

## LEMBAR PENGESAHAN

### MODEL OPTIMISASI PEMILIHAN PROSES PADA SISTEM PRODUKSI JOB SHOP DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KAPASITAS PRODUKSI DAN URUTAN PROSES

#### SKRIPSI

Oleh :

**Ani Fatmawati**  
**I 0308110**

Telah disidangkan di Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret dan diterima guna memenuhi persyaratan untuk mendapat gelar Sarjana Teknik.

Pada hari : Senin  
Tanggal : 17 September 2012

Tim Penguji :

1. Dr. Cucuk Nur Rosyidi, ST, MT  
NIP. 19711104 199903 1 001
2. Wakhid Ahmad Jauhari, ST, MT  
NIP. 19791005 200312 1 001
3. Azizah Aisyati, ST, MT  
NIP. 19720318 199702 2 001
4. Retno Wulan Damayanti, ST, MT  
NIP. 19800306 200501 002

(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

Mengesahkan,

Ketua Jurusan Teknik Industri  
Fakultas Teknik,



**Dr. Cucuk Nur Rosyidi, ST, MT**  
**TENIP 19711104 199903 1 001**

## ABSTRAK

**Ani Fatmawati, NIM : I 0308032. MODEL PEMILIHAN PROSES PADA SISTEM PRODUKSI JOB SHOP DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KAPASITAS PRODUKSI DAN URUTAN PROSES. Skripsi. Surakarta : Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Oktober 2012.**

Penelitian ini membahas tentang model pemilihan proses untuk meminimumkan biaya manufaktur, biaya kerugian kualitas, dan biaya keterlambatan pengiriman dengan mempertimbangkan spesifikasi komponen, waktu pengiriman, kapasitas produksi, urutan proses dan pesanan konsumen yaitu *due date* dan *demand* konsumen. Batasan yang digunakan yaitu batasan toleransi, variansi proses untuk setiap komponen, kapasitas produksi mesin, jumlah yang diproduksi, demand konsumen, dan minimal mesin terpilih. Contoh numerik diberikan untuk menunjukkan aplikasi model menggunakan produk rakitan yang terdiri dari tiga komponen penyusun. Terdapat tiga mesin yang dapat digunakan untuk memproduksi komponen. Setiap mesin mempunyai karakteristik yang berbeda dalam hal biaya manufaktur, toleransi, waktu proses, dan kapasitas. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa perubahan biaya kerugian kualitas berdampak secara proporsional terhadap total biaya kerugian kualitas. Model akan cenderung memilih proses yang menghasilkan toleransi yang lebih ketat saat biaya kerugian kualitas meningkat. Penurunan biaya manufaktur yang dihasilkan oleh beberapa mesin mengakibatkan model cenderung memilih mesin dengan biaya manufaktur yang lebih rendah. Semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk memproses komponen, maka semakin besar pula biaya keterlambatan yang dihasilkan.

**Kata kunci** : Pemilihan proses, biaya manufaktur, kerugian kualitas, waktu pengiriman.

xiii+57 halaman; 10 tabel; 17 gambar; daftar pustaka; 17 (1990-2010).

## ABSTRACT

**Ani Fatmawati, NIM : I 0308032. OPTIMIZING MODEL OF PROCESS SELECTION ON JOB SHOP PRODUCTION SYSTEM BY CONSIDERING PRODUCTION CAPACITY AND PROCESS SEQUENCE. Thesis. Surakarta : Departement of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Sebelas Maret University, Oktober 2012.**

This research develops a process selection model to minimizing manufacturing cost, quality loss cost, and lateness cost considering component spesification, delivery time, production capacity, process sequence, due date and customer demand. The constraints are tolerance, process variance of each component, production capacity, production quantity, customer demand, and minimal selected machine. A numerical example has given to show the application of the model using an assembly product that consists of three components. Three machines are used to produce all of the components. Each machine has different characteristics in manufacturing cost, tolerances, processing time, and capacity. The result of sensitivity analysis showed that the change of quality loss cost is proporsional to the resulted total quality loss cost. Model will tent to selecting process that produce a tighter tolerance when quality loss cost has increased. The decrease of manufacturing cost will make the model tent to selecting machine with lower manufacturing cost. The longer time needed to processing a component, the bigger the lateness cost is.

**Keyword :** Process selection, manufacturing cost, quality loss, delivery time.

xiii+57 pages; 10 tables; 17 images; 17 references (1990-2010).

## DAFTAR ISI

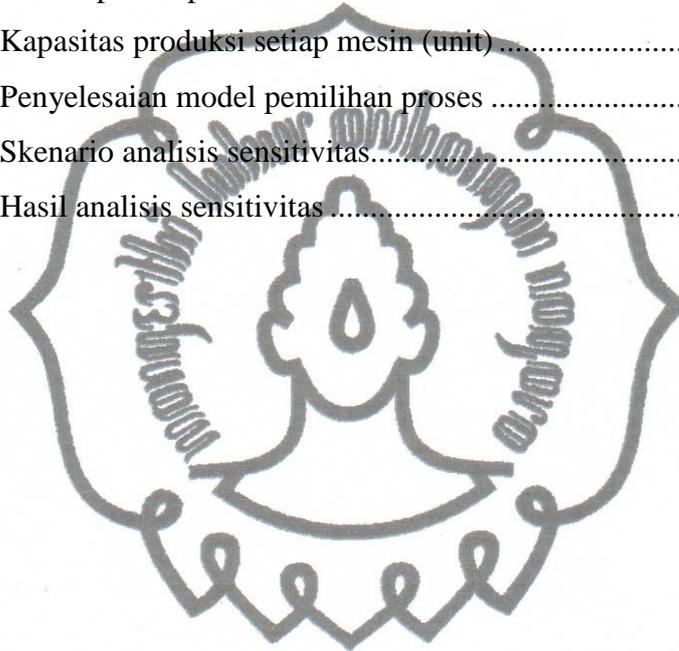
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS KARYA ILMIAH.....</b>	<b>iii</b>
<b>SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>I-1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	I-1
1.2 Perumusan Masalah .....	I-4
1.3 Tujuan Penelitian .....	I-4
1.4 Manfaat Penelitian .....	I-4
1.5 Batasan Masalah .....	I-4
1.6 Asumsi .....	I-4
1.7 Sistematika Penulisan .....	I-5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>II-1</b>
2.1 Toleransi.....	II-1
2.1.1 Metode Desain Toleransi.....	II-1
2.2 Biaya .....	II-2
2.2.1 Biaya Proses .....	II-2
2.2.2 Biaya Kualitas .....	II-3
2.3 Kerugian Kualitas .....	II-5
2.3.1 Pengertian Kerugian Kualitas.....	II-5
2.3.2 Karakteristik Kerugian Kualitas.....	II-6
2.3.3 Perancangan Toleransi.....	II-9
2.4 Process Capability.....	II-8
2.4.1 Process Capability Index.....	II-8

2.5 Sistem Produksi Job Shop.....	II-9
2.6 Influence Diagram.....	II-10
2.7 Pemilihan Proses .....	II-11
2.8 Model Pemilihan Proses.....	II-12
2.7.1 Model Pemilihan Proses .....	II-11
2.7.2 Model Pemilihan Pemasok .....	II-12
2.7.3 Model Pemilihan Proses dengan Batasan Demand .....	II-13
2.7.4 Model Urutan Proses .....	II-14
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>III-1</b>
3.1 Identifikasi Masalah.....	III-2
3.1.1 Studi Pustaka.....	III-2
3.1.2 Identifikasi Masalah .....	III-2
3.1.3 Perumusan Masalah.....	III-2
3.1.4 Penetapan Tujuan .....	III-3
3.2 Pengembangan Model.....	III-3
3.2.1 Deskripsi Sistem.....	III-3
3.2.2 Penentuan Fungsi Tujuan .....	III-4
3.2.3 Penentuan Batasan.....	III-4
3.2.4 Validasi.....	III-6
3.2.5 Contoh Numerik.....	III-6
3.3 Analisis Dan Kesimpulan.....	III-7
3.3.1 Analisis .....	III-7
3.3.2 Kesimpulan dan Saran.....	III-7
<b>BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....</b>	<b>IV-1</b>
4.1 Deskripsi Sistem .....	IV-1
4.1.1 Penentuan Karakteristi Kualitas .....	IV-1
4.1.2 Penentuan Variabel-Variabel Yang Mempengaruhi Total Biaya .....	IV-3
4.2 Penentuan Fungsi Tujuan.....	IV-4
4.3 Batasan Yang Dipertimbangkan .....	IV-7
4.3.1 Batasan Toleransi Rakitan.....	IV-7
4.3.3 Batasan Kapasitas Produksi Mesin.....	IV-9

