam keadaan apapun, tanpa mempertimbangkan kondisi persediaan yang telah meninggi ataupun jumlah persediaan yang sudah menipis.

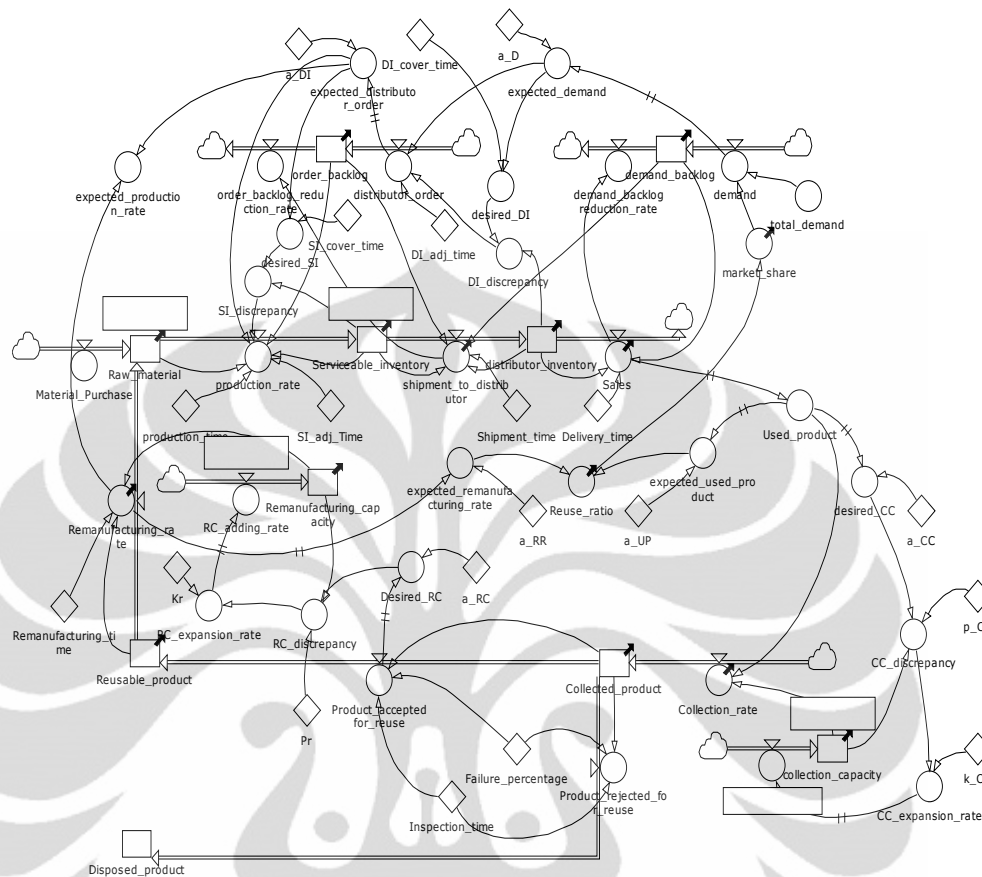
Poin ketiga dilakukan untuk menyesuaikan kondisi pasar di Indonesia yang telah mencapai tahap *mature*, sehingga variasi permintaan secara total sudah tidak lagi besar. Oleh karena itu, pangsa pasar menjadi faktor utama dari peraihan penjualan. Dengan efek ini, poin pembelajaran untuk pemain mengenai efek rasio penggunaan kembali yang mempengaruhi pangsa pasar juga semakin terasa dengan lebih jelas.

Poin keempat dilakukan untuk menyesuaikan dengan keadaan Indonesia di mana barang kembali dihargai dengan tinggi sehingga akan menjadi kerugian jika barang tersebut dibuang. Selain itu, barang yang diremanufaktur memiliki durabilitas yang tinggi, sehingga kualitasnya baru akan menurun setelah bertahun-tahun pemakaian kembali. Oleh karena itu, pembuangan terkontrol dapat diabaikan.

Poin kelima adalah penyempurnaan terhadap model awal, karena aliran terus-menerus dari bahan mentah tanpa ada kebijakan mengenai pembelian bahan mentah dari perusahaan kurang masuk akal. Oleh karena itu, penulis menambahkan sistem pembelian bahan baku tahunan seperti praktek nyata yang telah diobservasi sebelumnya.

Poin keenam dilakukan untuk menyesuaikan dengan praktek remanufaktur di Indonesia yang umumnya tidak memperlakukan barang yang telah diremanufaktur sebagai barang jadi, namun masih harus diproses lebih jauh lagi dalam proses produksi normal untuk kemudian menjadi barang siap jual.

Untuk lebih jelas mengenai struktur matematis dari model yang telah dibuat, gambar di bawah ini akan mendeskripsikan *stock and flow diagram* dari model.



**Gambar 3.6** Stock and Flow Diagram dari Model

### 3.4 Verifikasi dan Validasi Model

Validasi yang dilakukan untuk sebuah model berbasis Sistem Dinamis adalah validitas struktur, yang merupakan penyocokan antara proses dan aliran yang terjadi di dalam model dengan proses dan aliran yang terjadi pada proses nyata. Validitas dari angka yang dimunculkan dalam model dibandingkan dengan angka yang terjadi dalam kejadian nyata juga merupakan hal yang perlu diperhitungkan, namun dalam pendekatan Sistem Dinamis, kecocokan angka-perangka dalam model dengan dunia nyata bukanlah hal yang benar-benar mungkin dan juga tidak begitu penting, berbeda dengan model peramalan klasik yang mementingkan ketepatan angka dalam simulasi dengan angka di kejadian nyata.

Untuk mendeteksi kegagalan struktur di dalam model yang telah dibangun, dilakukan beberapa tes. Terdapat dua jenis tes mengenai struktur model, yaitu tes struktur langsung dan tes struktur tidak langsung. Tes struktur langsung adalah pengecekan kualitatif untuk melihat apakah struktur aliran dan proses di dalam

model yang telah dibangun dapat merepresentasikan keadaan sebenarnya. Penyocokan ini dapat dilakukan melalui peninjauan literatur dan wawancara langsung dengan pelaku nyata. Dalam penelitian ini, Penulis melakukan kedua prosedur pengecekan struktur model secara langsung. Wawancara dan observasi langsung terhadap praktek perencanaan kapasitas remanufaktur dalam rantai suplai loop tertutup telah dilakukan di sebuah perusahaan *consumer goods* di bidang minuman ringan. dalam wawancara dan observasi tersebut, Penulis telah memastikan kebenaran struktur model untuk merepresentasikan keadaan sebenarnya. Selain itu, penulis juga melakukan beberapa tinjauan literatur mengenai topik *reverse logistics*, *reverse supply chain*, *Closed-loop supply chain*, *green supply chain*, dan *sustainable supply chain* untuk membentuk struktur model yang representatif.

