

LAPORAN PENELITIAN

**MODEL ONGKOS RANTAI PASOK GABUNGAN PRODUSEN
DAN DISTRIBUTOR UNTUK PRODUK YANG DIJUAL
DENGAN GARANSI PADA LINGKUNGAN SISTEM JUST IN
TIME (JIT)**



DISUSUN OLEH:

**Ag. Gatot Bintoro, ST., MT.
Dr. Pranowo, ST., MT.**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA**

2011
HALAMAN PENGESAHAN

1. a. Judul Penelitian : Model Ongkos Rantai Pasok Gabungan Produsen dan Distributor untuk Produk yang Dijual Dengan Garansi pada Lingkungan Sistem Just in Time (JIT)
- b. Macam penelitian : Lapangan
2. Personalia Ketua Penelitian
 - a. Nama : Ag. Gatot Bintoro, ST., MT.
 - b. Tempat, tanggal lahir : Klaten, 12 Agustus 1972
 - c. Jenis Kelamin : Laki-laki
 - d. NPP : 03.97.617
 - e. Jabatan : Lektor / III_d
 - akademik/Golongan : Fakultas Teknologi Industri / Teknik Industri
 - Fakultas/Prodi : Fakultas Teknologi Industri / Teknik Industri
3. Jumlah Anggota : 1 orang
 Nama Anggota : Pranowo NPP: 09.96.596
4. Lokasi Penelitian : Laboratorium Pemodelan dan Optimasi
 Fakultas Teknologi Industri
 Universitas Atma Jaya Yogyakarta
5. Jangka waktu penelitian : 6 bulan
6. Biaya yang diperlukan : Rp. 3.740.000,00

Yogyakarta, 4 Pebruari 2011

Mengetahui:

Dekan FTI UAJY

Ketua Peneliti

Ir. B. Kristyanto, M.Eng., Ph.D.

Ag. Gatot Bintoro, ST., MT.

Menyetujui:

Ketua LPPM UAJY

Dr. M.F. Shellyana Junaedi, M.Si.

ABSTRAK

Model Ongkos Rantai Pasok Gabungan Produsen dan Distributor untuk Produk yang Dijual Dengan Garansi pada Lingkungan Sistem Just in Time (JIT)

Kerjasama antara produsen dan distributor dalam sistem manajemen rantai pasok, dimana produsen menerapkan JIT perlu dilakukan. Karena produsen menerapkan JIT maka pengiriman produk akan dilakukan secara bertahap dengan ukuran lot pengiriman yang relatif kecil. Agar terjadi hubungan yang saling menguntungkan maka koordinasi antara produsen dan distributor perlu dilakukan sehingga akan ada *sharing cost* dan dapat meminimumkan biaya.

Penelitian ini akan memodelkan ongkos rantai pasok gabungan antara produsen dan distributor untuk produk yang dijual dengan garansi, dimana produsen menerapkan JIT. Laju produksi dianggap tetap dan produk dijual dengan garansi selama periode w . Pemeriksaan sebelum pengiriman ke distributor secara sampling dilakukan untuk mengurangi ongkos garansi. Jika ada produk yang mengalami kegagalan dalam periode garansi maka akan dilakukan minimal repair dimana produsen menanggung biaya perbaikan.

Model yang dikembangkan menggunakan ukuran lot produksi/pemesanan gabungan (Q^*). Ukuran lot optimal akan diperoleh dengan meminimasi total ongkos gabungan produsen dan distributor.

Hasil analisis menunjukkan bahwa Q^* yang unik ada dan meminimumkan ekspektasi total ongkos produsen, distributor maupun total ongkos gabungan. Contoh numerik diberikan untuk mengilustrasikan solusi optimal. Total ongkos gabungan lebih kecil jika dibandingkan dengan masing-masing ongkos produsen dan distributor dan juga mempunyai ukuran lot yang lebih kecil.

Kata Kunci: Ongkos gabungan, rantai pasok, pemeriksaan secara sampel JIT, garansi

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkah dan rahmat -Nya yang telah memberi kemudahan dan petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak memberikan bantuan dalam menyelesaikan penelitian ini dengan baik terutama kepada :

1. Dekan Fakultas Teknologi Industri, Ketua LPPM, Ketua Program Studi Teknik Industri, Kepala Laboratorium Pemodelan dan Optimasi yang telah memberikan kesempatan penelitian.
2. Rekan-rekan komunitas Laboratorium Sistem Produksi dan Laboratorium Pemodelan dan Optimasi
3. Rekan-rekan dan patner kerja atas pengertian motivasi dan peluang serta bantuannya.
4. Rekan-rekan Staf Pengajar dan Karyawan Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
5. Semua pihak yang telah banyak membantu, yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis mohon maaf atas segala kekurangan dalam penyusunan penelitian ini dan semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat kepada semua pihak dan kepada penelitian-penelitian selanjutnya.

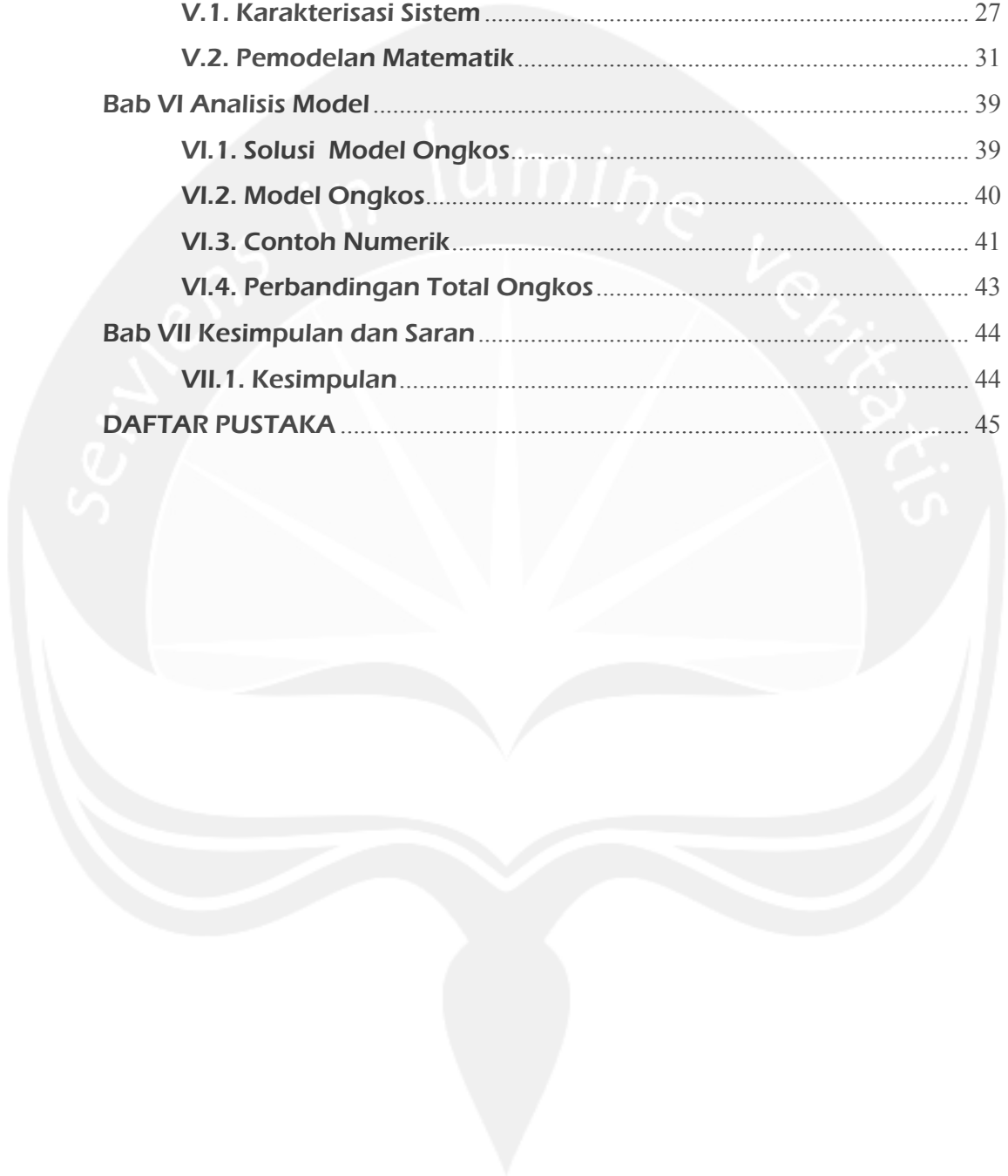
Yogyakarta, Januari 2011

Ag. Gatot Bintoro

DAFTAR ISI

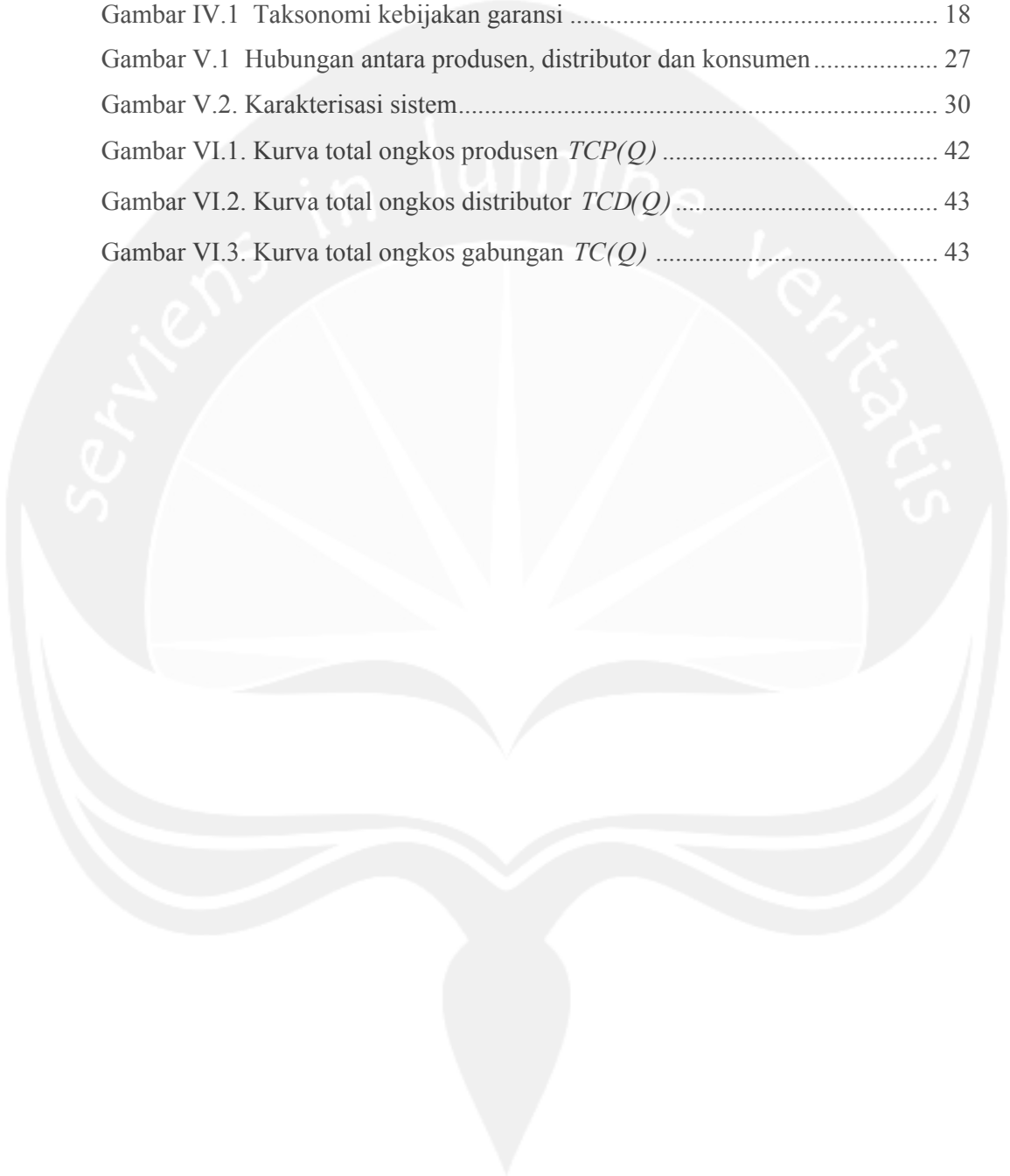
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
Bab I Pendahuluan	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Perumusan Masalah	3
I.3. Tujuan Penelitian	4
I.4. Manfaat Penelitian	5
I.5. Asumsi	5
I.6. Sistematika Penulisan	5
Bab II Studi Literatur	7
Bab III Metodologi Penelitian Dan Pengembangan Model	9
III.1. Pemahaman Sistem	10
III.2. Studi Pustaka dan Observasi	10
III.3. Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian	10
III.4. Karakterisasi Sistem	11
III.5. Pemodelan Matematik	12
III.6. Analisis Model	12
III.7. Contoh Numerik	12
III.8. Validasi Model	13
III.9. Solusi Permasalahan	13
III.10. Kesimpulan	13
Bab IV Dasar Teori	13
IV.1. Ukuran Pemesanan Ekonomis	14
IV.2. Model Dasar Ukuran Batch Ekonomis	15
IV.3. Garansi	16
IV.4. Taksonomi Kebijakan Garansi	18

IV.5. Ongkos Garansi.....	20
IV.6. Fungsi Distribusi Kegagalan	20
Bab V Formulasi Model	26
V.1. Karakterisasi Sistem	27
V.2. Pemodelan Matematik.....	31
Bab VI Analisis Model	39
VI.1. Solusi Model Ongkos.....	39
VI.2. Model Ongkos.....	40
VI.3. Contoh Numerik.....	41
VI.4. Perbandingan Total Ongkos.....	43
Bab VII Kesimpulan dan Saran.....	44
VII.1. Kesimpulan.....	44
DAFTAR PUSTAKA	45



DAFTAR GAMBAR

Gambar III.1 Diagram alir penelitian.....	11
Gambar IV.1 Taksonomi kebijakan garansi	18
Gambar V.1 Hubungan antara produsen, distributor dan konsumen.....	27
Gambar V.2. Karakterisasi sistem.....	30
Gambar VI.1. Kurva total ongkos produsen $TCP(Q)$	42
Gambar VI.2. Kurva total ongkos distributor $TCD(Q)$	43
Gambar VI.3. Kurva total ongkos gabungan $TC(Q)$	43



DAFTAR TABEL

Tabel VI.1 Nilai parameter model 41

Tabel VI.2 Hasil perhitungan ukuran lot optimal dan total ongkos..... 43



Bab I Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Banyak praktisi yang telah menerapkan manajemen rantai pasok ramping (*lean supply chain management*), kembali memperhatikan filosofi *Just-in-Time* (JIT) dalam menjalankan manajemen produksi untuk memenangkan persaingan di pasar (Nieuwenhuyse dan Vandaele, 2006). JIT pertama kali dikembangkan dan dikenalkan oleh Toyota Motor Co. Ltd., mempunyai filosofi dasar perampingan sistem dengan eliminasi *waste*. yaitu mengeliminasi sesuatu yang tidak menambah nilai produk. White, et. al. (1990) mengidentifikasi sepuluh komponen teknis implementasi JIT, yaitu: perbaikan kualitas, penurunan waktu setup, grup teknologi, keseragaman beban kerja, tenaga kerja multi fungsi, fokus pada perusahaan, Kanban, *total productive maintenance* (TPM), *total quality control* (TQC) dan pengiriman tepat waktu (JIT). Saat ini persaingan untuk memenangkan pasar tidak hanya pada level produsen tetapi juga pada level rantai pasoknya, sehingga implementasi komponen-komponen teknis JIT tersebut menjadi hal penting dalam manajemen produksi.