4.3.4 Batasan Minimal Mesin Terpilih Untuk Setiap Komponen .....	IV-10
4.3.5 Batasan Urutan Proses Produksi.....	IV-10
4.4 Validasi Internal.....	IV-11
4.4.1 Fungsi Tujuan.....	IV-11
4.4.2 Batasan yang Dipertimbangkan.....	IV-12
4.5 Contoh Numerik.....	IV-13
4.5.1 Definisi Masalah.....	IV-13
4.5.2 Penyelesaian Masalah.....	IV-16
<b>BAB V ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL</b>	
5.1 Analisis Biaya Kerugian Kualitas.....	V-2
5.2 Analisis Toleransi .....	V-6
5.3 Analisis Biaya Manufaktur .....	V-9
5.3 Analisis Waktu Proses .....	V-10
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
6.1 Kesimpulan .....	VI-1
6.2 Saran.....	VI-1
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Biaya kualitas.....	II-4
Tabel 3.1	Peta penelitian.....	III-5
Tabel 4.1.	Data biaya manufaktur (Rupiah) untuk setiap komponen .....	IV-15
Tabel 4.2	Data toleransi (mm) untuk setiap komponen .....	IV-15
Tabel 4.3	Data waktu proses (menit) untuk setiap komponen.....	IV-15
Tabel 4.4	Urutan proses produksi .....	IV-15
Tabel 4.5	Kapasitas produksi setiap mesin (unit).....	IV-15
Tabel 4.6	Penyelesaian model pemilihan proses .....	IV-16
Tabel 5.1	Skenario analisis sensitivitas.....	V-1
Tabel 5.2	Hasil analisis sensitivitas.....	IV-3



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kurva nonlinier biaya-toleransi.....	II-2
Gambar 2.2	<i>Quality loss function</i> .....	II-5
Gambar 2.3	<i>Nominal-the-Best</i> .....	II-6
Gambar 2.4	<i>Smaller-the-better</i> .....	II-7
Gambar 2.5	<i>Larger-the-better</i> .....	II-7
Gambar 2.6	Interpretasi Program <i>Six Sigma</i> Motorola .....	II-9
Gambar 2.7	Aliran Proses Job Shop .....	II-10
Gambar 2.8	Kaidah diagram dalam <i>influence diagram</i> .....	II-10
Gambar 2.9	Faktor-faktor pemilihan material dan pemilihan proses .....	II-12
Gambar 3.1	Metodologi penelitian .....	III-1
Gambar 4.1	Deskripsi sistem pemilihan proses .....	IV-2
Gambar 4.2	<i>Influence diagram</i> .....	IV-4
Gambar 4.3	Produk Rakitan Beserta Komponen Penyusunnya.....	IV-15
Gambar 5.1	Pengaruh <i>A</i> Terhadap Komponen Biaya Pada Kasus 1 .....	V-5
Gambar 5.2	Grafik perubahan <i>A</i> terhadap biaya kerugian kualitas .....	V-9
Gambar 5.3	Grafik perubahan biaya manufaktur terhadap total biaya manufaktur.....	V-9
Gambar 5.4	Grafik perubahan waktu proses terhadap biaya keterlambatan.....	V-10

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Dalam kompetisi yang semakin ketat saat ini, biaya manufaktur bukan merupakan satu-satunya aspek yang dapat membuat sebuah perusahaan lebih unggul dibanding perusahaan lainnya. Menurut Irianto dan Rachmat (2008) terdapat beberapa aspek yang menjadi dasar strategi kompetitif perusahaan manufaktur untuk memenangkan kompetisi global yang dinamis yaitu, biaya, kualitas, dan penyerahan order yang tepat waktu (*delivery time*). Ketiga aspek ini dapat menimbulkan sejumlah biaya, yaitu biaya proses, biaya kualitas, dan biaya keterlambatan pengiriman. Ketiga biaya ini dapat mempengaruhi pendapatan suatu perusahaan.

Biaya manufaktur atau biaya proses adalah biaya yang timbul akibat proses penambahan nilai yang berupa material, tenaga kerja, dan *overhead* pada sebuah produk (Charles dkk., 2009). Sedangkan biaya kualitas adalah biaya yang berhubungan dengan performansi sistem kualitas. Elemen-elemen biaya kualitas meliputi biaya pencegahan, biaya *appraisal*, biaya kegagalan internal, dan biaya kegagalan eksternal (Mitra, 1998). Kualitas produk dapat dipengaruhi oleh kualitas bahan baku, kualitas komponen, dan kualitas proses produksi produk tersebut (Teeravaraprug, 2008).

Kualitas proses produksi akan sangat dipengaruhi oleh mesin yang digunakan. Mesin yang memiliki tingkat presisi tinggi dapat menghasilkan toleransi yang ketat sehingga menghasilkan variansi performansi lebih kecil dan menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih tinggi. Variansi performansi dapat diminimumkan dengan melakukan perancangan proses menggunakan metode Taguchi. Metode Taguchi bertujuan untuk menghasilkan produk yang *robust* atau tangguh. *Robust design* berupaya mengoptimalkan desain produk dan proses agar performansi akhir sesuai target dengan nilai variabilitas yang minimum. *Robust design* dapat dicapai dengan tiga tahapan yaitu perancangan konsep/sistem, metode perancangan parameter dan perancangan toleransi. Metode perancangan toleransi adalah metode peningkatan kualitas dengan cara

memperketat toleransi nilai target sehingga keragaman performansi produk dapat dikurangi. Toleransi adalah penyimpangan yang diizinkan dari nilai spesifikasi atau nilai standarnya (Yang dan El-Haik, 2003).

Toleransi yang ketat dapat menghasilkan biaya manufaktur yang tinggi, sedangkan toleransi yang longgar dapat menaikkan *waste* dan menyebabkan masalah dalam perakitan (Chase dkk., 1990). Toleransi yang ketat juga meminimalkan biaya kerugian kualitas. Sehingga perlu adanya usaha untuk menyeimbangkan *trade-off* antara biaya manufaktur dan biaya kerugian kualitas. Biaya kerugian kualitas menunjukkan kerugian yang dialami oleh konsumen. Semakin besar biaya kerugian kualitas, maka semakin besar pula kerugian yang dialami konsumen dan perusahaan. Perusahaan mengalami kerugian yang berupa menurunnya *re-purchasing* dan reputasi perusahaan dikarenakan produk yang dihasilkan tidak dapat memenuhi harapan konsumen.

Toleransi yang ketat dapat menyebabkan waktu proses yang lebih lama. Waktu proses yang lama dapat mengakibatkan keterlambatan pengiriman. Keterlambatan dapat diketahui apabila total waktu proses atau waktu penyelesaian pesanan melebihi *due date*. Dalam penelitian ini digunakan kriteria *makespan* untuk mengetahui waktu penyelesaian pesanan. *Makespan* adalah waktu penyelesaian *job* terakhir yang meninggalkan sistem (Pinedo, 2008). Kriteria *makespan* digunakan karena *makespan* yang minimum menyatakan utilitas mesin yang baik. Selain itu, kriteria fungsi tujuan *makespan* cenderung lebih mudah dibanding fungsi tujuan lainnya (Pinedo, 2008). Keterlambatan dapat diketahui apabila *makespan* melebihi *due date*.

Sistem produksi yang diteliti dalam penelitian ini adalah sistem produksi *job shop*. Operasi sistem produksi ini sangat fleksibel terhadap perubahan desain atau volume produk, sehingga sistem produksi *job shop* dapat diterapkan pada perusahaan yang berbasis pesanan. Sistem produksi *job shop* mempunyai karakteristik mengelompokkan sejumlah peralatan atau mesin berdasarkan fungsinya. Proses yang dilalui oleh setiap produk mempunyai pola aliran yang berbeda-beda. Oleh karena itu, peralatan yang digunakan bersifat umum (Gasperz, 2001).

Pemilihan proses diperlukan oleh sebuah perusahaan untuk menentukan mesin mana yang akan digunakan. Hal tersebut dikarenakan setiap mesin mempunyai karakteristik yang berbeda-beda dalam hal kapabilitas dan kapasitas mesin sehingga berpengaruh terhadap total biaya yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan pemilihan proses yang dapat memberikan total biaya minimum. Beberapa penelitian telah dilakukan dalam pemilihan proses. Chase dkk. (1990) mengembangkan model pemilihan proses dengan satu fungsi tujuan yaitu meminimumkan biaya manufaktur dengan mempertimbangkan toleransi produk rakitan. Model optimisasi pemilihan pemasok yang dikembangkan oleh Feng dkk. (2001) menggunakan kriteria biaya pembelian dan biaya kerugian kualitas. Kelebihan model pemilihan pemasok yang dikembangkan oleh Feng dkk. (2001) adalah dapat digunakan untuk model pemilihan proses. Kedua kriteria biaya dapat diaplikasikan dalam pemilihan proses dimana biaya pembelian diubah menjadi biaya manufaktur. Kriteria biaya kerugian kualitas digunakan untuk menghitung kerugian yang dialami konsumen akibat penyimpangan performansi produk terhadap target dan variansinya. Fungsi kerugian kualitas yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Taguchi Loss Function*.