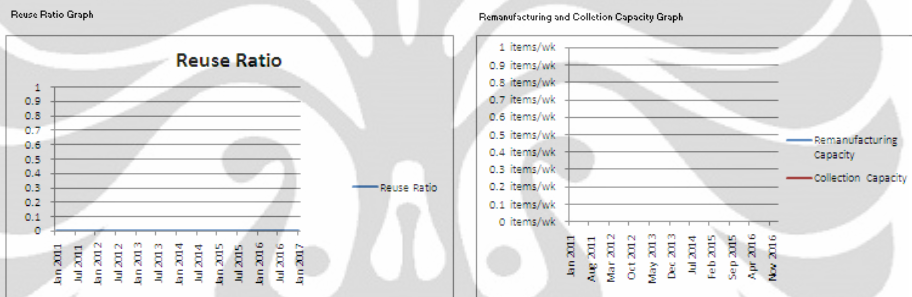
Pengecekan lain mengenai struktur model yaitu pengecekan struktur tak langsung. Bentuk dari pengecekan struktur tak langsung yang dilakukan oleh penulis di dalam model ini adalah tes *extreme-condition*. Tes ini merupakan pengecekan respon model terhadap pemasukan angka dengan nilai yang sangat besar ataupun sangat kecil, dalam batasan model. Dengan melakukan hal tersebut, Penulis dapat mengecek apakah respon model terhadap nilai-nilai ekstrem tersebut sesuai dengan logika nyata jika nilai tersebut benar-benar diterapkan. Pengecekan ini sangat baik dalam mendeteksi kelemahan model karena analisis, begitu juga dengan pembuktian hipotesis, jauh lebih mudah dilakukan jika sistem ada di dalam kondisi ekstrem. Tes ini akan menunjukkan kelemahan tersembunyi atau inkonsistensi dalam model.



**Gambar 3.7** Grafik Rasio Penggunaan Kembali dan Kapasitas Ketika dalam Model Dimasukkan Nilai Nol pada Periode Peninjauan

Gambar di atas merupakan hasil dari simulasi ketika dimasukkan nilai nol pada periode peninjauan kapasitas. Seperti yang dapat dilihat, tidak ada

peningkatan rasio penggunaan kembali ataupun kapasitas remanufaktur dan koleksi selama model dijalankan. Hasil ini merupakan hasil yang masuk akal karena jika tidak pernah dilakukan peninjauan kapasitas, maka perusahaan tidak akan pernah mengetahui adanya kesenjangan antara kebutuhan kapasitas dengan kapasitas yang ada saat ini. Karena gap tersebut tidak diketahui, oleh karena itu perusahaan tidak pernah melakukan ekspansi kapasitas. Dengan tidak pernah melakukan ekspansi kapasitas dari awal, maka perusahaan tidak pernah membangun fasilitas penggunaan kembali. Karena tidak ada fasilitas penggunaan kembali, sehingga kegiatan penggunaan kembali pun menjadi tidak ada, jumlah barang yang digunakan kembali menjadi nol, maka rasio penggunaan kembali menjadi nol.

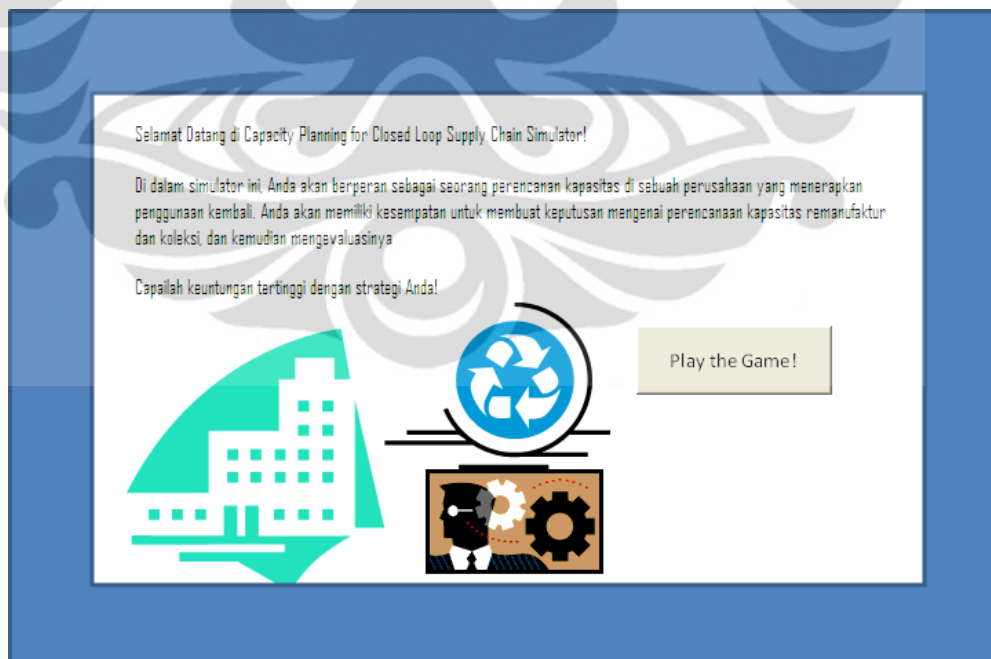


**Gambar 3.8** Grafik Rasio Penggunaan Kembali dan Kapasitas Ketika dalam Model Dimasukkan Nilai  $10^{52}$  pada Periode Peninjauan

Tes dengan memasukkan angka ekstrem besar juga perlu dilakukan untuk mengecek kevalidan model. Dalam hal ini, Penulis menggunakan nilai  $10^{52}$  pada model, lebih tepatnya pada periode peninjauan kapasitas seperti yang telah dilakukan juga di atas. Grafik rasio penggunaan kembali dan perluasan kapasitas remanufaktur dan koleksi lagi-lagi menunjukkan nilai nol yang konstan. Hal ini sesuai logika, karena dengan periode peninjauan kapasitas yang sangat besar, maka peninjauan kapasitas tidak pernah dilakukan. Dengan memasukkan nilai tersebut di atas, maka peninjauan kapasitas akan dilakukan  $10^{52}$  minggu sekali, sedangkan simulasi hanya akan dijalankan 6 tahun. Oleh karena itu, peninjauan kapasitas menjadi tidak pernah dilakukan. Alasan mengapa nilai rasio penggunaan kembali dan ekspansi kapasitas yang konstan di nilai nol sama dengan penjelasan pada bagian sebelumnya.