Produksi dengan ukuran *batch* ekonomis (UBE) atau *economic manufacturing quantity* (EMQ) akan lebih menguntungkan karena dapat menurunkan ongkos produksi. Penelitian tentang penentuan ukuran *batch* ekonomis telah lama mendapatkan perhatian, dan beberapa peneliti telah mengembangkan model EMQ klasik yang lebih aplikatif (Hax dan Candea, 1984; Silver dan Peterson, 1985). Model EMQ klasik menggunakan asumsi bahwa sistem produksi berjalan sempurna, sehingga semua produk merupakan produk *conforming* atau memenuhi persyaratan mutu (Silver, et.al.,1998). Tetapi pada banyak situasi, tidak semua produk yang dihasilkan memenuhi persyaratan mutu. Mutu produk yang dihasilkan sangat tergantung pada kondisi atau status proses produksi, dan proses produksi dapat mengalami deteriorasi (penurunan kemampuan) dengan bertambahnya jumlah produk yang dihasilkan. Deteriorasi ini mengakibatkan kondisi proses berubah dari status *in control* menjadi *out-of-control*. Pada saat

berada pada status *out-of-control*, proses produksi akan menghasilkan lebih banyak produk *non-conforming*, yaitu produk yang tidak memenuhi persyaratan mutu.

Produk yang dijual dengan garansi akan memerlukan ongkos tambahan jika terjadi klaim dari konsumen. Besarnya klaim yang terjadi pada masa garansi sangat tergantung dari kualitas produk. Produk *non-conforming* akan menimbulkan biaya yang lebih besar jika dibanding dengan produk *conforming*. Produk yang dihasilkan dari sistem produksi yang mengalami deteriorasi akan berpeluang mengalami kegagalan dalam masa garansi (*early failure*), terutama produk *non-conforming* yang dihasilkan sistem pada saat berada pada status *out-of-control*. Untuk menjamin produk yang dikirim adalah *conforming*, maka dapat dilakukan dengan pengendalian kualitas di rantai produksi. Selanjutnya produk *non-conforming* yang ditemukan dapat dilakukan perbaikan, sehingga menjadi produk yang *conforming*. Perbaikan ini dipandang lebih murah jika dibandingkan dengan ongkos klaim garansi, selain itu juga dapat mengurangi kesan negatif produk.

Untuk mengurangi jumlah produk *non-conforming* yang terjual ke konsumen dapat dilakukan dengan pengendalian produksi, *maintenance*, pengendalian kualitas, atau *burn-in* (biasanya untuk produk elektronik). Pada penelitian ini hanya akan memperhatikan faktor pengendalian produksi, *maintenance* dan pengendalian kualitas. Status sistem produksi dapat dilakukan dengan inspeksi, dan jika sistem berada pada *out-of-control* maka dilakukan restorasi. Pemeriksaan lot sebelum dikirim juga dapat dilakukan untuk mengurangi produk *non-conforming* yang dikirim ke distributor. Konsekuensi dari tindakan-tindakan untuk mengurangi produk *non-conforming* ini dapat menimbulkan tambahan biaya produksi pada produsen. Tetapi dilain pihak dapat menurunkan ongkos klaim garansi.

Pada sistem rantai pasok yang menerapkan sistem pengiriman JIT, produsen harus membagi lot produksi menjadi sub-lot pengiriman sesuai permintaan distributor.

Dengan demikian, ukuran lot produksi dan ukuran lot untuk setiap pengiriman dapat berbeda. Pada situasi di mana posisi tawar pemasok sama dengan pemesan, pengembangan model ongkos rantai pasok gabungan antara produsen dan distributor, yang menguntungkan kedua pihak dapat dilakukan. Model ini mengasumsikan bahwa kedua belah pihak memiliki posisi tawar yang sama kuat sehingga kedua pihak bersedia memproduksi atau mengirim pesanan sesuai dengan hasil ukuran lot gabungan. Asumsi ini dapat dipenuhi dengan penerapan JIT, dimana hubungan antara produsen dan distributor dikoordinasi untuk jangka waktu yang panjang dengan memfokuskan pada aliran produk untuk ukuran pengiriman kecil.

Telah banyak dilakukan penelitian tentang implementasi pemesanan JIT yang terfokus pada aliran produk dengan tujuan meminimasi total ongkos rantai pasok. Pengiriman dalam ukuran lot kecil dan melibatkan koordinasi antara komponen dalam rantai pasok akan meningkatkan produktivitas sistem, antara lain dengan adanya penurunan tingkat persediaan dan *scrap*, penurunan biaya pemeriksaan, terdeteksinya cacat yang lebih awal. Tetapi di lain pihak juga dapat berakibat naiknya biaya pengiriman (peningkatan frekuensi) atau hilangnya kesempatan untuk mendapatkan potongan harga karena kuantitas pembelian. Koordinasi antara produsen dan distributor memberikan potensi untuk sinkronisasi rantai pasok terhadap permintaan konsumen. Sehingga sangat potensial untuk menentukan kuantitas dan frekuensi pengiriman dengan total ongkos gabungan.

I.2. Perumusan Masalah

Produsen yang menerapkan sistem produksi JIT dan menjual produknya dengan garansi, maka pengiriman produk ke distributor dilakukan dalam ukuran lot kecil, bertahap, tepat waktu dan dilengkapi dengan garansi. Persyaratan seperti ini menimbulkan kritik kepada sistem JIT, yaitu bahwa produsen dengan JIT mencapai *zero inventory* dengan memindahkan persediaan ke dalam komponen rantai pasok yang lain. Dengan perkataan lain, perusahaan dengan sistem JIT menumpuk persediaan tanpa harus mengeluarkan biaya karena biaya persediaan ditanggung oleh komponen rantai pasok yang lain. Koordinasi antar komponen

dalam rantai pasok (pemasok, produsen, distributor dan konsumen) perlu dilakukan untuk meminimasi total ongkos gabungan rantai pasok. Dalam penelitian ini hanya akan dipertimbangkan hubungan antara produsen dan distributor.

Seiring dengan banyaknya produk yang dihasilkan, sistem produksi mengalami penurunan kemampuan (deteriorasi), dan berpeluang untuk berada pada kondisi *out-of-control*, sehingga pada kondisi ini sistem akan lebih banyak menghasilkan produk *non-conforming*. Produk *non-conforming* akan berpeluang lebih besar untuk mengalami kegagalan pada awal pemakaian (*early failure*). Jika produk dijual dengan garansi, maka akan menimbulkan ongkos klaim garansi. Ongkos klaim garansi produk *non-conforming* lebih besar jika dibanding produk *conforming*. Sehingga total ongkos produksi pada sistem yang mengalami deteriorasi dan menjual produknya dengan garansi berbeda dengan EMQ klasik.

Penelitian yang berhubungan dengan EMQ dan total ongkos gabungan antar komponen rantai pasok yang melibatkan koordinasi antara produsen dan distributor telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, tetapi model yang dikembangkan belum mempertimbangkan faktor deteriorasi atau penurunan kemampuan dari sistem produksi dan faktor garansi produk. Selain itu model-model yang sudah ada belum mengintegrasikan sistem relevan yang berhubungan dengan koordinasi pemasok-distributor jika sistem berada pada lingkungan JIT.

I.3. Tujuan Penelitian

Dengan memperhatikan penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan ukuran batch ekonomis dan total ongkos gabungan antar komponen rantai pasok, maka penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model ongkos rantai pasok gabungan antara produsen dan distributor untuk produk yang dijual dengan garansi dan berada pada lingkungan sistem JIT. Sistem produksi yang dipertimbangkan adalah sistem yang mengalami penurunan kinerja (deteriorasi) seiring dengan jumlah produk yang dihasilkan dan lot produk yang dikirim dijamin dengan garansi.

I.4. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian merupakan model matematik yang disusun berdasarkan aktifitas sistem nyata, sehingga model yang dihasilkan diharapkan mampu digunakan sebagai solusi permasalahan sistem nyata dalam sistem rantai pasok untuk produk yang dijual dengan garansi dan diproduksi dalam lingkungan JIT. Industri besar telah banyak yang menerapkan sistem JIT, sehingga pemasok yang rata-rata perusahaan kecil menengah harus mampu menyesuaikan kondisi tersebut. Oleh karena itu model ini diharapkan mampu menolong perusahaan kecil menengah yang akan bekerja sama dengan perusahaan besar yang menerapkan JIT.

I.5. Asumsi

Hal-hal berikut merupakan asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian yaitu:

1. Tingkat permintaan produsen diketahui oleh pemasok atau bersifat deterministik.
2. *Lead time* pemesanan diketahui dan konstan.
3. Tidak terjadi stock out pada sistem persediaan produsen dan pemasok.
4. Ongkos penalti dan ongkos pengiriman tidak diperhatikan.
5. Gudang, kapasitas produksi dan modal dapat memenuhi seluruh permintaan.
6. Ongkos-ongkos pada produsen dan pemasok diketahui dan konstan.

I.6. Sistematika Penulisan

Penulisan laporan penelitian ini terdiri dari enam bab. Bab I merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan dan asumsi penelitian. Bab II menguraikan tentang tinjauan pustaka yang berkaitan penelitian yang sedang dilakukan. Bab III membahas langkah-langkah yang digunakan dalam pemecahan masalah secara berurutan, tahap-tahap pemodelan dan pendekatan yang digunakan dalam pemecahan masalah. Selain itu juga diuraikan sistematika cara pengumpulan dan pengolahan data yang diperlukan. Bab IV menguraikan konsep dan teori pendukung yang berkaitan dengan permasalahan penelitian yang dilakukan. Bab V berisikan

formulasi serta estimasi parameter model yang dilakukan berdasarkan karakterisasi sistem yang ada, didukung teori dan konsep yang dijelaskan sebelumnya. Bab VI menguraikan hasil-hasil analisis model yang dibentuk serta melakukan validasi terhadap model tersebut. Bab VII merangkum hal-hal penting hasil penelitian serta mengemukakan saran-saran yang dianggap penting sehubungan dengan penelitian yang dilakukan.



Bab II Studi Literatur

Penelitian untuk menentukan UBE/EMQ dan panjang siklus produksi dengan mempertimbangkan faktor deteriorasi proses produksi, telah banyak dilakukan [lihat Rossenblatt dan Lee (1986), Porteus (1986), Lee (1992), Groenevelt et. al. (1992), Kim dan Hong (1997)]. Rossenblatt dan Lee (1986) telah mempelajari pengaruh *non-conforming* item, yang disebabkan oleh proses yang mengalami deteriorasi, terhadap EMQ. Sedangkan Groenevelt et. al. (1992) meneliti pengaruh kerusakan mesin terhadap EMQ. Lee dan Rossenblatt (1987) mempertimbangkan model EMQ dengan pengendalian siklus produksi dan inspeksi secara bersamaan dan variabel keputusan pada penelitian ini adalah kuantitas produksi dan jumlah inspeksi per siklus. Pada Affisco et. al. (2002), *non-conforming* item diminimasi dengan melakukan perbaikan terhadap mutu dari proses produksi. Untuk sistem yang mengalami deteriorasi, tindakan perawatan preventif biasanya efektif untuk menjaga status sistem tetap berada pada status *in-control* dan dapat mengurangi ongkos reparasi atau pengerjaan ulang produk (*rework*). Tseng et. al. (1998) mengembangkan model EMQ dengan mempertimbangkan kebijakan perawatan preventif dan tindakan perawatan tidak selamanya sempurna dalam artian bahwa setelah dilakukan perawatan kondisi sistem dapat lebih buruk dari kondisi sebelumnya. Semua penelitian-penelitian tersebut menggunakan ukuran performansi total ongkos produksi dan *rework* dari *non-conforming* item. Wang dan Shue (2001a) menentukan ukuran batch dan kebijakan inpeksi secara simultan dengan menggunakan kriteria minimasi ekspektasi ongkos per unit waktu.

Untuk item yang dijual dengan garansi, *non-conforming* item dapat mempengaruhi ongkos perbaikan kerusakan selama masa garansi (disebut ongkos garansi). Hal ini juga berlaku untuk komponen-komponen dari suatu produk yang dijamin oleh garansi. Yeh et al. (2000) mempertimbangkan ongkos garansi ke dalam modelnya untuk memperoleh panjang siklus produksi optimal, yang meminimasi total ongkos manufaktur dan garansi per item (unit). Pada model Yeh et. al. (2000) tersebut, setiap produk yang rusak selama masa garansi diperbaiki dengan reparasi minimum (*minimal repair*), artinya kondisi produk setelah

diperbaiki sama dengan kondisi sebelum rusak [Barlow dan Proschan (1965)]. Wang dan Shue (2001b) meneliti pengaruh ongkos garansi terhadap ukuran batch yang ekonomis. Mereka memodelkan perubahan proses produksi dari status *in-control* ke status *out-of-control* dan perubahan ini dimodelkan dengan distribusi probabilitas diskrit.

Ongkos perbaikan selama masa garansi sangat tergantung pada pola kerusakan produk. Karakteristik kerusakan produk dapat dijelaskan dengan fungsi laju kerusakan dan kurva fungsi laju kerusakan produk secara umum berbentuk bathtub (Ross, 1983). Pada phase awal laju kerusakan produk tinggi dan cenderung menurun, kemudian cenderung konstan pada phase pemakaian dan akan menaik. Salah satu penyebab laju kerusakan yang tinggi pada periode awal penggunaan adalah *non-conforming* item yang terjual ke konsumen. Dan ini selanjutnya mengakibatkan rata-rata jumlah klaim garansi untuk item ini relatif besar.