Model pemilihan proses yang mempertimbangkan waktu pengiriman telah dikembangkan antara lain oleh Irianto dkk. (2004). Model tersebut mengintegrasikan biaya manufaktur dengan spesifikasi kualitas dan waktu pengiriman pesanan. Mustajib (2010) mengembangkan model pemilihan proses dengan mempertimbangkan biaya manufaktur, biaya kerugian kualitas dan biaya operasional untuk banyak pabrik. Selain itu, Mustajib dan Irianto (2010) mengembangkan model pemilihan proses untuk proses yang multi tahap. Kekurangan dari penelitian Irianto dkk. (2004), dan Mustajib (2010) adalah belum mempertimbangkan kapasitas produksi mesin, sehingga semua demand dapat terpenuhi dan tidak adanya pembagian produksi pada mesin-mesin tertentu. Padahal kenyataannya mesin produksi memiliki keterbatasan dalam hal kapasitas produksi. Sehingga diperlukan penentuan alokasi komponen agar permintaan konsumen dapat dipenuhi. Selain itu, pada penelitian Mustajib dan Irianto (2010) urutan proses diasumsikan sama sehingga sesuai untuk *flow shop*.

*commit to user*

Dalam penelitian ini dikembangkan model yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah pemilihan proses untuk meminimumkan biaya manufaktur, biaya kerugian kualitas, dan biaya keterlambatan dengan memperhatikan batasan kapasitas, pesanan, alokasi komponen, dan urutan pengerjaan komponen. Formulasi penjadwalan *job shop* digunakan untuk memastikan bahwa urutan proses produksi setiap komponen sesuai dengan urutan pekerjaan yang telah ditentukan (Pinedo, 2008).

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

“Bagaimana mengembangkan sebuah model yang dapat digunakan untuk pemilihan proses manufaktur komponen dengan mempertimbangkan kapasitas produksi, pesanan konsumen, dan urutan proses produksi pada sistem produksi *job shop* ?”

## 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah menghasilkan model yang dapat digunakan untuk memilih proses manufaktur pada sistem produksi *job shop* dengan mempertimbangkan kapasitas produksi, pesanan konsumen, dan urutan proses produksi untuk meminimalkan biaya manufaktur, kerugian kualitas, dan keterlambatan.

## 1.4 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat dari penelitian ini adalah model yang dihasilkan dapat digunakan untuk menentukan alternatif proses serta alokasi komponen dari proses yang terpilih dengan mempertimbangkan kapasitas produksi, pesanan konsumen, dan urutan proses produksi.

## 1.5 BATASAN MASALAH

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah perusahaan memproduksi sendiri semua komponen penyusun produk rakitan.

## 1.6 ASUMSI

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Urutan proses produksi sudah ditentukan.
2. Proses perakitan komponen dilakukan setelah semua komponen selesai diproduksi.

## 1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan yang digunakan dalam pembuatan laporan kerja praktek ini adalah sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menguraikan latar belakang mengenai permasalahan yang akan dibahas, perumusan masalah yang diangkat, tujuan dan manfaat yang ingin dicapai, serta batasan masalah dan asumsi yang digunakan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisikan landasan teori yang merupakan penjelasan secara terperinci mengenai teori-teori yang digunakan, sebagai landasan pemecahan masalah, serta memberikan penjelasan secara garis besar metode yang digunakan oleh Penulis sebagai kerangka pemecahan masalah. Tinjauan pustaka ini diambil dari berbagai sumber.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini merupakan gambaran terstruktur tahap demi tahap proses pelaksanaan penelitian yang digambarkan dalam bentuk flowchart dan tiap tahapnya diberi penjelasan.

### **BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Bab ini menguraikan data-data yang diperlukan untuk penyelesaian masalah dan cara pengolahan data yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian.

## **BAB V ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL**

Bab ini berisi analisis dan interpretasi hasil pengolahan data sesuai permasalahan yang dirumuskan.

## **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan dari permasalahan yang dibahas dan saran-saran yang berkaitan dengan permasalahan yang ada.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 TOLERANSI

##### 2.1.1 Metode Desain Toleransi

Toleransi adalah penyimpangan yang diijinkan dari nilai spesifikasi atau nilai standarnya (Yang dan El-Haik, 2003). Toleransi diterapkan untuk mengontrol variansi komponen yang ijinakan untuk produk rakitan dan dapat juga digunakan untuk mengontrol variansi produk rakitan dengan memperhatikan variansi komponen penyusunnya.

Metode desain toleransi terbagi menjadi dua kelas yaitu desain toleransi tradisional dan desain toleransi Taguchi (Yang dan El-Haik, 2003). Desain toleransi tradisional meliputi *worst-case tolerance analysis*, *statistical tolerance analysis*, and *cost-based tolerance analysis*. Desain toleransi Taguchi meliputi hubungan antara toleransi yang dikehendaki konsumen dan toleransi yang diberikan oleh produsen, dan eksperimen desain toleransi.

1. *Worst-case tolerance analysis*

*Worst-case tolerance analysis* merupakan suatu pendekatan desain toleransi yang mempertimbangkan skenario terburuk dalam perancangan toleransi suatu benda. Hal ini bertujuan untuk menjamin keterpenuhan toleransi produk rakitan dengan kombinasi komponen-komponen penyusunnya. Namun, pendekatan ini akan membuat toleransi pada tingkat komponen sangat ketat dan menyebabkan tingginya biaya manufaktur. *Worst-case tolerance* biasanya digunakan jika biaya ketidaksesuaian produk rakitan sangat tinggi dan biaya toleransi ketat pada tingkat komponen rendah.

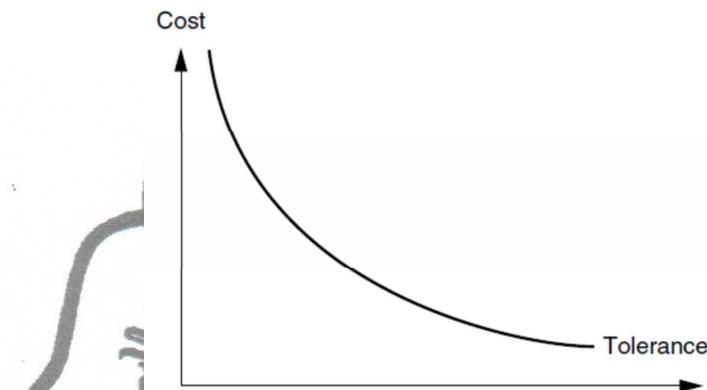
2. *Statistical tolerance analysis*

*Statistical tolerance analysis* memperlakukan baik produk rakitan dan komponen penyusun sebagai variabel acak. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk menjamin keterpenuhan produk rakitan dengan probabilitas yang tinggi. Karakteristik komponen sering diasumsikan sebagai variabel yang acak dan independen.

*commit to user*

### 3. *Cost-based tolerance analysis*

Tujuan *cost-based tolerance* adalah untuk menentukan batas toleransi suatu desain parameter yang menghasilkan biaya total minimum (biaya pengurangan variabilitas dan kerugian kualitas). Biaya pengurangan toleransi biasanya digambarkan dengan kurva nonlinier seperti tampak pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Kurva nonlinier biaya-toleransi

## 2.2 BIAYA

Biaya menurut Humgren, dkk. (2009) adalah sumber daya yang dikorbankan untuk mencapai tujuan tertentu. Dalam penelitian ini dibahas dua komponen biaya yang mempengaruhi pendapatan perusahaan yaitu biaya proses dan biaya kualitas.

### 2.2.1 Biaya Proses

Biaya proses merupakan biaya yang timbul akibat proses yang dijalani suatu produk (Humgren dkk., 2009). Menurut Mowen (2009) Biaya adalah kas atau nilai setara kas yang dikorbankan untuk mendapatkan barang atau jasa yang diharapkan memberi manfaat saat ini atau di masa depan bagi organisasi. Dalam suatu proses produksi, produk menerima bahan baku, tenaga kerja dan *overhead*

#### 1. Bahan baku

Bahan baku merupakan bahan baku langsung. Artinya, bahan baku yang digunakan untuk kegiatan produksi dapat ditelusuri secara langsung pada barang yang sedang diproduksi. Pengamatan fisik dapat dilakukan untuk mengukur kuantitas yang dikonsumsi produk.