### 3.5 Penggunaan Model

Model yang telah dimodifikasi dibuat menjadi sebuah simulator dengan antarmuka untuk pengguna sehingga pemain dapat membuat keputusan sesuai dengan strategi yang dipikirkan tanpa harus terganggu oleh kerumitan model. Setelah pemain memasukkan keputusannya, pemain harus menekan tombol “Check Decision” untuk mengecek kevalidan input yang dilakukan, kemudian ketika keputusan telah valid, maka simulasi dapat dijalankan. Perilaku seiring waktu dari sistem sebagai hasil dari simulasi dengan keputusan-keputusan yang telah dilakukan oleh pemain akan ditampilkan dalam antarmuka khusus untuk output. Dengan begitu, pemain dapat mengevaluasi hasil keputusannya tersebut, dan mengetahui dampak dari keputusan yang telah dilakukan pada keputusan awal. Pemain dapat memainkan simulator berulang-ulang dan melihat dampak dari masing-masing keputusan. Proses *trial and error* tersebutlah yang diharapkan menjadi cara bagi pemain untuk mendapatkan poin pembelajaran yang telah disebutkan sebelumnya, untuk dapat mengerti metode pengambilan keputusan perencanaan kapasitas dalam rantai suplai loop tertutup.



**Gambar 3.9** Halaman Intro Antarmuka Simulator



Pada saat membuka simulator, pemain akan dihadapkan pada halaman pengenalan mengenai simulator. pada halaman ini, akan terdapat pengenalan singkat mengenai simulator, dan tombol untuk memulai pengambilan keputusan.

Cost Variable	Value
Remanufacturing Capacity Expansion Construction Cost	700000 w.k Rp/items
Collection Capacity Expansion Construction Cost	300000 w.k Rp/items
Serviceable Inventory Transportation Cost	10 Rp/items
Distributor Inventory Transportation Cost	10 Rp/items
Collection Cost	5 Rp/items
Remanufacturing Cost	250 Rp/items
Production Cost	1250 Rp/items
Serviceable Inventory Holding Cost	10 Rp/wk/items
Distributor Inventory Holding Cost	15 Rp/wk/items
Reusable Products Inventory Holding Cost	1 Rp/wk/items

**Gambar 3.10** Halaman Input Antarmuka Simulator

Terdapat tiga variabel input untuk pemain simulator, yaitu input Safety Stock, Expansion Strategy, dan Capacity Review Period. Tiga variabel tersebut dipilih karena tingkat kepentingannya dalam pencapaian poin pembelajaran bagi para pemain simulator.

Safety Stock adalah nilai persentase dari 0-90%, yang merepresentasikan berapa banyak produk lebih yang ingin dipesan dibandingkan dengan nilai perkiraan yang didapatkan dari *exponential smoothing* di dalam simulator. Sebagai contoh, nilai 20% berarti pemain mengambil keputusan untuk memesan barang 120% dari hasil perkiraan permintaan yang dilakukan melalui *exponential smoothing* di dalam simulator. Pemain akan membuat keputusan untuk persediaan produsen dan juga persediaan distributor. Nilai dalam input ini dibatasi antara 0-90%, karena merupakan suatu hal yang tidak logis jika diputuskan untuk memesan lebih sedikit dari nilai yang telah diramalkan, sedangkan memesan dua kali lipat dari nilai yang telah diramalkan juga tidak masuk akal di dalam preteknik nyata di dunia industri. Mengambil keputusan Safety Stock yang tinggi meningkatkan kemampuan menghadapi *backlog*, namun di sisi lain juga meningkatkan biaya operasional, dan juga sebaliknya.

Capacity Expansion Strategy adalah pilihan di antara strategi Leading, Matching, dan Trailing, yang merepresentasikan keputusan pemain untuk

melakukan ekspansi lebih dari yang dibutuhkan untuk memastikan pemenuhan permintaan, melakukan ekspansi kapasitas dengan menyamakan dengan kebutuhan permintaan, atau melakukan ekspansi lebih sedikit daripada yang dibutuhkan dalam permintaan untuk memaksimalkan utilitas dari fasilitas. Pemain harus membuat keputusan strategi ekspansi kapasitas untuk kapasitas koleksi dan juga koleksi remanufaktur. Nilai variabel dibuat 0,85 dari kesenjangan kebutuhan untuk strategi ekspansi kapasitas Trailing, nilai 1 untuk strategi ekspansi kapasitas Matching, dan 1,15 untuk strategi ekspansi kapasitas Leading. Input ini bukan hanya strategi vital untuk mengatasi backlog dan meningkatkan rasio penggunaan kembali, namun juga penting untuk pengelolaan biaya investasi kapasitas.

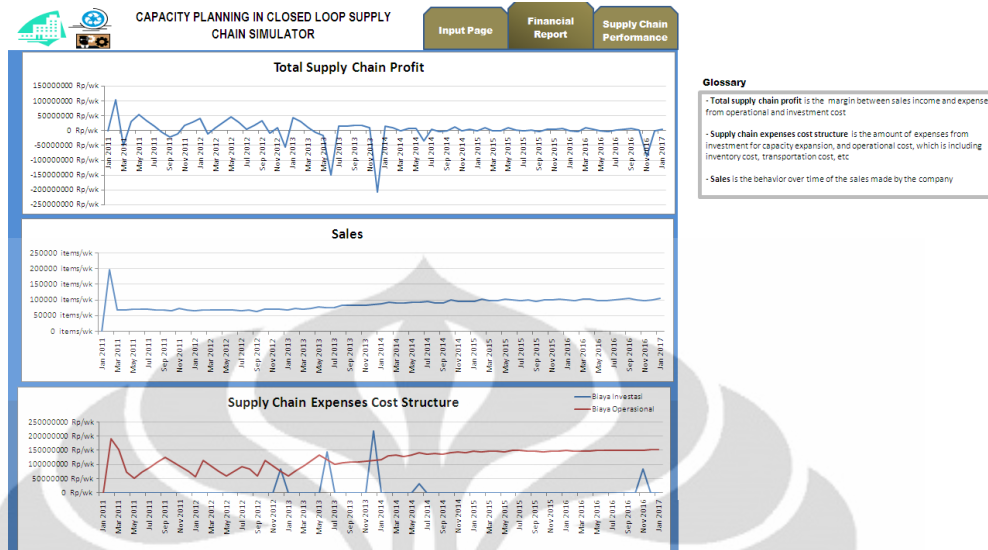
Capacity Review Period adalah keputusan kapan peninjauan kebutuhan kapasitas akan dilakukan. Keputusan adalah input interval peninjauan tersebut, sebagai contoh, input 50 minggu berarti kesenjangan kebutuhan kapasitas akan ditinjau setiap 50 minggu sekali. Pemain harus mengambil keputusan periode peninjauan untuk kapasitas koleksi dan kapasitas remanufaktur. Keputusan mengenai variabel ini membuat pemain belajar untuk mengerti mengenai kapan dan seberapa banyak uang yang akan diinvestasikan jika strategi yang ia putuskan diterapkan. Pertimbangan biaya pada variabel ini adalah salah satu faktor penting dalam pengelolaan biaya investasi kapasitas.