Pengendalian kualitas, baik pada tahap proses produksi maupun produk akhir, dapat dilakukan untuk mengurangi produk cacat, sehingga dapat menekan ongkos sebelum penjualan (atau ongkos *rework*) dan ongkos setelah penjualan (atau ongkos garansi). Arentsen et al (1996) menekankan pentingnya integrasi kontrol kualitas dengan aktivitas rantai produksi untuk menjamin kualitas dari produk yang dihasilkan. Penelitian EMQ yang melibatkan faktor kualitas telah mendapatkan perhatian (Lihat diantaranya, Lee dan Rossenblatt (1987), Sung dan Ock (1992), dan Wang dan Sheu (2001b)).

Pada sistem rantai pasok yang menerapkan sistem pengiriman dengan JIT, produsen harus membagi lot produksi menjadi sub-lot pengiriman. Dengan demikian, ukuran lot produksi dan ukuran lot untuk setiap pengiriman dapat berbeda. Model EMQ dengan ukuran lot pengiriman yang berbeda dengan ukuran lot produksi dikembangkan antara lain oleh Golhar dan Sarker (1992) dan Jamal dan Sarker (1994). Kim dan Ha (2003) memodelkan ukuran lot produksi dan

pemesanan optimal antara pemasok dan produsen pada sistem rantai pasok dalam lingkungan JIT. Model-model yang telah dikembangkan ini tidak mengakomodasi aspek penurunan kinerja dari sistem produksi.

Pada situasi dimana posisi tawar pemasok sama dengan pemesan, pengembangan EMQ gabungan antara produsen dan distributor, yang menguntungkan kedua pihak dapat dilakukan. Model ukuran lot untuk kasus ini dikenal dengan joint economic lot size (JELS). Dan penelitian JELS, untuk mendapatkan ukuran lot gabungan optimal bagi kedua belah pihak telah dilakukan oleh Ongsakul dan Liman (1998), Kosadat dan Liman (2000), dan Kim dan Ha (2003). JELS mengasumsikan bahwa produsen dan pemasok memiliki posisi tawar yang sama kuat sehingga kedua pihak bersedia memproduksi atau mengirim pesanan sesuai dengan hasil ukuran lot gabungan.

Bab III Metodologi Penelitian Dan Pengembangan Model

Langkah-langkah penelitian, urutannya dan hubungan antar langkah, secara skematis ditunjukkan oleh Gambar 1. Masing-masing langkah akan dijelaskan pada bagian berikut ini:

III.1. Pemahaman Sistem

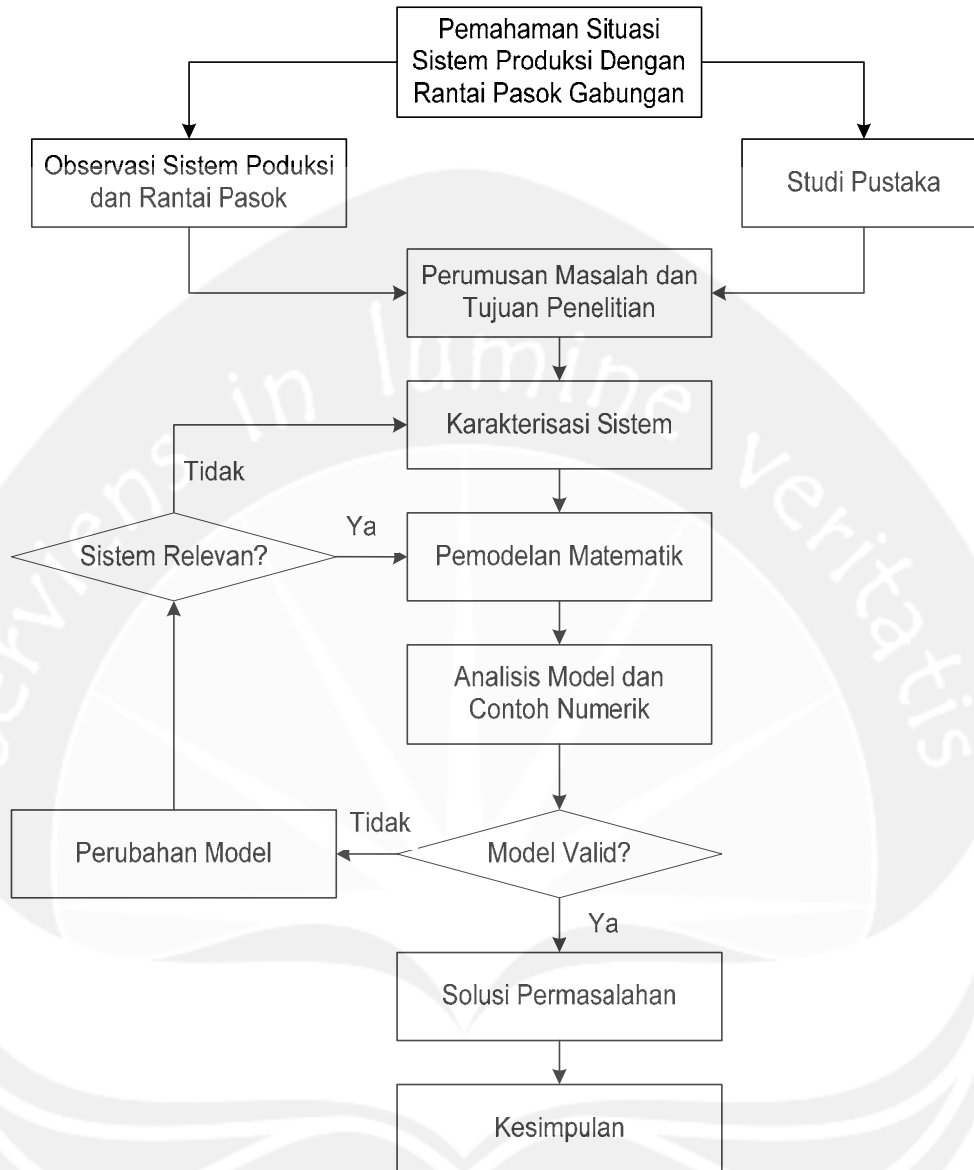
Pemahaman sistem produksi dengan rantai pasok gabungan ini dilakukan untuk memberikan gambaran umum tentang sistem manufaktur di lapangan utamanya yang potensial untuk menerapkan sistem rantai pasok gabungan. Tetapi untuk mengetahui secara riil kondisi sistem manufaktur peneliti akan melakukan dengan tahapan penelitian berikutnya secara terstruktur.

III.2. Studi Pustaka dan Observasi

Studi pustaka telah dibahas pada sub-bab sebelumnya, sedangkan observasi terhadap sistem manufaktur di lapangan telah banyak dilakukan oleh peneliti, seperti dalam kunjungan ke perusahaan, penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan pengamatan secara informal. Tetapi untuk mengetahui secara riil kondisi sistem manufaktur peneliti akan melakukan observasi lanjutan yang terstruktur sehingga dapat mengumpulkan informasi yang terbaru dan sesuai dengan kebutuhan penelitian.

III.3. Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Penelitian-penelitian tentang garansi produk setengah pakai yang telah dilakukan pada umumnya untuk produk yang dijual dengan garansi satu dimensi. Bagi Dealer yang menjual produk setengah pakai dengan garansi dua dimensi dan akan menawarkan garansi, maka akan diperlukan kebijakan garansi dan estimasi ongkos garansi produk setengah pakai. Oleh karena itu perlu dikembangkan kebijakan garansi dan estimasi ongkos garansi untuk produk setengah pakai yang dijual dengan garansi dua dimensi dan dilihat dari sudut pandang produsen.



Gambar III.1 Diagram alir penelitian

III.4. Karakterisasi Sistem

Penelitian ini dilakukan dari sudut pandang produsen dan distributor, sehingga ukuran performasi yang dipilih adalah total ongkos rantai pasok dan garansi per produk. Faktor-faktor yang relevan dengan tujuan studi merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap ukuran performasi atau total ongkos per item. Dari studi pustaka model UBE dan

kondisi nyata sistem manufaktur di lapangan, terdapat 8 (delapan) faktor yang relevan untuk tujuan studi ini, yaitu: sistem produksi, pengendalian proses produksi, batch produk, pemeriksaan produk, garansi produk, dan sistem rantai pasok. Faktor-faktor yang relevan ini akan dipertimbangkan dalam langkah pemodelan sistem.

III.5. Pemodelan Matematik

Pengembangan model matematik ongkos ukuran batch ekonomis antara pemasok dan produsen untuk produk yang dijual dengan garansi akan dilakukan dengan mengusulkan beberapa alternatif model, sehingga dapat dipilih alternatif model yang paling relevan dengan kasus nyata.

III.6. Analisis Model

Model yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah model matematik, dan analisis model untuk mendapatkan solusi model dirancang sebagai berikut:

- a. Untuk model yang masih sederhana, digunakan metode optimasi. Dalam prosesnya, teorema akan dikembangkan yang kemudian akan dijadikan sebagai basis bagi pengembangan metode dan algoritma pemecahan.
- b. Untuk model yang lebih kompleks akan dikembangkan metode pemecahan yang bersifat heuristik dan numerik dengan memanfaatkan pola pikir solusi optimal. Pendekatan ini dilakukan jika metode optimasi tidak mungkin diterapkan.

III.7. Contoh Numerik

Untuk memberikan pemahaman yang baik mengenai perilaku model yang dikembangkan dan solusi yang dihasilkan, penelitian ini akan membangkitkan contoh-contoh numerik. Selain pembangkitan contoh numerik yang baru, contoh numerik yang ada dalam literatur juga akan dimanfaatkan terutama dalam rangka studi komparasi dengan hasil-hasil dari penelitian sebelumnya. Pembangkitan contoh numerik baru disesuaikan dengan kondisi nyata sistem manufaktur, sehingga model yang dihasilkan lebih aplikatif.

III.8. Validasi Model

Model yang telah dianalisis akan divalidasi, jika model yang diperoleh tidak valid maka akan dilakukan perubahan model yang disesuaikan dengan hasil analisis.

III.9. Solusi Permasalahan

Model yang telah valid dapat digunakan sebagai solusi permasalahan-permasalahan yang ada di lapangan. Sangat dimungkinkan adanya perubahan-perubahan kecil yang perlu dilakukan agar model sesuai dengan kondisi riil di lapangan.

III.10. Kesimpulan

Kesimpulan tentang proses pemodelan dan hasil-hasil yang telah diperoleh dalam penelitian diberikan pada tahap ini. Di samping itu juga diberikan beberapa topik untuk penelitian lanjutan.

Bab IV Dasar Teori

Pada bagian ini akan dibahas konsep, teori, metode dan teknik yang diperlukan untuk mendukung penelitian ini. Pembahasan meliputi hubungan antara pemasok dan produsen, model UBE secara umum dan teori garansi.

IV.1. Ukuran Pemesanan Ekonomis

Inventory digunakan untuk memudahkan perusahaan membeli atau memproduksi komponen dalam ukuran lot yang ekonomis. Dalam konsep pemesanan, ukuran pemesanan yang meminimumkan total ongkos inventory disebut dengan ukuran pemesanan ekonomis (UPE) atau *economic order quantity* (EOQ). Adapun asumsi model EOQ adalah (Tersine, 1994):

1. Laju permintaan diketahui, bersifat konstan dan kontinyu
2. *Lead time* diketahui dan bersifat konstan
3. Seluruh ukuran lot ditambahkan ke dalam inventory secara bersamaan
4. Tidak ada stockout, di mana hal ini disebabkan laju permintaan dan *lead time* telah diketahui
5. Ongkos pesan dan ongkos setup sama, tidak tergantung pada ukuran lot.
6. Ongkos simpan merupakan fungsi linear dari rata-rata inventory dan ongkos pembelian konstan.
7. Tidak ada diskon pada pembelian pada kuatitas tertentu.
8. Kapasitas gudang tidak terbatas.
9. Kapasitas produksi dan modal dapat memenuhi seluruh permintaan
10. Komponen merupakan produk tunggal.

Total ongkos inventori adalah sebagai berikut:

Total ongkos inventori = ongkos pembelian + ongkos pesan + ongkos simpan

$$TC(Q) = D \cdot P + \frac{A \cdot D}{Q} + \frac{h \cdot Q}{2} \quad (IV.1)$$

di mana :

- D = permintaan dalam unit,
 P = ongkos pembelian komponen,
 A = ongkos pesan untuk sekali pesan,

- h = ongkos simpan per unit per tahun,
 Q = ukuran lot atau jumlah pesanan dalam unit,
 TC = total ongkos simpan.

Untuk memperoleh jumlah ukuran lot optimal yang meminimumkan total ongkos inventory, maka diambil turunan pertamanya terhadap Q .

$$\frac{dTC(Q)}{dQ} = \frac{h}{2} - \frac{A \cdot D}{Q^2} = 0 \quad (IV.2)$$

Formula model EOQ untuk jumlah ukuran lot optimal adalah

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot A \cdot D}{h}} \quad (IV.3)$$

IV.2. Model Dasar Ukuran Batch Ekonomis

Dalam model ukuran pemesanan ekonomis (UPE) atau economic manufacturing quantity (EOQ) diasumsikan bahwa seluruh pesanan diterima pada saat yang bersamaan dan dalam jumlah yang diskrit, di mana hal ini jarang terjadi pada kenyataannya. Umumnya, sering terjadi komponen ditambahkan ke inventory secara bertahap daripada secara bersamaan. Model EOQ harus mampu mengatasi perubahan ini. Untuk itu, dikembangkan model ukuran batch ekonomis atau *economic manufacturing quantity* (EMQ) yang mengasumsikan penambahan inventory yang dilakukan secara bertahap dan kontinyu selama periode produksinya.

Ukuran siklus produksi (*production run*) yang meminimumkan total ongkos inventory disebut dengan *economic manufacturing quantity* (EMQ). Adapun asumsi model EMQ adalah :

1. Laju permintaan diketahui, konstan dan kontinyu.
2. Laju produksi diketahui, konstan dan kontinyu.
3. *Lead time* diketahui dan konstan.
4. Seluruh ukuran lot ditambahkan ke dalam inventory secara bertahap.
5. Tidak ada *stockout*.
6. Struktur ongkosnya tetap, yaitu: ongkos pesan atau setup sama, tidak tergantung pada ukuran lot, ongkos simpan merupakan fungsi linear

berdasarkan pada rata-rata inventori, ongkos produksi terdiri dari ongkos tenaga kerja langsung, ongkos bahan baku langsung dan ongkos *overhead* pabrik.