*commit to user*

## 2. Tenaga kerja

Tenaga kerja yang menangani proses produksi produk. Tenaga kerja tersebut dapat ditelusuri secara langsung pada barang yang sedang diproduksi . pengamatan secara fisik dapat digunakan dalam mengukur kuantitas karyawan yang terlibat dalam proses produksi.

## 3. *Overhead*

Semua biaya produksi selain bahan baku dan tenaga kerja. Elemen-elemen penyusun biaya ini antara lain penyusutan bangunan dan peralatan, pemeliharaan, perlengkapan, penanganan bahan, listrik, pajak, properti, dan lain-lain.

Biaya manufaktur dan biaya produksi memiliki elemen biaya yang sama dengan biaya proses yaitu biaya bahan baku atau meterial, biaya tenaga kerja, dan biaya *overhead*.

### 2.2.2 Biaya Kualitas

Salah ukuran performansi sistem kualitas total adalah biaya yang berhubungan dengan kualitas itu sendiri (Mitra, 1998). Mengetahui seberapa efektif dampak sistem pengendalian kualitas dapat dilakukan dengan mengidentifikasi, mengukur, dan menganalisis biaya. Biaya kualitas dibagi ke dalam empat kategori (Tabel 2.1), yaitu :

#### 1. *Prevention Costs*

*Prevention costs* atau biaya pencegahan terjadi pada tahap merencanakan, menerapkan, dan memelihara sistem kualitas. Termasuk didalamnya biaya gaji dan biaya pengembangan untuk rancangan produk, rancangan proses dan peralatan, teknik pengawasan proses, rancangan sistem informasi, dan semua biaya yang berkaitan dengan pembuatan produk pada waktu pertama kali.

#### 2. *Appraisal Costs*

Biaya ini berhubungan dengan proses pengukuran, evaluasi, atau proses audit produk dan komponen, atau bahan baku yang dibeli untuk menentukan tingkat kecacatan terhadap standar yang telah ditentukan. Biaya ini termasuk biaya inspeksi dan pengujian terhadap bahan baku yang masuk.

**Tabel 2.1** Biaya kualitas

Elemen Biaya Kualitas	Keterangan
Biaya Pengendalian	
Prevention	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perencanaan kualitas</li> <li>• Analisis dan perbaikan proses</li> <li>• Perancangan dan pengembangan alat informasi kualitas</li> <li>• Training kualitas</li> <li>• Pengembangan dan manajemen sistem</li> </ul>
Appraisal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pengujian dan pengawasan material</li> <li>• Uji laboratorium dan pengukuran pelayanan</li> <li>• Pengujian dan pengawasan pada proses</li> <li>• Pengawasan kualitas oleh pegawai</li> <li>• Uji dan inspeksi peralatan, set-up, perawatan</li> </ul>
Biaya Kegagalan	
Internal Failure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scrap</li> <li>• Rework</li> <li>• Biaya pengadaan material tambahan</li> <li>• Biaya pembuangan</li> <li>• Waktu yang dihabiskan pada masalah kualitas</li> <li>• Downtime dan penjadwalan ulang</li> </ul>
External Failure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biaya garansi</li> <li>• Pengaduan garansi</li> <li>• Biaya pelayanan untuk memperbaiki cacat</li> <li>• Penarikan produk</li> <li>• Pengembalian produk</li> <li>• Kehilangan reputasi, penjualan dan keuntungan</li> </ul>

Sumber : Ruch, dkk., 1992

### 3. *Internal Failure Costs*

*Internal failure costs* terjadi ketika produk, komponen, bahan baku, dan pelayanan tidak dapat memenuhi permintaan kualitas konsumen. Biaya ini akan hilang jika tidak ada kecacatan pada produk. Biaya *scrap* dan *rework* untuk bahan baku, pekerja dan *overhead* yang berhubungan dengan proses produksi termasuk dalam *internal failure costs*. Biaya untuk memperbaiki produk cacat pada proses *rework* bisa termasuk proses manufaktur tambahan seperti menggerinda ulang diameter luar yang memiliki ukuran berlebih. Jika ukuran diameter kurang dari target maka komponen tersebut menjadi produk *scrap*. Selain itu, yang termasuk ke dalam biaya *internal failure costs* antara lain, biaya untuk menentukan

penyebab kegagalan, inspeksi ulang, pengujian kembali produk *rework*, dan hilangnya waktu produksi akibat produk cacat.

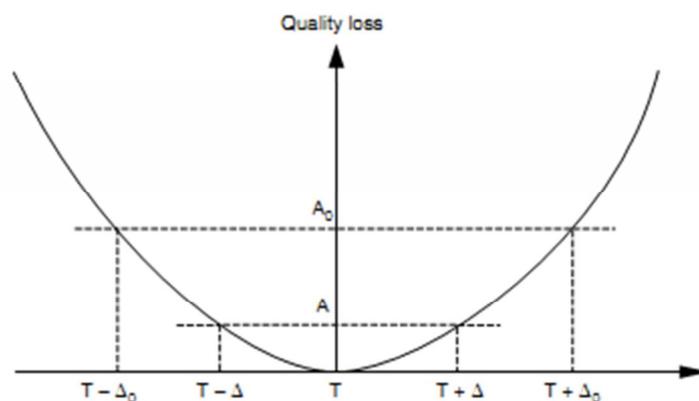
#### 4. *External Failure Costs*

*External failure costs* terjadi ketika produk tidak menunjukkan kepuasan setelah produk berpindah tangan ke konsumen. Biaya ini akan hilang apabila tidak produk cacat yang dihasilkan. Pengaduan konsumen termasuk dalam biaya ini. Biaya pengaduan berhubungan dengan penerimaan, penanganan, dan penggantian produk cacat.

## 2.3 KERUGIAN KUALITAS

### 2.3.1 Pengertian Kerugian kualitas

Kerugian kualitas merupakan kerugian yang disebabkan karena adanya penyimpangan terhadap nilai target. Fungsi kerugian kualitas dapat diartikan sebagai variansi dan penambahan nilai target yang diubah ke nilai moneter. Deviasi nilai target menjadi kunci karakteristik kualitas yang menimbulkan ketidakpuasan konsumen. Semakin besar deviasi, maka semakin besar pula ketidakpuasan konsumen terhadap suatu produk. Gambaran tentang fungsi kerugian kualitas ditunjukkan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** *Quality loss function*

Sumber : Yang dan El-Haik, 2003

Kerugian kualitas akan bernilai nol jika *performance level*  $Y = T$ . Diasumsikan bahwa  $T + \Delta$  adalah batas atas dan  $T - \Delta$  batas bawah, maka ketika  $T + \Delta$  atau  $T - \Delta$  produk tidak memenuhi kepuasan konsumen.

*commit to user*

Sehingga konsumen akan meminta penggantian produk. biaya penggantian ini disebut  $A$ . Persamaan fungsi kerugian kualitas adalah sebagai berikut :

$$L = kE^2 - T \quad (2.1)$$

Dimana :  $L$  = kerugian kualitas

$k$  = koefisien kerugian kualitas

$E$  = nilai harapan

$T$  = nilai target  $Y$

Sedangkan nilai  $k$  adalah rasio biaya kerugian kualitas ( $A_0$ ) dibandingkan dengan batas spesifikasi produk ( $\Delta_0$ ).

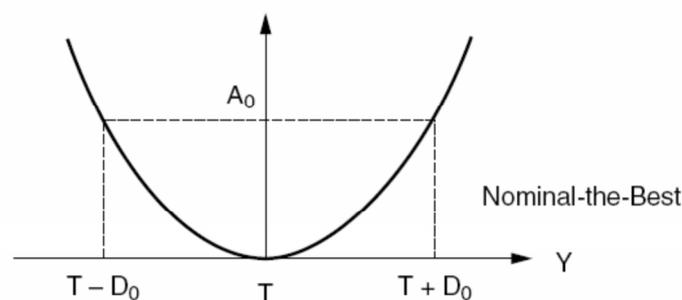
$$k = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \quad (2.2)$$

### 2.3.2 Karakteristik Kerugian Kualitas

Karakteristik kualitas dan fungsi kerugian kualitas terbagi menjadi tiga, yaitu *nominal the best*, *larger the better*, dan *smaller the better* (Yang dan El-Haik, 2003).

#### 1. *Nominal-the-Best*

Tipe karakteristik kualitas *nominal-the-best* mempunyai nilai target dan biasanya tidak bernilai nol. Kerugian kualitas pada tipe ini simetris pada kedua sisi nilai target. Persamaan fungsi kerugian kualitas *nominal-the-best* ditunjukkan pada Persamaan (2.1). Nilai kerugian kualitas akan semakin kecil jika nilai *performance level*  $Y$  semakin mendekati nilai target. Gambar 2.3 menunjukkan fungsi *nominal-the-best*.