Simulator ini juga memiliki struktur biaya untuk memberikan tantangan financial dalam keputusan pemain. Variabel biaya tersebut dideskripsikan dalam tabel di bawah ini.

**Tabel 3.2** Tabel Variabel Biaya dalam Simulator

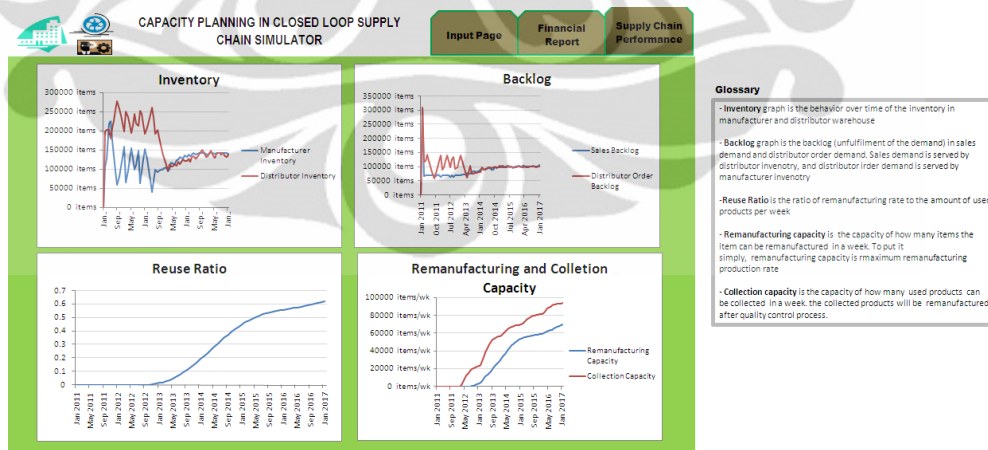
Variabel Biaya	Nilai
Biaya Konstruksi Ekspansi Kapasitas Remanufaktur	700000 wk.Rp/Item
Biaya Konstruksi Ekspansi Kapasitas Koleksi	300000 wk.Rp/Item
Biaya Transportasi Persediaan Siap Jual	10 Rp/item
Biaya Transportasi Persediaan Distributor	10 Rp/item
Biaya Koleksi	5 Rp/Item
Biaya Remanufaktur	250 Rp/Item
Biaya Produksi	1250 Rp/item
Biaya <i> Holding</i> Persediaan Barang Jadi	10 Rp/wk/item
Biaya <i> Holding</i> Persediaan Distributor	15 Rp/wk/item
Biaya <i> Holding</i> Persediaan Produk <i>Reuse</i>	1 Rp/wk/Item





**Gambar 3.11** Halaman Output Finansial Simulator

Dalam output finansial simulator, terdapat grafik total keuntungan rantai suplai, struktur pengeluaran, dan penjualan. Keuntungan total memberikan pemain gambaran mengenai perilaku finansial dari simulator setelah dimasukkan keputusan pemain, struktur pengeluaran mendeskripsikan kapan dan sebesar apa dan kapan biaya investasi dan biaya operasional pada sistem seiring waktu. Sedangkan grafik penjualan menggambarkan efek keputusan terhadap penjualan.



**Gambar 3.12** Halaman Output Performa Rantai Suplai Simulator

Output performa rantai suplai terdiri dari grafik persediaan, *backlog*, rasio penggunaan kembali, dan juga kapasitas remanufaktur dan koleksi. Grafik persediaan memberikan gambaran pada pemain mengenai perilaku persediaan seiring waktu pada persediaan di pabrik ataupun di distributor. Grafik *backlog*,

seperti juga grafik persediaan, memberikan gambaran *backlog* seiring waktu yang terjadi pada sistem, untuk permintaan penjualan ataupun pemesanan distributor. Permintaan penjualan dilayani oleh persediaan distributor, sedangkan pemesanan distributor dipenuhi oleh persediaan pabrik. Grafik rasio penggunaan kembali adalah grafik pergerakan perbandingan antara jumlah barang yang diremanufaktur per minggu dengan jumlah barang terpakai tiap minggunya. Grafik ini akan membantu pemain mengerti efek *green image* pada penjualan dan keuntungan financial perusahaan, serta mengetahui adaptabilitas sistem terhadap perubahan peraturan pemerintah mengenai lingkungan di masa depan. Grafik kapasitas, seperti namanya, memperlihatkan bagaimana perkembangan kapasitas remanufaktur dan koleksi sebagai akibat dari keputusan yang telah dilakukan oleh pemain.

Simulator juga menyediakan fungsi untuk menyimpan hasil simulasi yang telah dilakukan sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk mempermudah pemain untuk membandingkan performa sistem di dalam grafik di antara dua keputusan, yaitu keputusan yang disimpan dan keputusan saat ini. Untuk kenyamanan penglihatan, penyimpanan hanya bisa dilakukan untuk satu keputusan, sehingga dalam grafik output hanya terdapat dua hasil simulasi. Penulis mempertimbangkan bahwa jika terdapat lebih dari 2 keputusan dalam 1 grafik sebagai pembanding, maka grafik akan menjadi terlalu rumit untuk dibaca, terutama pada grafik-grafik yang mengalami osilasi seperti *backlog* dan persediaan.