7. Gudang, kapasitas produksi dan modal dapat memenuhi seluruh permintaan.
8. Komponen merupakan produk tunggal yang tidak mempengaruhi komponen lain.

Total ongkos inventori tahunan untuk model EMQ adalah sebagai berikut:

Total ongkos inventori = ongkos produksi + ongkos setup + ongkos simpan

$$TC(Q) = D \cdot P + \frac{A \cdot D}{Q} + \frac{h \cdot Q \cdot (p - d)}{2 \cdot p} \quad (IV.4)$$

di mana :

D = permintaan tahunan dalam unit,

P = ongkos produksi komponen,

A = ongkos setup untuk sekali setup,

h = ongkos simpan per unit per tahun,

Q = ukuran siklus produksi atau jumlah pesanan produksi dalam unit,

p = laju produksi,

d = laju permintaan.

Untuk memperoleh jumlah ukuran lot optimal (Q^*) yang meminimumkan total ongkos inventory, maka diambil turunan pertamanya terhadap Q .

$$\frac{dTC(Q)}{dQ} = -\frac{A \cdot D}{Q^2} + \frac{h \cdot (p - d)}{2 \cdot p} = 0 \quad (IV.5)$$

Formula model EMQ untuk jumlah ukuran lot optimal adalah:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot A \cdot D \cdot p}{h \cdot (p - d)}} \quad (IV.6)$$

IV.3. Garansi

Bischke dan Murthy (1994) mengemukakan beberapa definisi tentang garansi (*warranty*), yaitu:

“A warranty is the representation of the characteristic or quality of product”

“A warranty is an expression of the willingness of business to stand behind its products and services. As such it is a badge of business integrity”

Sedangkan menurut Dhillon dan Reiche (1985):

“A Warranty is a guarantee normally written into a contract, which furnishes the buyer with some assurance about the performance he should expect from a product”

Perbedaan definisi ini dikarenakan adanya jenis-jenis garansi yang berbeda.

Garansi dapat dipandang sebagai kewajiban berdasarkan perjanjian yang diadakan oleh produsen dalam hubungannya dengan penjualan produk. Perjanjian tersebut menentukan performansi produk seperti yang dijanjikan dan ketika tidak sesuai dengan perjanjian, maka ganti rugi harus disediakan bagi pembeli sebagai kompensasi atas kerusakan tersebut. Oleh karena itu tujuan garansi adalah membuat pertanggungjawaban dalam hal kerusakan produk sebelum waktunya atau ketidakmampuan produk melakuakn fungsi seperti yang diharapkan.

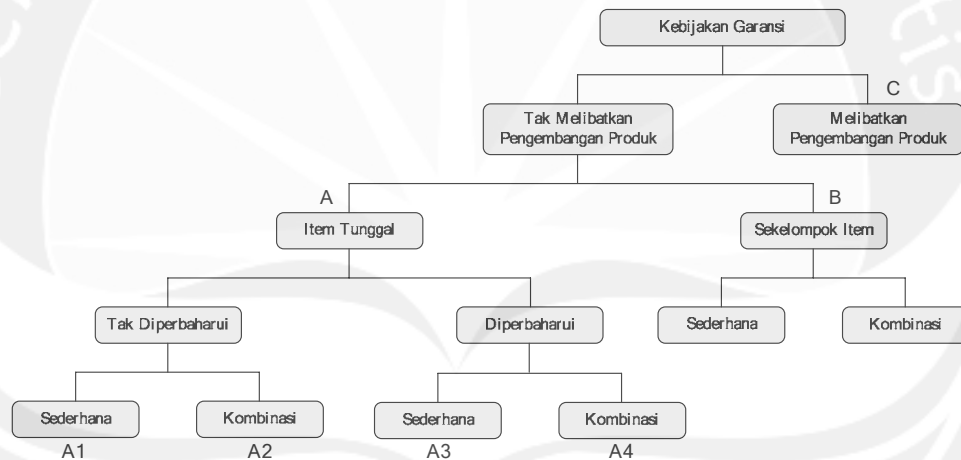
Seringkali istilah *warranty* dan *guarantee* dianggap sinonim. Sebenarnya *warranty* adalah tipe khusus dari *guarantee*. *Guarantee* menyangkut barang yang diberikan kepada konsumen oleh penjual. *Warranty* sering dipandang sebagai *Service contract* (perjanjian pelayanan). *Service contract* dilakukan secara sukarela oleh konsumen, sedangkan *warranty* merupakan bagian dari jual beli produk dan merupakan bagian itegral dari proses jual beli. Aturan utama *warranty* (garansi) adalah menjamin perbaikan produk pasca jual beli produk (*after sele service*). Garansi memberikan perlindungan terhadap konsumen jika produk yang digunakan sebagaimana mestinya, tetapi performansinya tidak seperti yang diharapkan atau dispesifikasikan oleh pabrik.

IV.4. Taksonomi Kebijakan Garansi

Bischke dan Murthy (1994) mengusulkan sebuah taksonomi dalam mengklasifikasikan perbedaan jenis garansi, seperti digambarkan pada gambar IV.4. Kebijakan garansi dapat dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu:

1. Kebijakan garansi yang menyangkut perbaikan produk
2. Kebijakan yang tidak menyangkut perbaikan produk

Kebijakan kelompok pertama (Kelompok C) adalah kebijakan garansi untuk produk yang mengalami pengembangan reliabilitas (keandalan), yaitu produk dimana produsen perlu untuk mengembangkan produk jika performansi produknya gagal memenuhi standar yang ditentukan. Kebijakan ini berhubungan dengan penjualan untuk sistem yang kompleks, dengan masa hidup yang relatif lama, seperti peralatan militer, pesawat terbang.



Gambar IV.1 Taksonomi kebijakan garansi

Kebijakan garansi kelompok kedua terbagi lagi menjadi dua sub kelompok. Sub kelompok pertama (Kelompok A) terdiri atas kebijakan yang berhubungan dengan penjualan produk tunggal, dimana setiap produk yang terjual memiliki kebijakan yang berbeda-beda. Sub kelompok kedua (Kelompok B) merupakan gabungan kebijakan dimana suatu kebijakan tunggal menjamin sekelompok produk sebagai tentangan kebijakan yang terpisah dari setiap produk.

Kebijakan kelompok A dibagi menjadi dua sub kelompok berdasarkan kebijakan yang diperbaharui (*renewing*) dan tidak diperbaharui (*non-renewing*). Bagian pada kebijakan yang dapat diperbaharui, jika produk mengalami kerusakan selama masa garansi, produk tersebut diganti dengan produk baru dengan garansi yang baru, menggantikan produk yang lama, sehingga bentuk kebijakan berubah. Sebaliknya untuk kebijakan tidak diperbaharui, penggantian produk tidak mengganti garansi awal. Masa garansi produk pengganti adalah sisa dari masa garansi produk lama.

Selanjutnya kebijakan garansi diperbaharui dan tidak diperbaharui masing-masing dibagi menjadi dua yaitu kebijakan sederhana dan kebijakan kombinasi. Dua kebijakan garansi sederhana adalah *free-replacement warranty* (FRW) dan *pro-rata warranty* (PRW). Kebijakan garansi *free-replacement*, perusahaan bersedia mengganti produk yang mengalami kerusakan tanpa membebankan biaya kepada konsumen. Kebijakan ini umumnya ditawarkan untuk produk-produk yang dapat diperbaiki (*repairable*), seperti sepeda motor. Kebijakan garansi *pro-rata*, jika produk gagal dalam periode garansi, maka produsen membayar kepada konsumen sejumlah proporsi sisa waktu periode garansi dari harga jual produk. Kebijakan ini biasanya ditawarkan untuk produk-produk yang tidak dapat diperbaiki (*non-repairable*), seperti ban mobil. Kebijakan kombinasi adalah kebijakan sederhana yang dikombinasikan dengan bentuk tambahan atau kebijakan yang menggabungkan dua atau lebih kebijakan sederhana.

Masing-masing kelompok kebijakan garansi di atas dibagi menjadi dua sub kelompok yaitu garansi satu dimensi (*one dimension*) dan dua dimensi (*two dimension*). Garansi satu dimensi dikarakteristikkan oleh interval satu dimensi yang disebut periode garansi, misalnya waktu atau jarak tempuh. Sedangkan garansi dua dimensi merupakan perluasan dari satu dimensi. Kebijakan ini dikarakteristikkan oleh bidang dua dimensi, misalkan satu dimensi direpresentasikan dengan waktu dan dimensi yang lain direpresentasikan oleh jarak tempuh. Kebijakan pada Kelompok B juga dibagi menjadi sederhana dan

kombinasi. Selanjutnya dibagi lagi berdasarkan dimensi, yaitu satu dimensi atau dua dimensi.

IV.5. Ongkos Garansi

Kegagalan item dalam periode garansi akan mengakibatkan klaim, sehingga produsen akan mengeluarkan ongkos untuk pelayanan. Setiap klaim baik klaim garansi akan mengakibatkan tambahan biaya yang harus dikeluarkan oleh pihak yang bertanggung jawab. Menurut Blischke dan Murthy (1994) biaya garansi meliputi:

1. Biaya administrasi
2. Biaya transportasi
3. Biaya perbaikan/penggantian yang terdiri dari biaya material dan biaya tenaga kerja
4. Biaya penanganan dari pengecer
5. Biaya inventori spare part

Besarnya biaya pelayanan garansi per item merupakan jumlah dari semua biaya-biaya tersebut di atas sepanjang periode yang dijanjikan. Total biaya tergantung pada jumlah klaim/kegagalan dalam periode garansi dan biaya pelayanan setiap kegagalan. Karena jumlah kegagalan sepanjang periode garansi tidak tentu, karena kegagalan terjadi secara random, maka total biaya pelayanan garansi per item adalah sebuah variabel acak.

IV.6. Fungsi Distribusi Kegagalan

Distribusi kegagalan merupakan salah satu alat untuk menggambarkan panjang umur suatu sistem secara matematis. Model kegagalan dapat digambarkan dengan baik melalui fungsi densitas, fungsi distributif kumulatif, fungsi keandalan dan fungsi hazard. Jika $f(\tau)$ menyatakan fungsi densitas dari variabel acak τ yang kontinu menggambarkan waktu antar kegagalan suatu sistem, maka $f(\tau)$ memiliki sifat $f(\tau) \geq 0$ dan ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$\int_0^{\infty} f(\tau) d\tau = 1 \quad (\text{IV.7})$$

Fungsi distribusi kumulatif, $F(\tau)$ yang sering disingkat dengan fungsi distribusi menyatakan probabilitas bahwa sistem akan gagal dalam interval waktu $[0, \tau]$ yang dirumuskan oleh persamaan berikut:

$$F(\tau) = P(T \leq \tau) = \int_0^{\infty} f(\tau) d\tau = 1 \quad (\text{IV.8})$$

$$f(\tau) = \frac{dF(\tau)}{d\tau} \quad (\text{IV.9})$$

Fungsi keandalan, $\bar{F}(\tau)$ menyatakan probabilitas sistem akan berfungsi (tidak rusak) pada interval waktu $[0, \tau]$ atau probabilitas sistem akan gagal setelah saat τ . Fungsi keandalan diberikan oleh persamaan berikut ini :

$$\bar{F}(\tau) = P(T > \tau) = \int_{\tau}^{\infty} f(x) dx \quad (\text{IV.10})$$

$$f(\tau) = \frac{d\bar{F}(\tau)}{d\tau} \quad (\text{IV.11})$$

Karena $F(\tau)$ dan $\bar{F}(\tau)$ bersifat mutually exclusive, maka berlaku persamaan berikut:

$$\bar{F}(\tau) = 1 - F(\tau) \quad (\text{IV.12})$$

Fungsi laju kegagalan $r(t)$ menyatakan jumlah kegagalan sesaat pada saat τ dengan syarat sistem masih berfungsi sampai saat τ seperti yang dirumuskan persamaan berikut :

$$r(\tau) = \frac{f(\tau)}{\bar{F}(\tau)} \quad (\text{IV.13})$$

Probabilitas bersyarat bahwa sistem akan gagal selama interval waktu $(\tau + d\tau)$ dengan syarat bahwa sistem tersebut tidak gagal hingga waktu τ dinyatakan sebagai $r(\tau)d\tau$ yang dirumuskan oleh persamaan berikut :

$$r(\tau) d\tau = P(\tau < T < \tau + d\tau | T > \tau) \quad (\text{IV.14})$$

Hubungan antara fungsi keandalan, fungsi distribusi dan fungsi densitas dengan fungsi hazard dengan asumsi $F(0) = 0$ dapat dituliskan oleh persamaan berikut:

$$\bar{F}(\tau) = \exp\left[-\int_0^{\tau} r(x) dx\right] \quad (\text{IV.15})$$

$$f(\tau) = r(\tau) \exp\left[-\int_0^{\tau} r(x) dx\right] \quad (IV.16)$$

$$F(\tau) = 1 - \exp\left[-\int_0^{\tau} r(x) dx\right] \quad (IV.17)$$

Pada bagian selanjutnya akan diuraikan bentuk fungsi densitas, fungsi distribusi kumulatif, fungsi keandalan dan fungsi kegagalan (hazard) yang dilengkapi dengan mean dan variansi dari model-model distribusi yang biasa digunakan dalam bidang maintenance seperti distribusi weibull, distribusi eksponensial dan distribusi gamma.