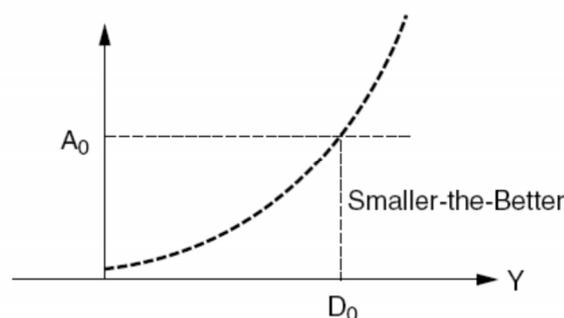
**Gambar 2.3** *Nominal-the-Best*

Sumber : Yang dan El-Haik, 2003

## 2. *Smaller-the-Better*

Tipe karakteristik kualitas *smaller-the-better* mempunyai nilai target nol. Bilamana  $Y$  mendekati nilai nol, maka nilai kerugian kualitas akan semakin kecil. Gambaran tentang *smaller-the-better* ditunjukkan pada Gambar 2.4. Persamaan fungsi kerugian kualitas untuk *smaller-the-better* adalah sebagai berikut :

$$L = kE \quad (2.3)$$



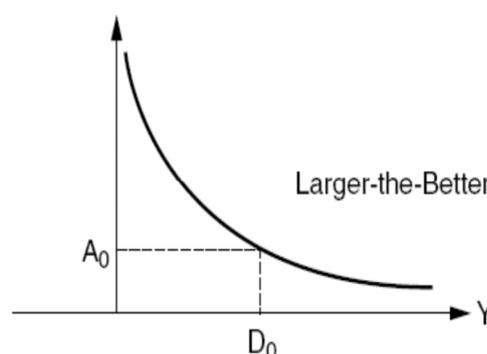
**Gambar 2.4** *Smaller-the-better*

Sumber : Yang dan El-Haik, 2003

## 3. *Larger-the-Better*

Tipe karakteristik kualitas *larger-the-better* mempunyai nilai target tidak terbatas. Hal ini berkebalikan dengan *smaller-the-better*, jika nilai  $Y$  mengalami penurunan maka nilai kerugian kualitas akan semakin besar. Gambaran tentang *smaller-the-better* ditunjukkan pada Gambar 2.5. Fungsi kerugian kualitas untuk *larger-the-better* adalah dirumuskan dalam Persamaan (2.4).

$$L = kE - \quad (2.4)$$



**Gambar 2.5** *Larger-the-better*

Sumber : Yang dan El-Haik, 2003

## 2.4 PROCESS CAPABILITY

*Process capability* atau kemampuan proses adalah kinerja jangka panjang proses setelah terkendali secara statistik. Kemampuan proses juga merupakan kemampuan kombinasi dari manusia, mesin, metode, material, dan pengukuran untuk menghasilkan produk secara konsisten dan memenuhi persyaratan desain atau harapan konsumen. Menurut Yang dan El-Haik (2003), *Process Capability* adalah ukuran konsistensi kinerja suatu proses. Jika kinerja proses dapat diketahui nilainya, maka variansinya dapat dimodelkan dengan distribusi normal. Namun, bila kinerja proses tidak konstan atau berupa variabel acak, dapat digunakan rata-rata proses dan standar deviasi proses sebagai ukurannya.

Proses yang mengikuti pola peluang distribusi normal, sebagian besar pengukuran kinerja proses akan jatuh pada rata-rata proses  $\pm 3\sigma$ . Selama rentang batasan proses berada pada  $-3\sigma$  sampai  $3\sigma$ , sehingga rentang variansi total sebesar  $6\sigma$ . Untuk mengukur kinerja proses digunakan batas spesifikasi kinerja. Suatu proses dianggap baik apabila tidak melebihi batas atas (USL) dan batas bawah (LSL).

### 2.4.1 Process Capability Index

Indeks kapabilitas adalah ukuran sederhana yang menjelaskan hubungan antara variabilitas proses dan rentang batas spesifikasi.

#### 1. *Capability index* $C_p$

$C_p$  merupakan proporsi produk cacat yang berada diluar spesifikasi.  $C_p$  adalah rasio dari rentang spesifikasi terhadap rasio rentang proses. Selanjutnya digambarkan dengan enam standar deviasi atau  $6\sigma$ .

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (2.5)$$

#### 2. *Capability index* $C_{pk}$

Kelemahan utama pada  $C_p$  adalah tidak dapat mewakili banyak proses. Karena rata-rata dari banyak proses tidak sama dengan nilai tengah batas spesifikasi. Sehingga nilai  $C_{pk}$  dapat dihitung sebagai berikut :

$$C_{pk} = \min\left\{\frac{USL - \bar{x}}{\sigma}, \frac{\bar{x} - LSL}{\sigma}\right\} \quad (2.6)$$

*commit to user*

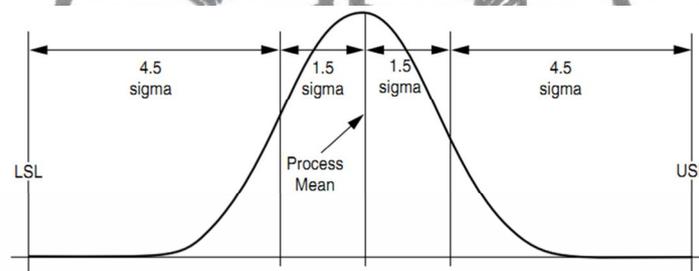
### 3. Capability index $C_{pm}$

$C_{pm}$  disebut sebagai indeks kapabilitas Taguchi. Ketika rata-rata proses berada di tengah antara batas spesifikasi dan pada target  $T$ , maka  $C_p = C_{pk} = C_{pm}$ . Sehingga  $C_{pm}$  dapat dihitung dengan Persamaan (2.7).

$$C = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (2.7)$$

### 4. Motorola Capability Index

Motorola mengalokasikan  $1,5\sigma$  pada kedua sisi rata-rata proses dan menyisakan  $4,5\sigma$  sebagai daerah aman untuk memenuhi batas spesifikasi. Hal ini merupakan salah satu penerapan skenario *worst case* untuk mengantisipasi pergeseran rata-rata proses. Jika rata-rata proses tepat sama dengan garis tengah batas spesifikasi, maka  $C_p$  bernilai 2,00.

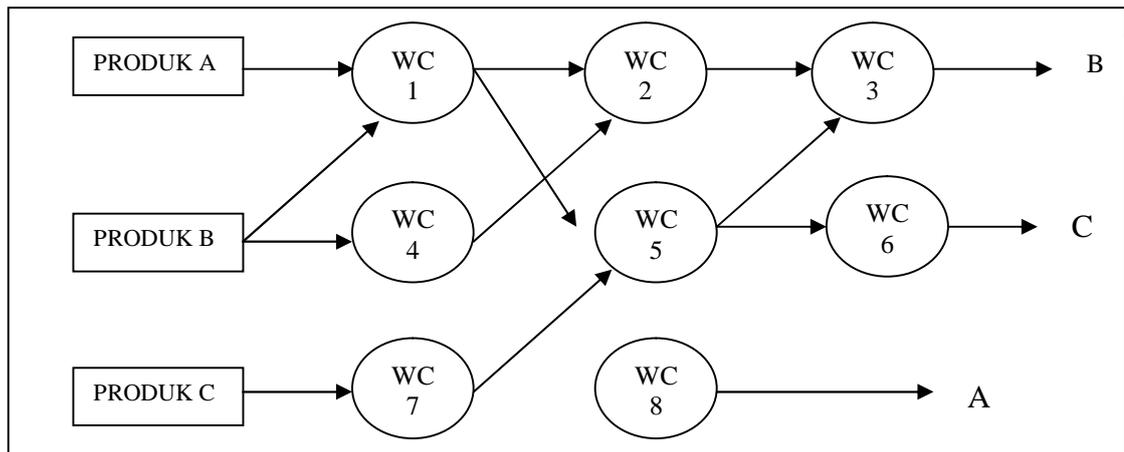


**Gambar 2.6** Interpretasi Program *Six Sigma* Motorola

Sumber : Yang dan El-Haik, 2003

## 2.5 SISTEM PRODUKSI JOB SHOP

Sistem produksi job shop mengorganisasikan peralatan, mesin, dan tenaga kerja ke dalam work center berdasarkan jenis pekerjaan (Gasperz, 2001). Pengorganisasian tersebut misalnya : *work center* pertama merupakan pencampuran produk, *electrical subassembly* berada pada *work center* kedua, dan *work center* ketiga berisi *mechanical subassembly*. Dalam proses job shop aliran produk dan pekerjaan hanya terdapat dalam pusat-pusat kerja dimana mereka dibutuhkan. Sehingga membentuk suatu pola aliran tercampur. Karena proses job shop menggunakan peralatan bersama dan tenaga kerja dengan keterampilan tinggi, operasi job shop sangat fleksibel terhadap perubahan dalam desain maupun volume produksi. Pola aliran tercampur dan varietas produk sering menimbulkan masalah dalam pengendalian *inventory*, penjadwalan, dan kualitas. Gambar aliran proses job shop terlihat pada Gambar 2.7