## **BAB 4**

### **ANALISIS**

#### **4 Analisis**

Bab ini akan memberikan penjelasan mengenai analisis dari penggunaan simulator manajemen yang telah dibuat. Analisis akan dilakukan berdasarkan pencapaian poin pembelajaran oleh pemain dalam *pilot testing* yang telah dilakukan.

##### **4.1 Metode Pengujian Pencapaian Poin Pembelajaran**

Untuk mendapatkan data kualitatif mengenai pencapaian poin pembelajaran dalam simulator, dilakukan *pilot testing* terhadap beberapa mahasiswa untuk mendapatkan *feedback* untuk perkembangan simulator sebagai media pembelajaran kuliah di masa depan.

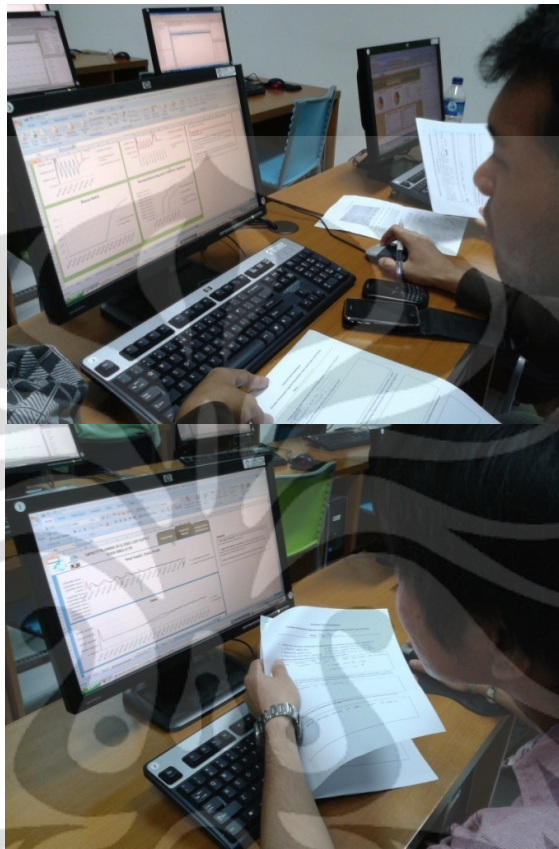
Dalam *pilot testing*, beberapa mahasiswa memainkan simulator setelah sebelumnya diberikan penjelasan mengenai topik dari simulator dan ruang lingkupnya. Selain itu, pemain juga diberikan petunjuk penggunaan mengenai fungsi-fungsi simulator serta cara memainkan simulator. Setelah diberikan *briefing*, pemain akan menghadapi tampilan simulator dan kemudian memainkan simulator dengan beberapa tugas yang diberikan oleh penulis. Tugas yang diberikan berupa pertanyaan kuesioner yang memberi target dan tujuan dalam memainkan simulator. Pertanyaan di dalam simulator memiliki korelasi langsung dengan poin pembelajaran yang telah dirancang dalam penelitian ini. Berikut merupakan matriks korelasi pertanyaan dalam kuesioner dengan poin pembelajaran yang telah dibuat.

**Tabel 4.1** Korelasi Antar Kuesioner dengan Poin Pembelajaran

No	Poin Pembelajaran	keterkaitan antar-variabel yang kompleks dan dinamis dalam rantai suplai loop tertutup	efek penerapan rantai suplai loop tertutup terhadap keuntungan finansial rantai suplai	interaksi antar-variabel yang menguntungkan bagi perusahaan dalam perencanaan kapasitas	faktor mana yang berpengaruh pada hasil tertentu dalam lingkungan dinamis, dan juga seperti apa dan sebesar apa pengaruhnya
1	Variabel apa saja yang mempengaruhi perkembangan kapasitas remanufaktur?	o		o	o
2	Apakah efek keputusan safety stock yang tinggi pada sistem?	o		o	o
3	Bagaimana efek perkembangan kapasitas remanufaktur terhadap penjualan? Kenapa?	o	o	o	o
4	Bagaimana mempercepat perkembangan kapasitas remanufaktur?	o		o	o
5	Apakah pengaruh penerapan strategi leading capacity expansion pada sistem?	o		o	o
6	Apakah safety stock adalah salah satu variabel yang mempengaruhi penambahan kapasitas koleksi?	o		o	o
7	Apakah strategi trailing expansion akan mengurangi jumlah inventori dalam sistem?	o		o	o
8	Bagaimana mempercepat pertumbuhan reuse ratio?	o	o	o	o
9	Bagaimana mengurangi biaya operasional dalam sistem?	o	o	o	o
10	Bagaimana cara menaikkan sales?	o	o	o	o

Seperti yang tergambar dalam tabel di atas, masing-masing pertanyaan memiliki korelasi langsung dengan poin pembelajaran yang telah dirancang. Dengan menjawab pertanyaan dalam kuesioner ini, penulis dapat mengukur keberhasilan pemain mendapatkan poin pembelajaran dalam simulator. Jawaban

benar diukur dari keterkaitan antar variabel yang dibuat dalam CLD untuk poin pembelajaran yang telah disusun sebelumnya.



**Gambar 4.1** Pelaksanaan *Pilot Testing* Simulator

#### **4.2 Analisis Pencapaian Poin Pembelajaran**

Dalam analisis ini, akan dilakukan analisis mengenai pencapaian poin pembelajaran dari hasil penggunaan simulator dalam *pilot testing*. Analisis ini akan mencari *feedback* bagi perkembangan simulator pada penelitian lebih lanjut. Poin pembelajaran dari simulator ini, seperti yang telah disebutkan dalam tabel di atas adalah:

1. keterkaitan antar-variabel yang kompleks dan dinamis dalam rantai suplai loop tertutup
2. efek penerapan rantai suplai loop tertutup terhadap keuntungan finansial rantai suplai
3. interaksi antar-variabel yang menguntungkan bagi perusahaan dalam perencanaan kapasitas

4. faktor mana yang berpengaruh pada hasil tertentu dalam lingkungan dinamis, dan juga seperti apa dan sebesar apa pengaruhnya.

Analisis akan dilakukan untuk tiap poin pembelajaran tersebut.

#### 4.2.1 Keterkaitan Antar-variabel yang Kompleks dan Dinamis dalam Rantai Suplai Loop Tertutup

Berikut merupakan respon jawaban kuesioner yang diberikan pada 4 responden mengenai pertanyaan yang mengacu pada pencapaian poin pembelajaran ini, yaitu pertanyaan nomor 1, 2, 4, dan 6.