2.5.1. Distribusi Weibull

Distribusi weibull umumnya digunakan untuk menggambarkan kegagalan dalam penelitian tentang maintenance dan memodelkan kekuatan bahan, waktu rusak bangunan, peralatan serta sistem elektronik dan mekanik. Bentuk fungsi densitas, fungsi distribusi, fungsi keandalan, fungsi hazard, mean dan variansi dari distribusi weibull adalah sebagai berikut :

a. Fungsi densitas

Variabel acak τ yang mengikuti distribusi weibull dengan parameter λ dan β mempunyai fungsi kepadatan probabilitas sebagai berikut:

$$f(\tau) = \lambda \beta (\lambda \tau)^{\beta-1} e^{-(\lambda \tau)^\beta} \quad (IV.18)$$

dengan

λ = parameter skala

β = parameter bentuk

untuk $\lambda > 0$, $\beta > 0$, $\tau \geq 0$

b. Fungsi distribusi

Fungsi distribusi dari variabel acak τ yang mengikuti distribusi weibull dengan parameter λ dan β adalah:

$$F(\tau) = 1 - e^{-(\lambda \tau)^\beta} \quad (IV.19)$$

c. Fungsi keandalan

Fungsi keandalan dari variabel acak τ yang mengikuti distribusi weibull dengan parameter λ dan β adalah:

$$\bar{F}(\tau) = e^{-(\lambda t)^\beta} \quad (\text{IV.20})$$

d. Fungsi laju kegagalan

Fungsi laju kegagalan dari variabel acak τ yang mengikuti distribusi weibull dengan parameter λ dan β adalah:

$$r(\tau) = \lambda \beta (\lambda t)^{\beta-1} \quad (\text{IV.21})$$

dari variabel acak τ yang mengikuti distribusi weibull dengan parameter λ dan β adalah:

$r(\tau)$ merupakan fungsi menaik terhadap τ jika $\beta > 1$ dan fungsi menurun jika $0 < \beta < 1$. Untuk $\beta = 1$, $r(\tau)$ konstan terhadap τ . Dengan demikian distribusi weibull bersifat IFR (*Increasing Failure Rate*) jika $\beta > 1$ dan DFR (*Decreasing Failure Rate*) jika $0 < \beta < 1$.

e. Rata-rata dan Variansi

Rata-rata dan variansi dari variabel acak τ yang mengikuti distribusi weibull dengan parameter λ dan β adalah:

$$\mu = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)}{\lambda^{1/\beta}} \quad (\text{IV.22})$$

$$\sigma^2 = \lambda^{-2/\beta} \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)^2 \right] \quad (\text{IV.23})$$

2.5.2. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial umumnya digunakan untuk menggambarkan waktu antar kedatangan kegagalan. Distribusi ini memiliki laju kegagalan konstan.

a. Fungsi densitas

Variabel acak τ yang mengikuti distribusi eksponensial dengan parameter λ memiliki fungsi kepadatan probabilitas sebagai berikut

$$f(\tau) = \lambda e^{-(\lambda \tau)} \quad (\text{IV.24})$$

dengan $\lambda > 0$, $\tau \geq 0$

b. Fungsi distribusi

Fungsi distribusi kumulatif variabel acak τ yang mengikuti distribusi eksponensial dengan parameter λ adalah:

$$F(\tau) = 1 - e^{-(\lambda \tau)} \quad (\text{IV.25})$$

c. Fungsi keandalan

Fungsi keandalan variabel acak τ yang mengikuti distribusi eksponensial dengan parameter λ adalah:

$$\bar{F}(\tau) = e^{-(\lambda \tau)} \quad (\text{IV.26})$$

d. Fungsi laju kegagalan

Fungsi laju kegagalan variabel acak τ yang mengikuti distribusi eksponensial dengan parameter λ adalah:

$$r(\tau) = \lambda \quad (\text{IV.27})$$

Distribusi eksponensial memiliki laju kegagalan yang konstan. Jadi laju kegagalan sistem yang mempunyai distribusi kegagalan eksponensial tidak bertambah maupun berkurang seiring dengan berubahnya waktu

e. Rata-rata dan Variansi

Rata-rata dan variansi variabel acak τ yang mengikuti distribusi eksponensial dengan parameter λ adalah:

$$\mu = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{IV.28})$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{\lambda^2} \quad (\text{IV.29})$$

2.5.3. Distribusi Gamma

Distribusi gamma cukup sering digunakan untuk memodelkan waktu antar kegagalan sistem. Bentuk fungsi densitas, fungsi distribusi, fungsi keandalan, fungsi *hazard*, mean dan variansi dari distribusi gamma adalah sebagai berikut :

a. Fungsi densitas

Variabel acak τ yang mengikuti distribusi gamma dengan parameter λ dan k memiliki fungsi kepadatan probabilitas sebagai berikut:

$$f(\tau) = \frac{\lambda^k \tau^{(k-1)} e^{-(\lambda \tau)}}{\Gamma(k)} \quad (\text{IV.30})$$

dengan $\lambda > 0$, $k > 0$, $\tau \geq 0$

b. Fungsi distribusi

Fungsi distribusi kumulatif variabel acak τ yang mengikuti distribusi gamma dengan parameter λ dan k adalah:

$$F(\tau) = \int_0^\tau \frac{\lambda^k x^{(k-1)} e^{-(\lambda x)}}{\Gamma(k)} dx \quad (\text{IV.31})$$

c. Fungsi keandalan

Fungsi keandalan variabel acak τ yang mengikuti distribusi gamma dengan parameter λ dan k adalah:

$$\bar{F}(\tau) = \int_\tau^\infty \frac{\lambda^k x^{(k-1)} e^{-(\lambda x)}}{\Gamma(k)} dx \quad (\text{IV.32})$$

d. Fungsi laju kegagalan

Fungsi laju kegagalan variabel acak τ yang mengikuti distribusi gamma dengan parameter λ dan k adalah:

$$r(\tau) = \frac{\lambda^k \tau^{(k-1)} e^{-(\lambda \tau)}}{\Gamma(k) \int_\tau^\infty \frac{\lambda^k x^{(k-1)} e^{-(\lambda x)}}{\Gamma(k)} dx} \quad (\text{IV.33})$$

$r(\tau)$ merupakan fungsi menaik terhadap τ jika $k > 1$ dan fungsi menurun jika $0 < k < 1$. Untuk $k = 1$, $r(\tau)$ konstan terhadap τ . Dengan demikian distribusi gamma bersifat IFR (*Increasing Failure Rate*) jika $k > 1$ dan DFR (*Decreasing Failure Rate*) jika $0 < k < 1$.

e. Rata-rata dan Variansi

Rata-rata dan variansi variabel acak τ yang mengikuti distribusi eksponensial dengan parameter λ adalah:

$$\mu = \frac{k}{\lambda} \quad (\text{IV.34})$$

$$\sigma^2 = \frac{k}{\lambda^2}$$

(IV.35)



Bab V Formulasi Model

Pada bagian ini akan menjelaskan formulasi model ongkos gabungan produsen dan distributor untuk produk yang dijamin dengan garansi. Pada model ongkos gabungan (UBE) tersebut juga diperhatikan pemeriksaan oleh kedua belah pihak sebelum barang dikirim oleh produsen dan sesaat sebelum diterima distributor. Pada sub bab 4.1 dibahas karakterisasi sistem untuk dua model UBE gabungan. Berdasarkan karakterisasi tersebut akan disusun formulasi modelnya pada sub bab 4.2 untuk memperoleh ekspresi matematik dari ekspektasi total ongkos untuk produsen dan distributor serta ekspektasi total ongkos gabungan model pertama untuk model EMQ gabungan yang memperhatikan pemeriksaan dengan pemeriksaan secara keseluruhan dan pemeriksaan dengan *acceptance sampling*.

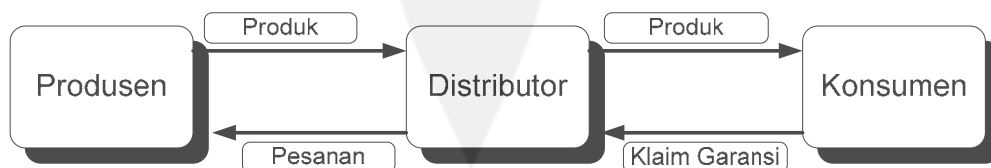
V.1. Karakterisasi Sistem

Pada bagian ini akan dijelaskan delapan faktor relevan terhadap tujuan penelitian dan hubungan dari faktor-faktor tersebut yaitu:

1. Produsen
2. Sistem Produksi
3. Distributor
4. Sistem Rantai Pasok
5. Pemeriksaan produk
6. Konsumen
7. Kinerja produk
8. Kebijakan Garansi

Hubungan antar faktor dapat digambarkan seperti Gambar V.1, sedangkan penjelasan masing-masing faktor dapat akan diuraikan pada bagian selanjutnya.

Sistem produksi pada produsen mengubah bahan baku atau barang setengah jadi atau merakit komponen menjadi produk jadi dengan sistem make to stock dengan laju produksi konstan, untuk memenuhi pesanan. Seiring dengan berjalannya produksi maka mesin produksi pada produsen berangsur-angsur mengalami penurunan kinerja (deteriorasi), sehingga proses dapat berpindah status dari *in-control* ke *out-of-control*. Penurunan kinerja ini dapat menyebabkan kualitas produk akhir yang dihasilkan tidak seluruhnya dapat memenuhi spesifikasi rancangan (*non-conforming product*) sehingga kualitas produk dan proses perlu dikendalikan. Pada kondisi tertentu maka sistem produksi perlu dikembalikan lagi ke status *in-control* (dilakukan restorasi). Ongkos restorasi diperlukan untuk mengembalikan sistem produksi kembali ke status *in-control*.



Gambar V.1 Hubungan antara produsen, distributor dan konsumen

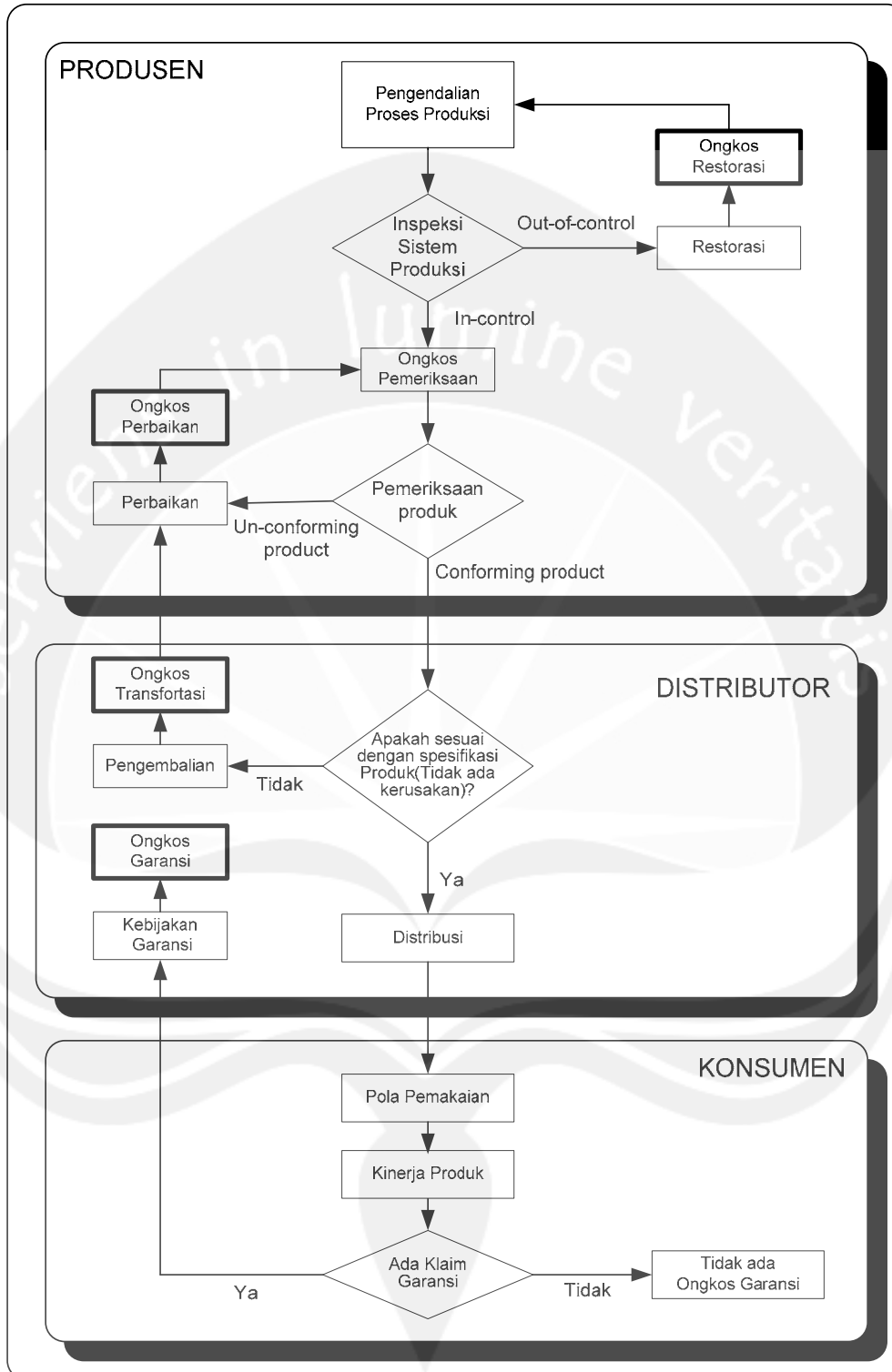
Produsen memproduksi produk akhir, di mana produk akhir tersebut terdiri dari komponen-komponen yang dirakit menjadi produk dan produk dijual ke konsumen dengan garansi melalui distributor. Distributor melakukan pemesanan produk tersebut kepada produsen dimana jumlah dan pengiriman produk dikoordinasi oleh kedua belah pihak. Dalam hal ini Produsen dan distributor mengetahui bahwa tingkat permintaan produk dari konsumen bersifat deterministik. Pemesanan produk kepada produsen dilakukan jika posisi persediaan produk telah mencapai *reorder point* dengan *lead time* diketahui dan konstan. Pengiriman komponen kepada distributor dilakukan secara *lot* demi *lot* yang dikoordinasikan secara bersama berdasarkan sistem JIT.

Distributor memesan produk pada produsen sebesar D unit per periode waktu yang diproduksi dalam beberapa siklus produksi dengan ukuran pemesanan sebesar Q unit. Produsen memulai *setup* yang dilanjutkan dengan proses produksi dengan kecepatan produksi sebesar p untuk *lot* berukuran Q unit. Selama berproduksi, mesin produksi pada produsen akan mengalami penurunan kinerja sehingga diperlukan inspeksi untuk mengendalikan kualitas proses. Inspeksi hanya sekali dilakukan selama satu siklus produksi. Dengan inspeksi, maka dapat diketahui proporsi produk yang tidak memenuhi syarat sebesar $p(Q)$ unit. *Lot* yang telah diproduksi akan diteruskan ke bagian pemeriksaan produk untuk diperiksa. Pemeriksaan akan dilakukan dengan pemeriksaan secara keseluruhan. Jumlah produk yang tidak memenuhi syarat yang semula $p(Q)$ unit akan berkurang menjadi $q(Q)$ unit karena komponen yang tidak memenuhi syarat akan diketahui kemudian diperbaiki pada saat pemeriksaan. Setelah tahapan pemeriksaan selesai, maka komponen akan langsung dikirim ke distributor secara *lot* demi *lot* untuk memenuhi permintaan produk jadi sebesar D unit dengan kecepatan produksi sebesar p . Hubungan proses pemesanan dan produksi antara produsen dan distributor pada model UBE gabungan dapat dilihat pada Gambar V.2.