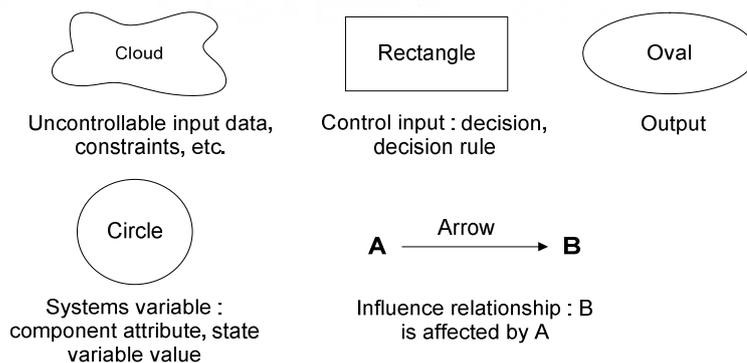


**Gambar 2.7** Aliran Proses Job Shop

Sumber : Gasperz, 2001

**2.6 INFLUENCE DIAGRAM**

*Influence diagram* merupakan penggambaran visual dari suatu model keputusan yang digunakan untuk membantu perancangan, pengembangan, dan pemahaman. *Influence diagram* digunakan untuk mengidentifikasi dan menampilkan keputusan, ketidakpastian, tujuan, dan bagaimana hal-hal tersebut saling berkaitan. Diagram ini disusun sebagai alat untuk membantu dalam penyusunan model matematis. *Influence diagram* digunakan dalam penelitian untuk mempermudah dalam penyusunan model matematis. Gambar 2.8 menunjukkan kaidah diagram yang digunakan (Daellenbach dan McNickle, 2005).

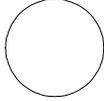
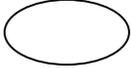


**Gambar 2.8** Kaidah diagram dalam *influence diagram*

Sumber : Daellenbach dan McNickle, 2005.

Berikut ini adalah keterangan dari simbol-simbol yang digunakan pada *influence diagram* (Daellenbach dan McNickle, 2005) :

menyatakan masukan (*input*) yang dapat dikendalikan (*controllable input*) *commit to user*

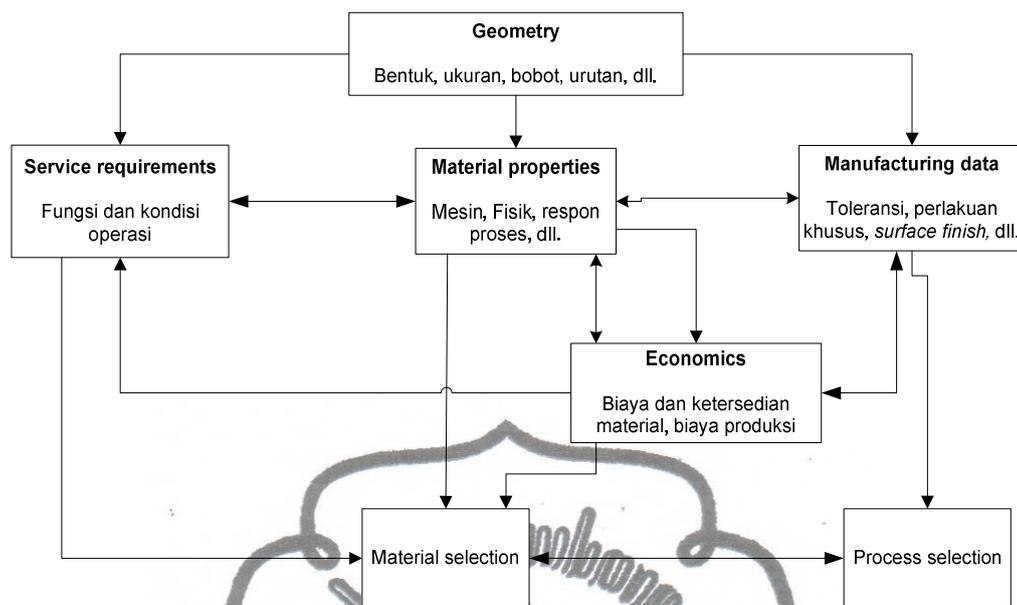
-  menyatakan masukan yang tidak dapat dikendalikan (*uncontrollable input*)
-  menyatakan proses yang terjadi
-  menyatakan kriteria performansi

Notasi secara jelas mengidentifikasi beberapa elemen yang terlibat seperti *input* yang terkendali (*control inputs*), *input* yang tidak terkendali (*uncontrollable inputs*), *output*, dan komponen sistem. Notasi *input* yang terkendali merupakan variabel keputusan yang dapat dikendalikan secara langsung. Notasi *input* yang tidak terkendali merupakan variabel yang tidak terkendali yang nilainya tidak diketahui secara pasti.

## 2.7 PEMILIHAN PROSES

Pemilihan proses merupakan kegiatan pemilihan proses yang dibutuhkan untuk membuat produk. Pemilihan proses dilakukan dengan mempertimbangkan faktor geometri, data proses manufaktur, dan pemilihan material. Gambar 2.9 menunjukkan faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan proses (Scallan, 2003).

Faktor pertama adalah faktor geometri dimana faktor ini adalah gambaran tentang produk yang akan dibuat berdasarkan bentuknya, ukuran, urutan proses produksi, dan lain-lain. Setelah mendapatkan gambaran mengenai produk yang akan dibuat maka langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data untuk proses manufaktur. Data tersebut antara lain toleransi dan *surface finish* dengan mempertimbangkan mesin yang ada, ketersediaan material, dan biaya produksi. Langkah berikutnya adalah pemilihan proses. Berdasarkan faktor-faktor tersebut maka dapat dilakukan pemilihan proses. Proses yang dipilih juga mempertimbangkan material yang akan digunakan untuk membuat produk.



Gambar 2.9 Faktor-faktor pemilihan material dan pemilihan proses  
 Sumber : Scallan, 2003.

## 2.8 MODEL PEMILIHAN PROSES

### 2.8.1 Model Pemilihan Proses

Model pemilihan proses yang digunakan dalam penelitian ini adalah model matematis yang telah dikembangkan oleh Chase dkk. (1990). Model tersebut bertujuan untuk memilih proses dengan kriteria biaya proses dengan memperhatikan toleransi produk rakitan. Model tersebut mempunyai fungsi tujuan sebagai berikut :

$$\min C_o \quad \sum_i \sum_j b_{ij} C_{ij} \tag{2.14}$$

$C_{ij}$  merupakan biaya proses untuk komponen  $i$  yang diproduksi dengan proses  $j$ .

Sedangkan batasan-batasan yang digunakan dalam model ini adalah sebagai berikut :

$$\sum_i \sum_j b_{ij} x_{ij} = o l_s \tag{2.15}$$

$$\sum_i b_{ij} = 1 \quad 1, \dots, m, \tag{2.16}$$

$$b_{ij} = \begin{matrix} 1 & \text{on} \\ 0 & \text{o} \end{matrix} \quad 1, \dots, m, \quad 1, \dots, i \tag{2.17}$$

Persamaan (2.15) menunjukkan bahwa toleransi produk rakitan merupakan penjumlahan dari toleransi komponen penyusunnya. Setiap komponen akan diproduksi melalui satu proses. Hal tersebut ditunjukkan dalam persamaan (2.16).



diberikan oleh pemasok. Dari persamaan batasan diatas juga dapat terlihat bahwa untuk setiap komponen hanya dapat dipasok oleh satu pemasok. Hal tersebut ditunjukkan dalam persamaan  $\sum_j x_{ij} = 1 \forall i$ . Persamaan  $x_{ij} \in \{0,1\} \forall i,j$ , menunjukkan bahwa model tersebut biner.

Model pemilihan proses berdasarkan kriteria biaya kerugian kualitas dapat diadaptasi dari model pemilihan pemasok yang dikembangkan oleh Feng dkk (2001). Adaptasi tersebut dengan melakukan penyesuaian-penyesuaian terhadap model yang akan dibuat.

### 2.8.3 Model Pemilihan Proses dengan Batasan Demand

Model yang dikembangkan oleh Mustajib dan Irianto (2010) bertujuan untuk memaksimalkan profit yang diperoleh dari pengurangan pendapatan penjualan dengan total biaya yang berkaitan dengan proses produksi. Pendapatan penjualan diperoleh dari harga jual per unit dikalikan dengan jumlah unit yang diproses. Total biaya merupakan penjumlahan biaya manufaktur, biaya kerugian kualitas, biaya inspeksi, biaya *rework*, dan biaya komponen *scrap*. Fungsi tujuan dari model tersebut dirumuskan dalam Persamaan (2.23).