**Tabel 4.2** Jawaban Responden terhadap Pertanyaan 1, 2, 4, dan 6

Jawaban	Responden			
	1	2	3	4
Pertanyaan 1	Rem.Cap Exp Strategy, Rem.Cap Review Period, Col.Cap.Review Period	Rem.Cap Exp Strategy, Rem.Cap Review Period, Col.Cap.Review Period, Col.Cap. Exp Strategy	Rem.Cap Exp Strategy, Rem.Cap Review Period, Col.Cap.Review Period, Col.Cap. Exp Strategy	Rem.Cap Exp Strategy, Rem.Cap Review Period, Col.Cap.Review Period, Col.Cap. Exp Strategy, Distributor dan Manufacturer Safety Stock
Pertanyaan 2	Inventory makin banyak	Operational cost berubah, peningkatan pada kedua inventory, perubahan pada kedua backlog	Inventori naik, backlog menurun	Profit makin fluktuatif, biaya operasional naik, sales sedikit berubah naik
Pertanyaan 4	Rem.Cap Review Period	Rem.Cap Exp Strategy, Rem.Cap Review Period, Col.Cap.Review Period, Col.Cap. Exp Strategy	Rem.Cap Review Period	Rem.Cap Review Period
Pertanyaan 6	Tidak	Ada efek, namun tidak signifikan dan hanya terjadi pada rentang waktu pendek	ya, tapi sedikit sekali	Tidak berpengaruh

Berdasarkan CLD poin pembelajaran yang telah dibuat, semua responden menjawab dengan benar, namun dengan tingkat ketelitian yang berbeda. Pada

beberapa responden yang sangat memperhatikan detail, mereka menemukan efek minor dari *safety stock* terhadap kapasitas remanufaktur, meskipun efek tersebut tidak signifikan. Pada beberapa responden yang beranggapan bahwa perubahan minor tersebut tidak signifikan untuk disebut sebagai efek, mereka menjawab tidak terdapat efek. Karena tingkat ketelitian terhadap pengaruh sangat minor ini, terdapat beberapa perbedaan jawaban pada pertanyaan 1 dan 6. Namun, kedua jawaban tersebut menunjukkan kemampuan pemain dalam mendeteksi hubungan antar-variabel yang mempengaruhi kapasitas remanufaktur.

Pada pertanyaan 2, terdapat beberapa perbedaan dalam jawaban responden. Beberapa responden hanya melihat efek langsung pada keputusan *safety stock* tinggi yaitu pada kenaikan jumlah persediaan, namun beberapa responden lain menunjukkan pengertian terhadap efek lain dari meningkatnya persediaan akibat naiknya keputusan *safety stock* seperti meningkatnya biaya operasional dan menurunnya *backlog*. Namun, secara umum dapat disimpulkan bahwa pemain telah mendapatkan gambaran umum dari efek keputusan tersebut pada sistem rantai suplai loop tertutup.

#### 4.2.2 Efek Penerapan Rantai Suplai Loop Tertutup Terhadap Keuntungan Finansial Rantai Suplai

Berikut merupakan respon jawaban kuesioner yang diberikan pada 4 responden mengenai pertanyaan yang mengacu pada pencapaian poin pembelajaran ini, yaitu pertanyaan nomor 3 dan 8.

**Tabel 4.3** Jawaban Responden Terhadap Pertanyaan 3 dan 8

Jawaban	Responden			
	1	2	3	4
Pertanyaan 3	Ada hubungan, namun sepertinya sales cenderung stabil	Jika kapasitas remanufaktur meningkat, terdapat peningkatan penjualan	Berpengaruh, dan faktor yang paling mempengaruhi adalah capacity review period	Terdapat peningkatan, tapi tidak begitu signifikan
Pertanyaan 8	Capacity expansion strategy	Rem.Cap Exp Strategy, Rem.Cap Review Period, Col.Cap.Review Period, Col.Cap. Exp Strategy	Capacity expansion strategy, capacity review period	Memperkecil nilai capacity review period

Pada pertanyaan 3, semua menyadari efek perkembangan kapasitas remanufaktur pada penjualan, namun beberapa menyebutkan bahwa peningkatan yang terjadi kurang signifikan. Pada formulasi model yang digunakan dalam simulator, terdapat efek kapasitas remanufaktur terhadap rasio penggunaan kembali, yang mempengaruhi penjualan melalui *green image*. Efek tersebut cukup signifikan yaitu maksimal mencapai 6% peningkatan pangsa pasar, yang berpengaruh langsung pada peningkatan dengan jumlah yang kurang lebih sama pada penjualan. Efek ini terlihat kurang begitu signifikan bagi pemain karena tampilan grafik yang kurang mampu menggambarkan signifikansi perubahan sekitar 6% pada penjualan, meskipun secara angka, peningkatan yang terjadi signifikan. Pada kombinasi keputusan yang perubahan rasio penggunaan kembalinya tidak begitu besar, efek pada penjualan hanya sekitar 3-4%. Hal ini juga menyebabkan peningkatan penjualan tidak terlihat menonjol. Sebagai *feedback*, tampilan grafik yang lebih detail dan laporan penjualan yang lebih menarik dapat dikembangkan untuk kemudahan pemain mengenali efek *green image* tersebut. Namun, secara umum, dapat terlihat bahwa pemain telah dapat mengenali efek *green image* pada penjualan.

Sebagai kelanjutan dari pertanyaan 3, pertanyaan 8 mencoba mengajak pemain untuk lebih mendefinisikan variabel yang mempengaruhi perkembangan rasio penggunaan kembali yang berefek pada penjualan. Dari jawaban yang telah diberikan, dapat terlihat bahwa tiap pemain telah dapat mengenali dan bahkan mendefinisikan variabel yang mempengaruhi perkembangan rasio penggunaan kembali. Dengan ini, pemain telah dapat memformulasikan strategi yang tepat untuk menaikkan penjualan melalui *green image* yang dicapai dengan keputusan di bidang perencanaan kapasitas.

#### **4.2.3 Interaksi Antar-variabel yang Menguntungkan bagi Perusahaan dalam Perencanaan Kapasitas**

Berikut merupakan respon jawaban kuesioner yang diberikan pada 4 responden mengenai pertanyaan yang mengacu pada pencapaian poin pembelajaran ini, yaitu pertanyaan nomor 9 dan 10.