Produk bersifat *repairable* (dapat diperbaiki) dan dijual ke produsen dengan *Failure Free Warranty* dengan garansi selama W (Yeh et al.(2000)). Apabila produk mengalami kerusakan selama W atau tidak sesuai dengan spesifikasi, maka produsen dapat mengajukan klaim garansi kepada Produsen melalui Distributor. Perbaikan produk yang rusak ditanggung produsen tanpa dikenakan ongkos kepada konsumen. Namun jika produk sudah sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan, maka tidak ada tindakan perbaikan atau dengan kata lain produsen tidak mengeluarkan ongkos garansi untuk produk tersebut. Setiap produk yang mengalami kerusakan akan diperbaiki dengan *minimal repair*, sehingga kondisi produk setelah diperbaiki sama seperti kondisi komponen sesaat sebelum terjadi kerusakan. Dengan demikian, kerusakan produk selama masa garansi dapat diasumsikan akan mengikuti proses *non-homogeneous poisson process* (NHPP) dengan intensitas $r(\tau)$.

Pengendalian kualitas untuk produk yang telah diproduksi dilakukan dengan pemeriksaan secara langsung pada semua produk untuk memberikan keputusan terhadap produk yang diperiksa telah memenuhi syarat atau tidak dengan berdasarkan spesifikasi produk. Dalam setiap *lot* sebesar Q unit yang dihasilkan produsen akan diperiksa dan dimungkinkan dalam pemeriksaan tersebut akan ditemukan d unit yang tidak memenuhi syarat. Produk cacat yang ditemukan akan dipisahkan untuk diperbaiki. Besarnya D dalam setiap lot dianggap mengikuti distribusi binomial.

Dalam penelitian ini dikembangkan model UBE gabungan yaitu model UBE gabungan yang tidak memperhatikan pemeriksaan dan yang tidak memperhatikan pemeriksaan 100%. Yang menjadi perbedaan mendasar pada dua model UBE gabungan ini adalah proses pemeriksaan dan tidak pada produsen maupun distributor. Untuk itu, pada Gambar V.2 yang menunjukkan hubungan antara faktor relevan sesuai dengan model EMQ yang dikembangkan, yaitu produsen dan distributor yang memperhatikan dan tidak memperhatikan pemeriksaan produk yang dijual ke konsumen.



Gambar V.2. Karakterisasi sistem

V.2. Pemodelan Matematik

Berdasarkan permasalahan dan solusi tujuan yang akan dicapai dan mempertimbangkan asumsi dan batasan-batasan masalah yang ada, maka model matematik dapat disusun sesuai dengan sistem relevan yang ada. Pada bagian ini akan diformulasikan model UBE gabungan yang merupakan pengembangan model-model yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu, yaitu :

1. Model UBE gabungan tanpa pemeriksaan, dimana model ini hanya memperhatikan produk yang pasok ke distributor dan kemudian dijual ke konsumen disertai dengan garansi.
2. Model UBE gabungan dengan pemeriksaan, dimana model ini memperhatikan pemeriksaan 100% untuk produk yang dihasilkan oleh produsen. Komponen tersebut dijual kepada konsumen disertai dengan garansi.

V.2.1. Notasi Model

Notasi-notasi yang akan digunakan dalam penulisan model adalah sebagai berikut:

- Q : ukuran *lot* produksi atau pemesanan dalam unit
 D : jumlah permintaan dalam unit per perioda
 C_i : ongkos simpan produk
 A : ongkos pemesanan untuk setiap memesan (Rp./pesanan)
 C_s : ongkos *setup* untuk produsen pada setiap *setup* (\$./*setup*)
 r : tingkat ongkos penanganan inventory yang dinyatakan sebagai pecahan
 p_1 : tingkat produksi rata-rata produsen (unit/periode)
 p_2 : tingkat produksi rata-rata pemasok (unit/periode)
 C_p : ongkos produksi unit yang dikeluarkan oleh produsen (Rp./unit)
 C_b : harga pembelian tiap unit yang dibayar oleh distributor (Rp./unit)
 C_p : ongkos pemeriksaan per unit oleh pemasok (\$./unit)
 C_g : ongkos untuk klaim garansi per unit oleh produsen (Rp./unit)
 C_r : ongkos perbaikan *minimal repair* per unit oleh pemasok (Rp./unit)
 λ : rata-rata terjadinya kondisi tidak terkendali (*out-of-control*)
 θI : persentase defektif pada kondisi terkendali (*in-control*)

- θ_2 : persentase defektif pada kondisi tidak terkendali (*out-of-control*)
- $r1(\tau)$: *hazard rate* komponen yang memenuhi syarat (*conforming-item*) dengan parameter α_1 dan β_1
- $r2(\tau)$: *hazard rate* komponen yang tidak memenuhi syarat (*nonconforming-item*) dengan parameter α_2 dan β_2
- w : periode garansi
- n : ukuran sampel
- c : batasan jumlah komponen yang tidak memenuhi syarat yang diijinkan untuk bisa diterima
- d : jumlah komponen yang tidak memenuhi syarat yang ditemukan pada saat pemeriksaan dengan *acceptance sampling*
- JT(Q) : total ongkos gabungan (Rp)

V.2.2. Asumsi Model

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak terjadi *stock out* pada sistem persediaan produsen dan distributor.
2. Komponen bersifat “*repairable*”.
3. Kapasitas gudang, kapasitas produksi dan modal tidak terbatas.
4. Masing-masing ongkos diketahui dan bersifat konstan.
5. Pemeriksaan kualitas hanya dilakukan oleh produsen.
6. Setiap terjadi kegagalan produk selalu berakibat klaim garansi.
7. Besarnya lot produksi sama dengan lot pemesanan.

V.2.2.1. Model Matematik

Andaikan $TCp(Q)$ dan $TCd(Q)$ merepresentasikan ekspektasi total ongkos produsen dan distributor per *lot* serta dan $TC(Q)$ merupakan ekspektasi total ongkos gabungan per *lot*, maka ekspektasi total ongkos gabungan per *lot* adalah:

$$\begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{Total} \\ \text{Ongkos} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{Ongkos} \\ \text{Pr odusen} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{Ongkos} \\ \text{Distributor} \end{bmatrix}$$

Ekspresi matematik untuk masing-masing ekspektasi total ongkos akan dijelaskan pada sub bab berikutnya.

V.2.2.2. Ekspektasi Total Ongkos Produsen

Ekspektasi ongkos pada produsen meliputi ongkos produksi, ongkos setup, ongkos inventori, ongkos pemeriksaan, ongkos perbaikan, ongkos garansi dan ongkos reduksi gudang. Ekspresi matematik untuk masing-masing komponen ongkos yang ditanggung produsen adalah sebagai berikut:

a. Ongkos Produksi (C_{pp})

Ongkos produksi adalah ongkos yang diperlukan untuk memproduksi per unit produk. Besarnya ongkos adalah tetap, dan tidak dipengaruhi oleh variabel keputusan. Adapun besarnya ongkos dan ekspresi matematiknya adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \text{Ongkos} \\ \text{produksi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Ongkos produksi} \\ \text{per unit} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{Jumlah} \\ \text{permintaan} \end{bmatrix}$$

$$C_{pp} = C_p \cdot D \quad (V.1)$$

b. Ongkos Setup (C_{sp})

Setup diperlukan setiap awal siklus produksi pada saat akan mulai memproduksi sejumlah ukuran lot, sehingga ongkos setup merupakan perkailan antara jumlah setup yang dilakukan dengan ongkos per sekali setup, atau secara matematik dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \text{Ongkos setup} \\ \text{produksi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Jumlah permintaan} \\ \text{Kapasitas Produksi} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{Ongkos} \\ \text{per sekali setup} \end{bmatrix}$$

$$C_{sp} = \frac{D}{Q} C_s \quad (V.2)$$

c. Ongkos Inventori (C_{ip})

Produk jadi yang disimpan memerlukan ongkos yang disebut sebagai ongkos inventori/persediaan. Ongkos ini merupakan perkailan antara rata-rata inventori produk jadi dengan ongkos simpan per unit produk. Secara matematik dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \text{Ongkos} \\ \text{Inventori} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Rata-rata} \\ \text{Inventori} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{Ongkos} \\ \text{simpan} \end{bmatrix}$$

$$Cip = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q \cdot D}{p_2} \cdot r \cdot Ci \quad (V.3)$$

d. Ongkos Pemeriksaan (*Cmp*)

Ekspektasi total ongkos pemeriksaan dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Total ongkos} \\ \text{pemeriksaan} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Rata-rata} \\ \text{lot yang diperiksa} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{c} \text{Ongkos} \\ \text{pemeriksaan per lot} \end{array} \right]$$

Ekspektasi jumlah komponen yang tidak memenuhi syarat/non-conforming telah dijelaskan oleh Yeh et. al. (2000), dengan persamaan:

$$E(N) = \theta_2 \cdot pt + p_2 \cdot (\theta_1 - \theta_2) \cdot \frac{1 - e^{-\lambda t}}{\lambda} \quad (V.4)$$

Untuk memperoleh persamaan dalam variabel lot maka t disubstitusi dengan Q/p_2 , sehingga persamaannya menjadi:

$$E(N) = \theta_2 \cdot Q + p_2 \cdot (\theta_1 - \theta_2) \cdot \frac{1 - e^{-\frac{\lambda}{p_2} Q}}{\lambda} \quad (V.5)$$

Proporsi jumlah komponen *non-conforming* sebelum dilakukan pemeriksaan *acceptance sampling* adalah:

$$p(Q) = \frac{E(N)}{Q} = \theta_2 + p_2 \cdot (\theta_1 - \theta_2) \cdot \frac{1 - e^{-\frac{\lambda}{p_2} Q}}{\lambda \cdot Q} \quad (V.6)$$

Sehingga probabilitas *lot* yang akan diterima adalah:

$$Pa = \sum_{d=0}^c \binom{n}{d} \left[\theta_2 + p_2 \cdot (\theta_1 - \theta_2) \cdot \frac{1 - e^{-\frac{\lambda}{p_2} Q}}{\lambda \cdot Q} \right]^d \left[1 - \theta_2 + p_2 \cdot (\theta_1 - \theta_2) \cdot \frac{1 - e^{-\frac{\lambda}{p_2} Q}}{\lambda \cdot Q} \right]^{n-d} \quad (V.7)$$

Pemeriksaan akan menghasilkan keputusan terhadap lot produk apakah diterima atau ditolak, sehingga akan memberikan konsekuensi sebagai berikut:

- Jika *lot* diterima, maka jumlah komponen yang harus diperiksa sebanyak n unit.
- Jika *lot* ditolak, maka jumlah komponen yang harus diperiksa adalah seluruh komponen dengan ukuran *lot* Q unit.

Besarnya rata-rata jumlah *lot* yang diperiksa adalah $nPa + Q[1 - Pa]$, sehingga, ekspektasi total ongkos pemeriksaan per *lot* adalah:

$$C_{mp} = C_m \cdot \{n \cdot Pa + Q \cdot [1 - Pa]\} \quad (V.8)$$

e. Ongkos Perbaikan (C_{rp})

Menentukan ekspektasi total ongkos perbaikan sebelum pemeriksaan *acceptance sampling* dilakukan dengan:

$$\begin{bmatrix} \text{Total} \\ \text{Ongkos} \\ \text{Perbaikani} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Rata-rata} \\ \text{jumlah lot} \\ \text{yang diperbaiki} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{Ongkos} \\ \text{perbaikan} \\ \text{per lot} \end{bmatrix}$$

Keputusan penerimaan *lot* :

- Jika *lot* diterima, maka jumlah komponen yang harus diperbaiki sebanyak d unit.
- Jika *lot* ditolak, maka jumlah komponen yang harus diperbaiki adalah seluruh komponen yang tidak memenuhi syarat dengan ekspektasi $E(N)$ unit.

rata-rata jumlah *lot* yang diperbaiki adalah $dPa + [E(N)](1 - Pa)$, sehingga, ekspektasi total ongkos perbaikan per *lot* adalah:

$$C_{rp} = C_r \cdot \{d \cdot Pa + [E(N)] \cdot (1 - Pa)\} \quad (V.9)$$

f. Ongkos Garansi (C_{gp})

Ongkos garansi yang ditanggung produsen karena produk yang tidak memenuhi syarat/mengalami kegagalan (defektif) adalah:

$$\begin{bmatrix} \text{EkspektasiTotal} \\ \text{OngkosGaransi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Ongkos} \\ \text{minimal repair} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{Ekspektasi} \\ \text{KlaimGaransi} \end{bmatrix}$$

Jika produsen menerapkan keijakan garansi *free-minimal repair*, untuk

semua produk yang mengalami kerusakan pada periode garansi. Dengan menggunakan asumsi bahwa kerusakan produk *conforming* dan *non-conforming* mengikuti *nonhomogeneous process* dengan intensitas $r(\tau)$, maka espektasi jumlah pelayanan garansi dalam periode garansi w adalah:

$$Confor\ min\ g = \int_0^{\infty} r_1(\tau) d\tau \quad (V.10)$$

$$Non - confor\ min\ g = \int_0^{\infty} r_2(\tau) d\tau \quad (V.11)$$

Ekspektasi jumlah pelayanan garansi bagi produsen selama periode garansi

$$w \text{ adalah: } Q \cdot \left[(1 - p(Q)) \int_0^w r_1(\tau) d\tau + p(Q) \int_0^w r_2(\tau) d\tau \right]$$

Jika C_{gp} adalah ekspektasi total ongkos garansi produk selama periode w , maka:

$$C_{gp} = Q \cdot C_g \cdot \left[(1 - p(Q)) \int_0^w r_1(\tau) d\tau + p(Q) \int_0^w r_2(\tau) d\tau \right] \quad (V.12)$$

Dengan menjumlahkan semua komponen ongkos manufaktur, maka total ongkos manufaktur (produsen) adalah:

$$\begin{aligned} \left[\begin{array}{l} Total\ Ongkos \\ Produsen \end{array} \right] &= \left[\begin{array}{l} Ongkos \\ Produksi \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} Ongkos \\ Setup \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} Ongkos \\ Inventori \end{array} \right] \\ &+ \left[\begin{array}{l} Ongkos \\ Pemeriksaan \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} Ongkos \\ Perbaikan \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} Ongkos \\ Garansi \end{array} \right] \end{aligned}$$

Ekspresi matematik adalah:

$$\begin{aligned} TCp(Q) &= C_p \cdot D + \frac{D}{Q} C_s + \frac{1}{2} \cdot \frac{Q \cdot D}{p_2} \cdot r \cdot C_i \\ &+ C_m \cdot \{n \cdot Pa + Q \cdot [1 - Pa]\} \\ &+ C_r \cdot \{d \cdot Pa + [E(N)] \cdot (1 - Pa)\} \\ &+ Q \cdot C_g \cdot \left[(1 - p(Q)) \int_0^w r_1(\tau) d\tau + p(Q) \int_0^w r_2(\tau) d\tau \right] \end{aligned} \quad (V.13)$$