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximize } M \\
 & \text{Subject to } \sum_i \sum_j x_{ij} = A \quad \sum_i \sum_j x_{ij} = 1 \\
 & \sum_i \sum_j x_{ij} = 1 \quad \sum_i \sum_j x_{ij} = 1 \\
 & \sum_i \sum_j x_{ij} = 1 \quad \sum_i \sum_j x_{ij} = 1
 \end{aligned} \tag{2.23}$$

Jumlah unit yang diproses pada setiap stage *i* merupakan *demand* dari konsumen. Batasan tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$(2.24)$$

Batasan dalam persamaan (2.24) merupakan salah satu batasan yang digunakan dalam penelitian ini. Untuk membatasi agar jumlah yang diproduksi tidak bernilai negatif maka digunakan pembatas integer positif. Batasan tersebut terdapat dalam persamaan berikut :

$$x_{ij} \in \mathbb{Z}^+ \tag{2.25}$$

### 2.8.4 Model Penjadwalan Job Shop

Model penjadwalan *job shop* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan formulasi penjadwalan *job shop* pada umumnya. Formulasi ini bertujuan untuk membatasi agar urutan mesin yang digunakan untuk sesuai dengan urutan yang telah ditentukan (Pinedo, 2008). Batasan tersebut terdapat dalam persamaan (2.26 ).

$$k_j - i_j \geq i_j \quad (2.26)$$

$$C - i_j \geq i_j \quad (2.27)$$

dimana :

$k_j$  = waktu mulai *job j* pada urutan ke- $k$

$i_j$  = waktu mulai *job j* pada urutan ke- $i$

$i_j$  = waktu proses *job j* pada urutan ke- $i$

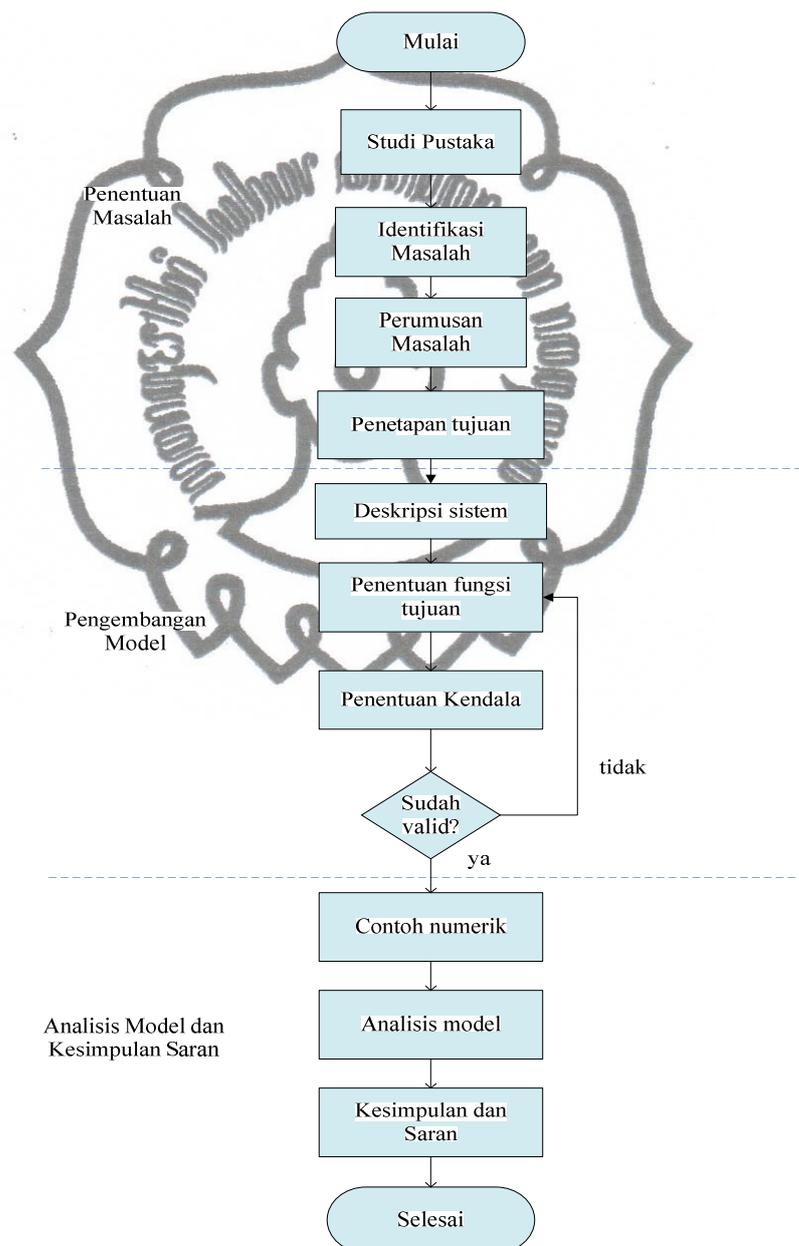
$C$  = *makespan*

Persamaan (2.26) menunjukkan bahwa proses ke- $k$  tidak boleh mendahului proses ke- $i$  pada *job* yang sama, sehingga persamaan ini menunjukkan proses yang pertama dan proses setelahnya dalam satu *job*. Persamaan (2.27) menunjukkan waktu proses *job* ke- $j$  pada proses ke- $i$ . Waktu proses untuk menyelesaikan suatu *job* tidak boleh melebihi dari *makespan* atau  $C_{max}$ .

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini diuraikan secara sistematis mengenai tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian. Langkah-langkah yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



**Gambar 3.1** Metodologi Penelitian

*commit to user*

Metodologi penelitian tersebut diuraikan dalam beberapa tahap. Uraian tiap tahapnya akan dijelaskan sebagai berikut.

### **3.1 IDENTIFIKASI MASALAH**

Tahap identifikasi masalah merupakan langkah awal dalam melakukan penelitian. Adapun kegiatan yang tercakup dalam tahapan ini akan diuraikan sebagai berikut.

#### **3.1.1 Studi Pustaka**

Studi pustaka merupakan tahap pengumpulan data dengan mengadakan studi penelaahan terhadap buku-buku dan literatur-literatur yang berhubungan dengan masalah yang diteliti. Pada tahap ini dilakukan pencarian literatur terkini dan literatur yang berkaitan dengan pemilihan proses. Studi pustaka bertujuan agar peneliti memahami teori-teori yang mendasari penelitian memastikan bahwa penelitian yang dilakukan belum dilakukan oleh orang lain. Sumber-sumber kepustakaan dapat diperoleh dari buku, jurnal, hasil-hasil penelitian dan sumber-sumber penelitian lainnya yang berkaitan dengan pemilihan proses.

#### **3.1.2 Identifikasi Masalah**

Tahap ini digunakan untuk melakukan identifikasi terhadap masalah yang terjadi, kemudian dapat dicari bahan, materi, serta literatur yang digunakan agar dapat menentukan metode yang tepat untuk memecahkan permasalahan yang terjadi.

#### **3.1.3 Perumusan Masalah**

Dari studi pustaka yang telah dilakukan, diperoleh beberapa model pemilihan proses dengan beberapa kriteria. Kriteria yang sering digunakan adalah kriteria biaya manufaktur dan biaya kerugian kualitas. Kedua kriteria ini sering

*commit to user*

dijumpai karena keduanya saling *trade off*. Kendala yang digunakan pun beragam, antara lain keterpenuhan toleransi dan waktu pengiriman.

Beberapa literatur yang membahas pemilihan proses dengan kendala toleransi dan waktu pengiriman belum mempertimbangkan alokasi produksi dan urutan proses produksi. Oleh karena itu, dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini yaitu bagaimana memilih proses mana yang tepat dan alokasi jumlah komponen pada setiap proses yang terpilih untuk meminimumkan biaya manufaktur, biaya kerugian kualitas, dan biaya keterlambatan dengan memperhatikan urutan proses produksi.

#### **3.1.4 Penetapan Tujuan**

Tujuan penelitian ini adalah melakukan pemilihan proses produksi dan alokasi produksi untuk masing-masing komponen yang dapat meminimumkan biaya manufaktur, biaya kerugian kualitas, dan biaya keterlambatan dengan memperhatikan urutan proses produksi komponen.

### **3.2 PENGEMBANGAN MODEL**

Tahap ini meliputi deskripsi sistem, penentuan fungsi tujuan, penentuan kendala, validasi, dan pembuatan contoh kasus.