Tabel 4.4 Jawaban Responden Terhadap Pertanyaan 9 dan 10

Jawaban	Responden			
	1	2	3	4
Pertanyaan 9	Capacity review period	Capacity review period	Safety stock rendah, Exp strategi trailing, review 100 week	Safety stock rendah, dan capacity review period yang jarang
Pertanyaan 10	Safety Stock rendah, capacity expansion matching, review period kecil	Safety Stock tinggi, expansion strategy leading, review period kecil	Safety stock tinggi, capacity expansion strategy leading, review period 25 minggu	Safety stock tinggi, capacity expansion strategy leading

Pada pertanyaan 9, terdapat beberapa perbedaan kecil. Hal tersebut lagi-lagi kembali pada tingkat ketelitian dari responden. Berdasarkan pengaruh dalam game, ketiga variabel input memiliki efek terhadap biaya operasional dalam sistem, namun, perubahan ekstrem pada Capacity Review Period yang dapat diubah dari 25 minggu menjadi 100 minggu (margin jarak ekstrem variabel input terbesar dalam simulator) membuat Capacity Review Period sebagai pengaruh yang lebih kasat mata terutama pada grafik *output*. Hal ini memberikan *feedback* bagi simulator, yaitu untuk memperkecil margin pilihan keputusan dalam Capacity Review Period, sehingga efek yang diberikannya tidak terlalu menonjol sehingga menutupi pengaruh faktor lain.

Perbedaan minor muncul dalam jawaban, yaitu terdapat satu responden yang memformulasikan strategi yang agak berbeda. Hal ini disebabkan karena responden ini juga mempertimbangkan aspek biaya dalam sistem, sehingga mencoba untuk menyeimbangkan hasil penjualan dengan biaya yang dikeluarkan. Selain itu, hal ini juga disebabkan oleh pengaruh margin keputusan ekstrem pada Capacity Review Period seperti yang telah dibahas sebelumnya, yang menyebabkan pengaruhnya sedikit menutupi efek variabel lain. *Feedback* yang diambil sama dengan pembahasan sebelumnya, yaitu mengenai pengecilan margin pilihan keputusan dalam Capacity Review Period. Namun, semua responden telah mampu memformulasikan strategi definitif terhadap objektif tertentu di dalam sistem, menyangkut pertanyaan 10, objektif tersebut adalah menaikkan penjualan.

Hal ini menunjukkan keberhasilan simulator menyampaikan pola pikir mengenai keterkaitan antar variabel yang menguntungkan.

#### 4.2.4 Faktor Mana yang Berpengaruh pada Hasil Tertentu dalam Lingkungan Dinamis, dan juga Seperti Apa dan Sebesar Apa Pengaruhnya

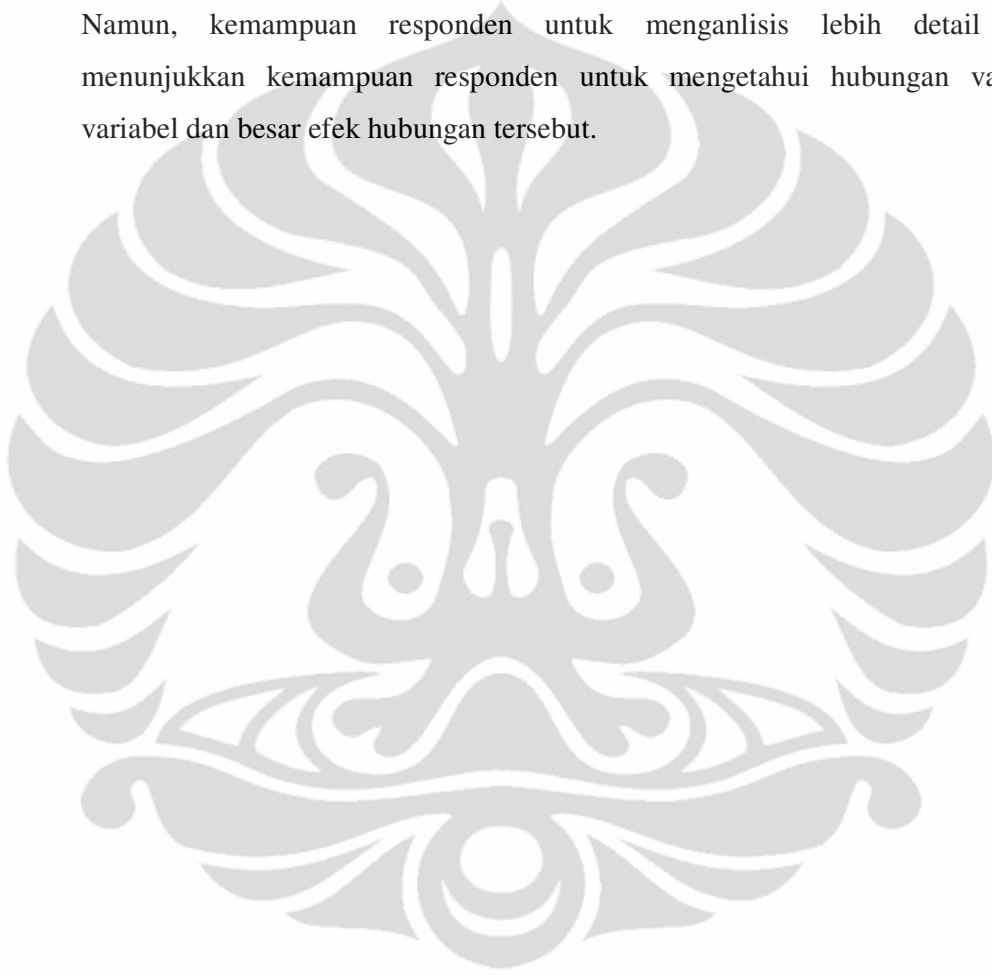
Berikut merupakan respon jawaban kuesioner yang diberikan pada 4 responden mengenai pertanyaan yang mengacu pada pencapaian poin pembelajaran ini, yaitu pertanyaan nomor 5 dan 7.