V.2.2.3. Ekspektasi Total Ongkos Distributor

Ekspektasi ongkos pada distributor meliputi ongkos pembelian, ongkos pesan, ongkos transportasi, dan ongkos reduksi gudang. Ekspresi matematik untuk masing-masing komponen ongkos adalah sebagai berikut:

a. Ongkos Pembelian (Cbd)

Ongkos pembelian merupakan perkailan antara hagra jual produk per satuan unit produk dikalikan dengan tingkat permintaan produk. Besarnya total ongkos pembelian dan ekspresi mataematiknya adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \text{Total Ongkos} \\ \text{Pembelian} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Harga} \\ \text{Produk} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{Tingkat} \\ \text{Permintaan} \end{bmatrix}$$
$$Cbd = Cb \cdot D \quad (V.14)$$

b. Ongkos Pesan (Cpd)

Ongkos pesan merupakan perkalian biaya per sekali pesan dengan banyaknya pemesanan. Sedangkan banyaknya pemesanan merupakan banyaknya permintaan dibagi dengan kuantitas per sekali pesan. Besarnya ongkos pesan dan ekspresi matematiknya adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \text{Total Ongkos} \\ \text{Pesan} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Biaya} \\ \text{Pesan} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{Jumlah} \\ \text{Pemesanan} \end{bmatrix}$$
$$Cpd = A \cdot \frac{D}{Q} \quad (V.15)$$

c. Ongkos Transportasi (Ctd)

Ongkos transportasi merupakan perkalian antara biaya transportasi dikalikan dengan banyaknya pemesanan atau pengiriman. Sedangkan banyaknya pengiriman merupakan banyaknya permintaan dibagi dengan kuantitas per sekali kirim. Besarnya ongkos pesan dan ekspresi matematiknya adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \text{Total Ongkos} \\ \text{Transportasi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Ongkos} \\ \text{Transportasi} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{Jumlah} \\ \text{Pengiriman} \end{bmatrix}$$
$$Ctd = Ct \cdot \frac{D}{Q} \quad (V.16)$$

d. Ongkos Inventori (Cid)

Ongkos simpan merupakan perkalian antara rata-rata persediaan produk dengan ongkos simpan produk. Besarnya ongkos simpan dan ekspresi matematikanya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \left[\begin{array}{l} \text{Total Ongkos} \\ \text{Simpan} \end{array} \right] &= \left[\begin{array}{l} \text{Rata-rata} \\ \text{Persediaan} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{l} \text{Ongkos} \\ \text{Simpan Produk} \end{array} \right] \\ Cid &= \frac{1}{2} \cdot \frac{Q \cdot (p_1 - D)}{p_1} \cdot r \cdot Ci = \frac{Q}{2} \cdot \left(1 - \frac{D}{p_1} \right) \cdot r \cdot Ci \quad (\text{V.17}) \end{aligned}$$

Dengan menjumlahkan semua komponen ongkos distribusi, maka total ongkos distribusi adalah:

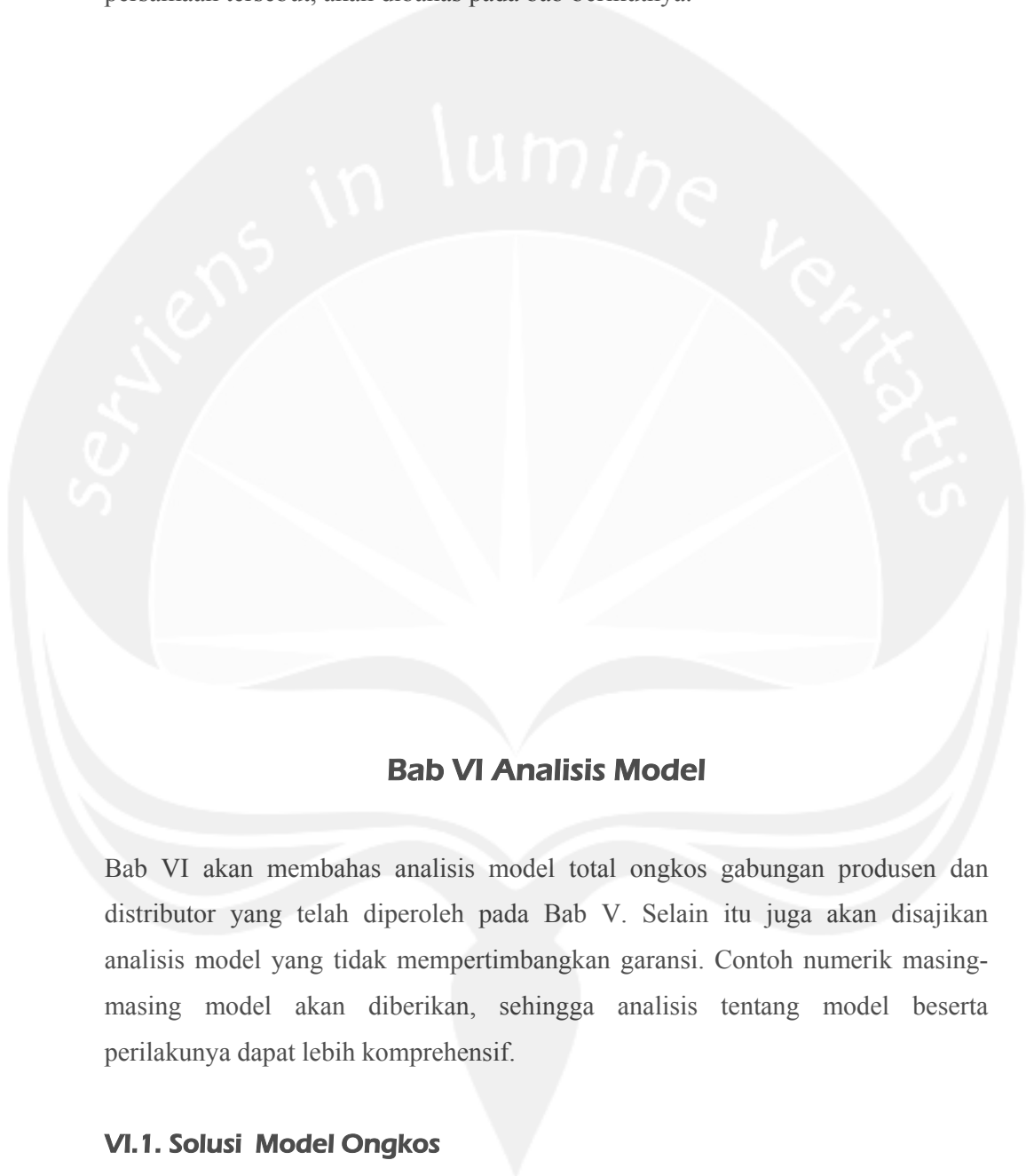
$$\begin{aligned} \left[\begin{array}{l} \text{Total Ongkos} \\ \text{Distribusi} \end{array} \right] &= \left[\begin{array}{l} \text{Ongkos} \\ \text{Pembelian} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Ongkos} \\ \text{Pesan} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Ongkos} \\ \text{Transportasi} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Ongkos} \\ \text{Inventori} \end{array} \right] \\ TCd(Q) &= Cb \cdot D + \frac{A \cdot D}{Q} + Ct \cdot \frac{D}{Q} + \frac{Q}{2} \cdot \left(1 - \frac{D}{p_1} \right) \cdot r \cdot Ci \quad (\text{V.18}) \end{aligned}$$

V.2.2.4. Ekspektasi Total Ongkos Gabungan

Jika total ongkos produsen adalah $TCp(Q)$ dan total ongkos distributor adalah $TCd(Q)$ serta $TC(Q)$ merepresentasikan ekspektasi total ongkos gabungan per lot, maka ekspektasi total ongkos gabungan per lot adalah:

$$\begin{aligned} \left[\begin{array}{l} \text{Ekspektasi} \\ \text{Total} \\ \text{Ongkos} \end{array} \right] &= \left[\begin{array}{l} \text{Ekspektasi} \\ \text{Ongkos} \\ \text{Produsen} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Ekspektasi} \\ \text{Ongkos} \\ \text{Distributor} \end{array} \right] \\ TC(Q) &= Cp \cdot D + \frac{D}{Q} Cs + \frac{1}{2} \cdot \frac{Q \cdot D}{p_2} \cdot r \cdot Ci \\ &+ Cm \cdot \{n \cdot Pa + Q \cdot [1 - Pa]\} \\ &+ Cr \cdot \{d \cdot Pa + [E(N)] \cdot (1 - Pa)\} \\ &+ Q \cdot Cg \cdot \left[(1 - p(Q)) \int_0^w r_1(\tau) d\tau + p(Q) \int_0^w r_2(\tau) d\tau \right] \\ &+ Cb \cdot D + \frac{A \cdot D}{Q} + Ct \cdot \frac{D}{Q} + \frac{Q}{2} \cdot \left(1 - \frac{D}{p_1} \right) \cdot r \cdot Ci \quad (\text{V.19}) \end{aligned}$$

Persamaan yang diperoleh merupakan persamaan dalam fungsi Q , dimana Q merupakan ukuran lot pengiriman atau ukuran lot produksi. Analisis tentang persamaan yang telah diperoleh dan contoh numerik untuk menjelaskan perilaku persamaan tersebut, akan dibahas pada bab berikutnya.



Bab VI Analisis Model

Bab VI akan membahas analisis model total ongkos gabungan produsen dan distributor yang telah diperoleh pada Bab V. Selain itu juga akan disajikan analisis model yang tidak mempertimbangkan garansi. Contoh numerik masing-masing model akan diberikan, sehingga analisis tentang model beserta perilakunya dapat lebih komprehensif.

VI.1. Solusi Model Ongkos

Analisis dilakukan untuk mendapatkan karakteristik dari ukuran lot optimal (Q^*). Q^* merupakan nilai Q yang meminimumkan ekspektasi total ongkos gabungan. Nilai Q^* dapat diperoleh dengan mencari akar persamaan dari turunan pertama

persamaan $TC(Q)$. Dengan menyatakan bahwa nilai $Q < 0$ maka nilai Q^* akan dicari dengan software MatCAD 14. Penulisan detail program beserta hasilnya dapat dilihat pada Lampiran 1.

VI.2. Model Ongkos

Model total ongkos gabungan merupakan penjumlahan model ongkos produsen dan distributor seperti yang telah ditunjukkan pada Persamaan V.21. Jika dilihat dari sudut pandang masing-masing pihak, yaitu produsen dan konsumen maka besarnya ukuran lot optimal dan besarnya total ongkos masing-masing pihak dapat dicari. Jika $TCP(Q)$ dan $TCD(Q)$ adalah total ongkos pada produsen dan distributor, maka dapat dinyatakan seperti pada persamaan VI.1 dan VI.2.

VI.2.1. Model Ongkos Produsen

Ekspresi model matematik total ongkos produsen seperti yang ditunjukkan pada persamaan VI.1.

$$\begin{aligned}
 TCP(Q) = & C_p \cdot D + \frac{D}{Q} C_s + \frac{1}{2} \cdot \frac{Q \cdot D}{p_2} \cdot r \cdot C_i \\
 & + C_m \cdot \{n \cdot Pa + Q \cdot [1 - Pa]\} \\
 & + Cr \cdot \{d \cdot Pa + [E(N)] \cdot (1 - Pa)\} \\
 & + Q \cdot C_g \cdot \left[(1 - p(Q)) \int_0^w r_1(\tau) d\tau + p(Q) \int_0^w r_2(\tau) d\tau \right]
 \end{aligned} \tag{VI.1}$$

Jika ukuran lot optimal bagi produsen adalah Q_d^* , maka besarnya Q_d^* dapat diperoleh dengan cara seperti pada pencarian Q^* sub bab sebelumnya. Langkah pertama yaitu mencari $\frac{d(TCP(Q))}{dQ} = 0$, kemudian mencari akar dari persamaan tersebut. Detail pencarian dan hasil solusi model ini dapat dilihat pada Lampiran 1.

VI.2.2. Model Ongkos Distributor

Ekspresi model matematik total ongkos distributor seperti yang ditunjukkan pada persamaan VI.2.

$$TCD(Q) = Cb \cdot D + \frac{A \cdot D}{Q} + Ct \cdot \frac{D}{Q} + \frac{Q}{2} \cdot \left(1 - \frac{D}{p_1}\right) \cdot r \cdot Ci \quad (VI.2)$$

Jika ukuran lot optimal bagi distributor adalah Qd^* , maka besarnya Qd^* dapat diperoleh dengan cara seperti pada pencarian Q^* sub bab sebelumnya. Langkah pertama yaitu mencari $\frac{d(TCd(Q))}{dQ} = 0$, kemudian mencari akar dari persamaan tersebut. Hasil perhitungan dengan software MathCAD 14 untuk masing-masing persamaan diatas dapat dilihat pada contoh numerik.

VI.3. Contoh Numerik

Bagian ini akan membahas contoh numerik untuk model yang telah dikembangkan. Langkah ini digunakan untuk memberikan ilustrasi solusi optimal dan untuk mengetahui perilaku model yang telah dibuat dengan menetapkan beberapa nilai parameter. Parameter-parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel VI.1. Sedangkan umur hidup komponen dalam contoh ini mengikuti distribusi Weibull.

Tabel VI.1 Nilai parameter model

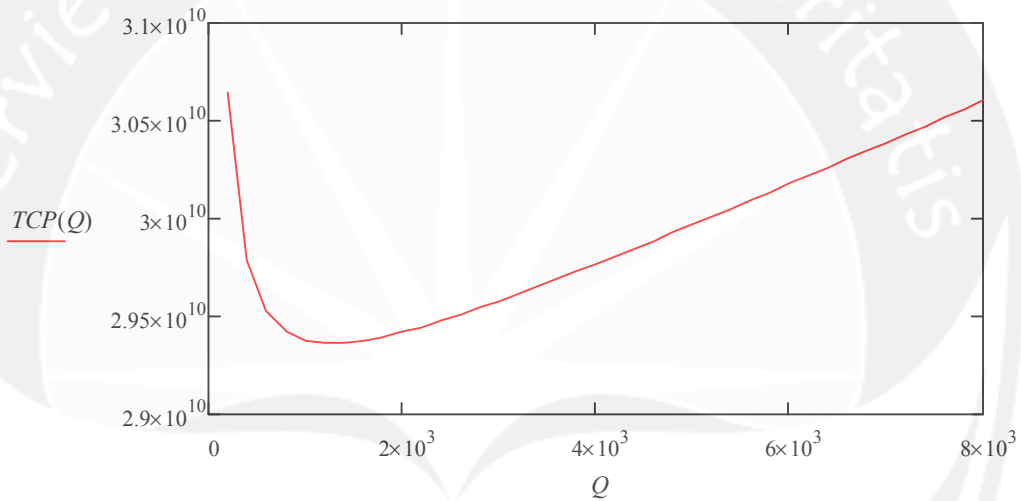
Notasi	Nilai	Notasi	Nilai
D	18.000 unit/tahun	Cr	Rp. 120.000
γ	0,22	Cb	Rp. 210.000
h	Rp. 200.000	Ct	Rp. 140.000
Cs	Rp. 2.000.000	λ_1	0,1
Cp	Rp. 160.000	λ_2	4,5
r	0,4	α_1	0,000165
Ci	Rp. 120.000	B1	3
p2	200.000 unit/tahun	B2	4,5
Cg	Rp. 120.000	p1	250.000 unit/tahun
Cm	Rp. 80.000	w	1 tahun
θ_1	0,86	A	Rp. 120.000
θ_2	0,15		

Rencana sampling berdasarkan Tabel Mil STD 105 D dengan *Acceptable Quality Level* (AQL) 10% pada *General Inspection Level II* dengan inspeksi *single*

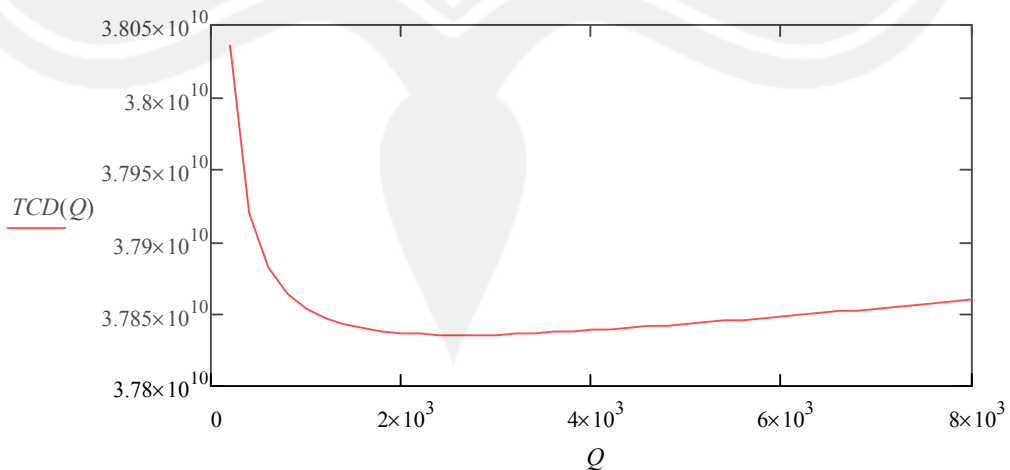
sampling normal, sehingga diperoleh rencana sampling dengan sampel 50, $Ac = 7$ dan $Re = 8$. Tabel ini dapat dilihat pada Mitra (1998).

VI.3.1. Hasil Perhitungan

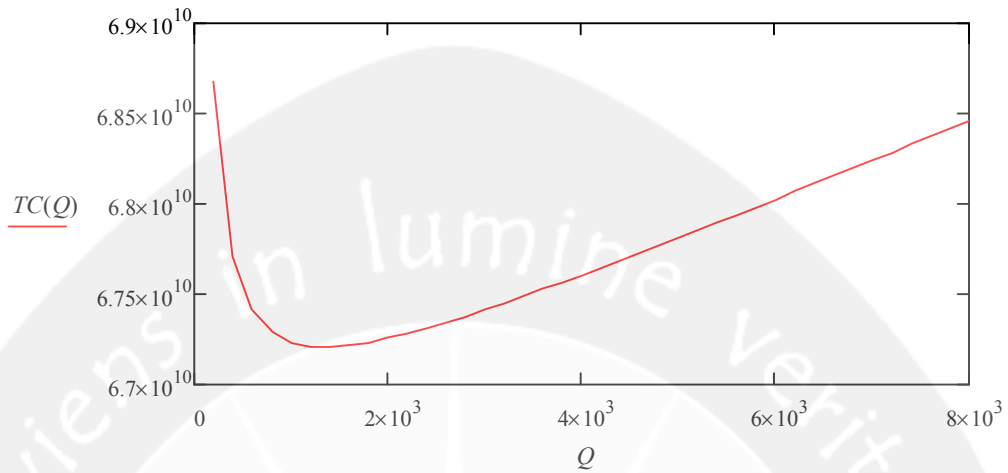
Ukuran lot produksi/pemesanan yang optimal (Q^*) diperoleh dengan mencari akar dari turunan persamaan total ongkos. Perhitungan untuk mencari nilai Q^* digunakan software MathCad 14. Hasil perhitungan yang menunjukkan besarnya ukuran lot yang optimal (Q^*) dan total ongkos gabungan $TC(Q)$ dapat dilihat pada Gambar VI.1. sampai Gambar VI.6.



Gambar VI.1. Kurva total ongkos produsen $TC(Q)$



Gambar VI.2. Kurva total ongkos distributor $TCD(Q)$



Gambar VI.3. Kurva total ongkos gabungan $TC(Q)$

Tabel VI.2 Hasil perhitungan ukuran lot optimal dan total ongkos

Variabel	Produsen	Distributor	Gabungan
Ukuran lot optimal	1280	2639	1341
Total Ongkos	Rp. 29.362.470.605	Rp. 37.839.568.076	Rp.67.208.278.558

VI.4. Perbandingan Total Ongkos

Hasil contoh numerik menunjukkan bahwa ukuran lot produsen jauh lebih kecil dibandingkan dengan ukuran lot pemesanan distributor. Artinya bahwa produsen akan lebih untung kalau memproduksi dalam ukuran lot yang lebih kecil, sesuai dengan konsep JIT. Konsekuensi dari hal ini yaitu pengiriman bertahap dengan ukuran lot yang lebih kecil. Tetapi dari sudut pandang distributor ukuran pemesanan ekonomis atau ukuran lot optimal jauh lebih besar, dalam kasus ini sekitar 2 kali ukuran lot produksi, maka pengiriman bertahap dalam ukuran lot yang lebih kecil kurang menguntungkan distributor.

Berkaitan dengan permasalahan pada produsen dan konsumen maka model ini mengusulkan total ongkos gabungan, dengan mencari ukuran lot optimal jika dipandang dari kedua belah pihak secara simultan.

Bab VII Kesimpulan dan Saran

VII.1. Kesimpulan

Ukuran lot produksi/pengiriman yang optimal baik bagi produsen maupun distributor dapat diperoleh dan meminimumkan ekspektasi ongkos rantai pasok gabungan. Model ini dapat mengkoordinasi produsen dan distributor utamanya akibat pengiriman bertahap lot demi lot karena penerapan JIT.

Berdasarkan formulasi dan analisis model yang dikembangkan serta contoh numerik diberikan maka disimpulkan sebagai berikut:

1. Diperoleh Q^* yang unik yang meminimumkan ekspektasi total ongkos gabungan.
2. Koordinasi produsen dan distributor untuk manajemen rantai pasok akan menurunkan total biaya tetapi akan menurunkan ukuran lot produksi/pengiriman.

6.1 Saran Penelitian Lanjutan

Penelitian ini dilakukan dengan asumsi bahwa proses produksi mempunyai laju yang tetap (kondisi yang ideal), ukuran lot produksi sama dengan ukuran lot pengiriman dan tahap pemeriksaan hanya dilakukan oleh produsen. Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan mempertimbangkan sebagai berikut:

1. Laju produksi tidak tetap
2. Pemeriksaan juga dilakukan oleh distributor.
3. ukuran lot produksi yang berbeda dengan ukuran pengiriman.

Selain itu penelitian lanjutan guna mencari solusi model secara analitik perlu dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Affisco, J., F., Paknejad, M., J., dan Nasri, F., 2002, Quality improvement and setup reduction in the joint economic lot size model, *European Journal of Operational Research*, Vol. 142, Hal. 497-508.
- Barlow, R. E. dan Proschan, F., 1965, *Mathematical theory of reliability*, John Wiley, New York.
- Blichke, W.R. dan Murthy, D.N.P., 1994, *Warranty Cost Analysis*, Marcel Dekker, New York.
- Cao, Q. dan Schniederjans, M.J., 2004, A Revised EMQ/JIT Production-Run Model: An Examination of Inventory and Production Costs, *International Journal of Production Economics*, Vol.87, Hal. 83-95.
- Dobler, D.W. dan Burt, D.N., 1996, *Purchasing and Supply Management, Text and Case*, Mc Graw Hill, Singapore.
- Ganeshan, R., Kulkarni, S. dan Boone, T., 2001, "Production economics and process quality: a taguchi perspective", *International Journal Production Economics*, Vol. 71, Hal. 343-350.
- Golhar, D.Y. dan Sarker, B.R., 1992, Economic Manufacturing Quantity in Just-in Time Delivery System, *Int.J.Prod.Res.*, 30(5), 961-972.
- Groenevelt, H.A., Seidmann, A. dan Pintelon, L., 1992, Production lot sizing with machine breakdown, *Management Science*, Vol 38, Hal. 104-123.
- Halim, A.H. dan Prasetyaningtyas, E., 2000, "Model reduksi ongkos setup untuk perusahaan pemasok dengan pengiriman Just In Time: kasus single stage", *Proceedings Pertemuan Ilmiah BKSTI 2000*, Hal. 210-218.
- Hanna, M.D. dan Jobe, J.M., 1996, "Including quality costs in the lot-sizing decision", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 13, No.6, Hal. 8-17.
- Hax, A.C. dan Candea, D., 1984, *Production and Inventory Management*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Indriawan, R. dan Iskandar, B.P., 2003, "EMQ (*Economic Manufacturing Quantity*) Gabungan Antara Produsen dan Pemasok untuk Produk yang

Dijual dengan Garansi”, *Prosiding Seminar Sistem Produksi VI*, Hal. 564-571.

- Jamal, A.M.M dan Sarker, B.R., 1993, An Optimal Batch Size for a Production System Operating Under a Just-in Time Delivery System, *International Journal of Production Economics*, Vol.32, Hal. 255-260.
- Kosadat, A., dan Liman, S.D., 2000, *Joint Economic Lot-Size Model with Backordering Policy*, Thesis Review, Department of Industrial Engineering, Texas Tech University, Lubbock, Texas.
- Kim, S.L. dan Ha, D., 2003, “A JIT Lot-Splitting Model for Supply Chain Management: Enhancing Buyer-Supplier Linkage”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 86, Hal. 1-10.
- Kim, H.C. dan Hong, Y., 1997, An Extended EMQ Model for Failure Prone Machine with general Lifetime Distribution, *International Journal Production Economics*, Vol.49, Hal. 215-223.
- Kim, T., Hong, Y., dan Chang, S. Young, 2006, Joint economic procurement-production-delivery policy for multiple items in a single-manufacturer, multiple-retailer system, *International Journal Production Economics*, Vol. 103, Hal 199-208.
- Lee, H.L., 1992, Lot Sizing to Reduce Capacity Utilization in A production Process with Defective Items, Process Correction, and Rework. *Management Science*, Vol.38, Hal.1314-1328.
- Nguyen, D.G dan Murthy, D.N.P., 1982, Optimal Burn-in Time to Minimize Cost for Product Sold Under Warranty. *IIE Transactions*, Vol.14, No.3, Hal. 167-174.
- Mitra, A., 1998, *Fundamentals of Quality Control and Improvement, second edition*. Prentice Hall, New Jersey.
- Nieuwenhuyse, I.V., dan Vandaele, N., 2006, The Impact of delivery lot splitting on delivery reliability in a two-stage supply chain, *International Journal of Production Economics*, Vol. 104, Hal. 694-708.
- Porteus, E.L., 1986, Optimal Lot Sizing, Process Quality Improvement and Setup Cost Reduction, *Operations Research*, Vol. 34, Hal. 137-144.

- Rosenblatt, M.J. dan Lee, H.L., 1986, "Economic production cycles with imperfect production processes", *IIE Transaction*, Vol. 18, Hal. 48-55.
- Pyke, D.F dan Peterson, R., 1998, *Inventory Management and Production Scheduling*, John Wiley & Sons, New York.
- Ross, S.M., 1983, *Stochastic Processes*, Willey, New York.
- Schniederjans, M.J., 1993, *Topics in just-in-time management*. Allyn and Bacon. Massachusetts.
- Silver, E.A., Kim, H.C. dan Hong, Y., (1997), An Extended EMQ Model for Failure Prone Machine with general Lifetime Distribution, *International Journal Production Economics*, Vol.49, 215-223
- Silver, E.A., dan Peterson, R., 1985, *Decision System for Inventory Management and Production Planning*, Willey, New York.
- Silver, E.A., Pyke, D.F dan Peterson, R., 1998, *Inventory Management and Production Scheduling*, John Wiley and Sons, New York.
- Sung, C.S., and Ock, Y.S., 1992, Optimal Production Policy for a Single-Product Single-Machine Problem With Intermediate Machine Inspection Allowed, *International Journal of Production Economics*, Vol. 28, Hal. 85-94.
- Tersine, R.J., 1994, *Principles of Inventory and Materials Management*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Tseng, S., T., Yeh, R., H., Ho, W., T., 1998, Imperfect maintenance policies for deteriorating production systems, *International Journal of Production Economics*, Vol. 55, Hal. 191-201.
- Wang, C., H., and Sheu, S., H., 2001a, The effect of the *warranty* cost on the imperfect EMQ model with general discrete shift distribution, *Production Planning and Control*, Vol. 12, No. 6, Hal. 621-628.
- Wang, C., H., and Sheu, S., H., 2001b, Simultaneous determination of the optimal production-inventory and product inspection policies for a deteriorating production system, *Computer and Operation Research*, Vol. 28, Hal. 1093-1110.
- Weele, A.J., 2002, *Purchasing and Supply Management, Analysis, Planning and Practice*, Thomson Learning, London.

- White, R., Pearson, J., dan Wilson, J., 1990, The Composition and Scope of JIT, *Operation Management Riview*, 7 (3&4), 9-18.
- Yeh, R. H., Ho, W. S. dan Tseng, S. T., 2000, “Optimal production run length for products sold with warranty”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 120, Hal. 575-582.
- Yeh, R.H. dan Lo, H.C., 1998, Quality Control for Products Under Free Repair Warranty, *International Journal of Operations and Quantitative Management*. Vol. 4, No.3, Hal. 265-275