**Tabel 4.5** Jawaban Responden Terhadap Pertanyaan 5 dan 7

Jawaban	Responden			
	1	2	3	4
Pertanyaan 5	Peningkatan reuse ratio, perubahan kecil pada remanufacturing dan collection capacity	perubahan pada sales, investment cost meningkat, reuse ratio meningkat, remanufacturing dan collection capacity naik	Peningkatan reuse ratio dan remanufacturing dan collection capacity, namun tidak begitu signifikan	Penjualan meningkat, tapi cost juga meningkat
Pertanyaan 7	ada efek, namun tidak signifikan	ada efek, namun sedikit pada manufacturer inventory	ada efek, tapi sangat sedikit	ya

Pada pertanyaan 5, semua responden telah mampu menganalisis hubungan antar variabel dalam sistem dengan baik, dan juga mendefinisikan besar pengaruh tersebut dengan baik. *Feedback* yang dapat digali dari pencapaian poin pembelajaran pemain dalam pertanyaan ini adalah beberapa responden menyatakan efek kurang besar dari strategi ekspansi terhadap perkembangan kapasitas. Hal ini disebabkan oleh perbedaan margin antar strategi ekspansi relatif tidak besar. Dalam model diformulasikan bahwa strategi *trailing* adalah ekspansi 85% dari kesenjangan, *matching* adalah ekspansi 100% dari kesenjangan, dan *leading* adalah ekspansi 115% dari kesenjangan. Perbedaan ini perlu sedikit diperbesar untuk melihat dampak strategi terhadap kapasitas, ditambah dengan efek margin Capacity Review Period yang cukup menonjol.

Para responden menyatakan efek yang kecil dari strategi ekspansi terhadap persediaan perusahaan. Tingkat ketelitian responden seiring dengan berjalannya simulator meningkat, sehingga dapat melihat perubahan kecil tersebut. Namun, perubahan tersebut memang kurang signifikan, karena efek dari penerapan strategi ekspansi mengalami *delay* yang cukup lama untuk berpengaruh pada persediaan. Namun, kemampuan responden untuk menganalisis lebih detail dapat menunjukkan kemampuan responden untuk mengetahui hubungan variabel-variabel dan besar efek hubungan tersebut.



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

#### **5 Kesimpulan**

Bab ini akan memberikan kesimpulan dari penelitian dan analisis dari penelitian yang telah dilakukan, serta memberikan saran untuk penelitian lebih lanjut di masa depan.

##### **5.1 Kesimpulan Penelitian**

Berdasarkan analisis yang telah dijabarkan pada bagian sebelumnya, terdapat beberapa kesimpulan yang diambil:

1. Penelitian telah menghasilkan simulator manajemen yang dapat menjadi media pembelajaran dalam pengambilan keputusan perencanaan kapasitas dalam rantai suplai loop tertutup.
2. Simulator manajemen yang telah dikembangkan membantu pemain untuk memahami keterkaitan antar-variabel yang kompleks dan dinamis dalam rantai suplai loop tertutup.
3. Simulator manajemen yang telah dikembangkan membantu pemain untuk memahami efek penerapan rantai suplai loop tertutup terhadap keuntungan finansial rantai suplai.
4. Simulator manajemen yang telah dikembangkan membantu pemain untuk memahami interaksi antar-variabel yang menguntungkan bagi perusahaan dalam perencanaan kapasitas.
5. Simulator manajemen yang telah dikembangkan membantu pemain untuk memahami faktor mana yang berpengaruh pada hasil tertentu dalam lingkungan dinamis, dan juga seperti apa dan sebesar apa pengaruhnya
6. Margin keputusan Capacity Review Period dalam simulator terlalu besar, membuat efeknya menjadi sedikit lebih menonjol dibanding beberapa variabel lain dalam sistem.
7. Margin keputusan strategi ekspansi dalam simulator terlalu kecil, membuat efeknya sedikit kurang mencolok dibanding dengan variabel lain pada keputusan tertentu.

8. Tampilan grafik membutuhkan tingkat kedetailan yang lebih, untuk membantu pemain menganalisis dengan lebih akurat.
9. Laporan hasil simulator dalam bentuk angka yang lebih *user friendly* dibutuhkan untuk analisis ekstensif terhadap beberapa hasil simulator.

## 5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah dibuat pada bagian sebelumnya, maka saran yang dapat diberikan penulis adalah:

1. Penggunaan simulator dalam sistem pembelajaran dapat menjadi solusi yang baik untuk mempercepat pemahaman terhadap sistem dan hubungan antar-variabelnya
2. Pengembangan lebih lanjut dari simulator dapat dikombinasikan dengan tampilan yang lebih interaktif.
3. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan simulator ke bidang rantai suplai loop tertutup yang lain, misalnya perencanaan distribusi dan lain-lain.

## DAFTAR REFERENSI

- Akhmad Hidayatno, I. P. (2006). Design of Family-Owned Business Simulation Game Using System Dynamics Approach to Facilitate Practices of Interpreting and Analyzing Financial Reports. *Jurnal Teknologi*, 1-7.
- Aref A. Hervani, M. M. H., Joseph Sarkis (2005). Performance measurement for green supply chain management. *Benchmarking: An International Journal*, 12(4), 330-353.
- Bowden, R., Ghosh, B., dan Harrell, C. (2000). *Simulation using Promodel*. USA: The McGraw Hill Companies, Inc
- Craig Shepherd, H. G. (2005). Measuring supply chain performance: current research and future directions. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 55(3/4), 242-258.
- Dimitrios Vlachos, P. G., Eleftherios Iakovou (2006). A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains. *Computers & Operations Research*, 34, 367-394.
- Fleischmann, M. (2000). *Quantitative Models for Reverse Logistics (Kwantitatieve modellen voor retourlogistiek)*. Erasmus University, Rotterdam.
- Leao, A. G. d. (1990). *Porto Alegre 1994 - Game for Production Management*.
- Melissa J. Markley, L. D. (2007). Exploring future competitive advantage through sustainable supply chains. *international Journal of Physical Distribution and Logistic Management*, 27(9), 763-774.
- Moritz Fleischmann, J. M. B.-R., Rommert Dekker, Erwin van der Laan, Jo A.E.E. van Nunen, Luk N. Van Wassenhove (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*, 103, 1-17.
- Jenna Barnes. (n.d). System dynamics and its use in organization. *Learning Organization Journal*, No. 0342.511
- Riis, J. O. (Ed.). (1995). *Simulation Games and Learning in Production Management*. London, UK: Chapman & Hall.

Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for A Complex World*. Boston: The McGraw Hill Companies, Inc.

Thorsteinsson, U. (1988). *The LOGI - Game - a Dynamic Modular Logistic Game*