#### **3.2.1 Deskripsi Sistem**

Langkah pertama yang dilakukan adalah mendeskripsikan sistem yang akan dikembangkan dalam model. Tujuan tahap ini untuk mendapatkan gambaran permasalahan yang terjadi pada sistem tersebut. Pendeskripsian sistem digunakan untuk mengetahui batasan sistem, variabel input yang terkontrol dan tidak terkontrol dalam sistem, perubahan proses, dan output sistem serta variabel-variabel yang berpengaruh terhadap pemilihan proses. Deskripsi sistem digambarkan dalam *influence diagram*. Diagram ini menggunakan empat simbol

untuk menggambarkan sistem dan panah untuk menghubungkan dua simbol. Keempat simbol tersebut adalah *rectangle* (persegi panjang), *cloud* (awan), *circle* (lingkaran), *oval*. *Rectangle* untuk menunjukkan keputusan, aturan keputusan, dan *input* yang dapat dikendalikan. *Cloud* menunjukkan batasan dan *input* yang tidak dapat dikendalikan. *Circle* menyatakan proses yang terjadi. Sedangkan *oval* menunjukkan output atau kriteria performansi.

### 3.2.2 Penentuan Fungsi Tujuan

Penelitian ini menggabungkan penelitian Feng dkk. (2001) dan penelitian Irianto dkk. (2004) yang mempertimbangkan batasan waktu pengiriman produk ke konsumen. Dalam penelitian ini dilakukan penyesuaian terhadap model pemilihan pemasok yang dikembangkan oleh Feng dkk. (2001). Model pemilihan pemasok diubah menjadi model pemilihan proses pada penelitian ini. Fungsi tujuan biaya keterlambatan dikembangkan dari penelitian Irianto dkk. (2004). Penelitian tersebut menggunakan batasan *delivery time*, dimana pengiriman produk harus dilakukan sebelum batas waktu yang ditentukan konsumen.

Sedangkan dalam penelitian ini dipertimbangkan adanya keterlambatan apabila pengiriman produk dilakukan setelah *due date*. Hal ini dikarenakan pada kondisi nyata dimungkinkan adanya keterlambatan yang diakibatkan oleh lamanya waktu proses produksi. Namun toleransi terhadap keterlambatan menimbulkan biaya penalti, sehingga mengakibatkan adanya biaya keterlambatan. Sehingga model dalam penelitian ini dapat menghitung keterlambatan yang terjadi pada suatu proses produksi. Fungsi tujuan dalam model ini adalah untuk meminimumkan biaya manufaktur, biaya kerugian kualitas, dan biaya keterlambatan pengiriman. Penelitian-penelitian sebelumnya yang diacu dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Peta Penelitian

No	Peneliti	Chase, Greenwood, Loosli, dan Hauglund	Lin, Wang, dan Zhang	Feng, Wang J., dan Wang J.S	Irianto, Makmoen M., dan Tjaroepjtjeka	Irianto dan Rahmat	Mustajib	Rajan, Ganesh, dan Narayanan	Mustajib dan Irianto	Penelitian ini
	Tahun	1990	1997	2001	2004	2008	2010	2010	2010	2012
	<b>Kriteria Fungsi Tujuan</b>									
1	Biaya manufaktur	√	√		√	√	√		√	√
2	Biaya pembelian			√						
3	Biaya Kerugian Kualitas			√	√	√	√		√	√
4	Biaya Keterlambatan									√
5	Penjualan produk								√	
6	Biaya inspeksi					√			√	
7	Biaya rework								√	
8	Biaya scrap								√	
9	Biaya set-up proses						√			
10	Biaya transportasi						√			
11	Biaya perakitan						√			
12	Biaya operasi manual						√			
13	Biaya material handling						√			
14	Biaya koreksi dan finishing					√				
	<b>Variabel Keputusan</b>									
1	Pemasok terpilih			√						
2	Proses terpilih	√	√		√	√			√	√
3	Alokasi produk							√		√
4	Alokasi bobot							√		
5	Pabrik terpilih						√			
	<b>Batasan Model</b>									
1	Toleransi	√	√	√	√	√			√	√
2	variansi proses		√							√
3	Demand								√	√
4	Delivery time				√	√	√		√	
5	Min. supplier terpilih							√		
6	Min. mesin terpilih									√
7	Maks. Alokasi produk							√		
8	Kapasitas								√	√

### 3.2.3 Penentuan Batasan

Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah batasan toleransi produk rakitan, variansi proses, kapasitas produksi, jumlah yang diproduksi (*demand*), dan minimal mesin terpilih. Batasan toleransi produk rakitan mengacu pada penelitian Feng dkk. (2001). Batasan toleransi rakitan menunjukkan toleransi semua komponen penyusun produk rakitan yang diproduksi tidak boleh melebihi target toleransi rakitan yang telah ditentukan. Batasan variansi proses mengacu pada penelitian Lin dkk. (1997). Batasan ini digunakan karena komponen melalui

proses produksi multi-tahap. Sehingga setiap proses dapat menimbulkan variasi. Variansi yang dihasilkan komponen merupakan penjumlahan dari variasi proses-proses sebelumnya.

Batasan kapasitas produksi diperlukan karena pada kondisi nyata, mesin mempunyai batas kemampuan produksi. Sehingga diperlukan pembagian jumlah yang diproduksi atau alokasi sehingga jumlah komponen yang diproduksi dapat memenuhi permintaan. Batasan ini diacu dari penelitian Mustajib dan Irianto (2010). Dalam penelitian tersebut juga diacu batasan pesanan konsumen. Dari penelitian Rajan dkk (2010), diperoleh batasan minimal mesin terpilih. Batasan ini diperlukan untuk memastikan bahwa ada mesin yang terpilih untuk memproduksi komponen.

Batasan jumlah yang diproduksi dibutuhkan agar jumlah komponen atau produk yang diproses dapat memenuhi permintaan. Batasan ini mengacu pada penelitian Mustajib dan Irianto (2010). Batasan minimal mesin terpilih diambil dari penelitian Rajan dkk. (2010). Batasan ini dibutuhkan untuk memastikan komponen yang diproses melalui setiap tahap dan pada setiap tahap proses komponen diproses minimal pada satu mesin.

#### **3.2.4 Validasi**

Validasi adalah penetapan kecukupan model terhadap kenyataan yang ada atau yang telah direncanakan sehingga dapat memberikan jawaban yang tepat dan berguna. Validasi dibedakan menjadi dua fase yaitu validasi internal dan validasi eksternal. Validasi internal digunakan untuk memeriksa bahwa model tersebut benar secara logis dan matematis sedangkan validasi eksternal digunakan untuk memastikan bahwa model cukup mampu mempresentasikan kenyataan (Daellenbach dan Mc.Nickle, 2005).

Validasi eksternal dalam penelitian ini tidak bisa dilakukan karena keterbatasan data, sehingga penelitian ini menggunakan validasi internal. Ada beberapa cara dalam melakukan validasi internal, diantaranya :

- a. Memeriksa persamaan matematika yang diterapkan pada program komputer.
- b. Melakukan penghitungan ulang manual untuk memeriksa kesamaan hasil dengan *output* program komputer.
- c. Memastikan semua persamaan matematika konsisten, yaitu ruas kanan seimbang secara dimensional dengan ruas kiri.

Di antara ketiga cara validasi internal tersebut, penelitian ini menggunakan cara yang ketiga, yaitu memastikan konsistensi persamaan matematika dengan memeriksa keseimbangan dimensi antara ruas kanan dengan ruas kiri.

### 3.2.5 Contoh Numerik

Contoh numerik digunakan untuk menunjukkan aplikasi model yang telah dikembangkan. Parameter untuk contoh numerik yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari penelitian Feng dkk (2001) dengan melakukan penyesuaian. Penyelesaian contoh numerik menggunakan bantuan *software* LINGO 11.0.

## 3.3 ANALISIS DAN KESIMPULAN

### 3.3.1 Analisis

Tahap ini dilakukan untuk menjelaskan model pemilihan proses yang telah dibuat. Analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis sensitivitas. Analisis sensitivitas digunakan untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter model yang tidak terkontrol dalam sistem terhadap solusi optimal (Daellenbach dan Mc.Nickle, 2005). Tujuannya adalah untuk menunjukkan seberapa sensitif model tersebut terhadap satu atau lebih faktor yang terkait di dalam model. Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah parameter dalam model yaitu perubahan kapasitas produksi mesin, toleransi, dan biaya kerugian kualitas.

### 3.3.2 Kesimpulan dan Saran

Langkah akhir dalam penelitian ini adalah penarikan kesimpulan. Kesimpulan diambil berdasarkan hasil analisis data yang dilakukan pada tahap sebelumnya. Saran yang diberikan diarahkan pada saran untuk penelitian selanjutnya.



## BAB IV PENGEMBANGAN MODEL

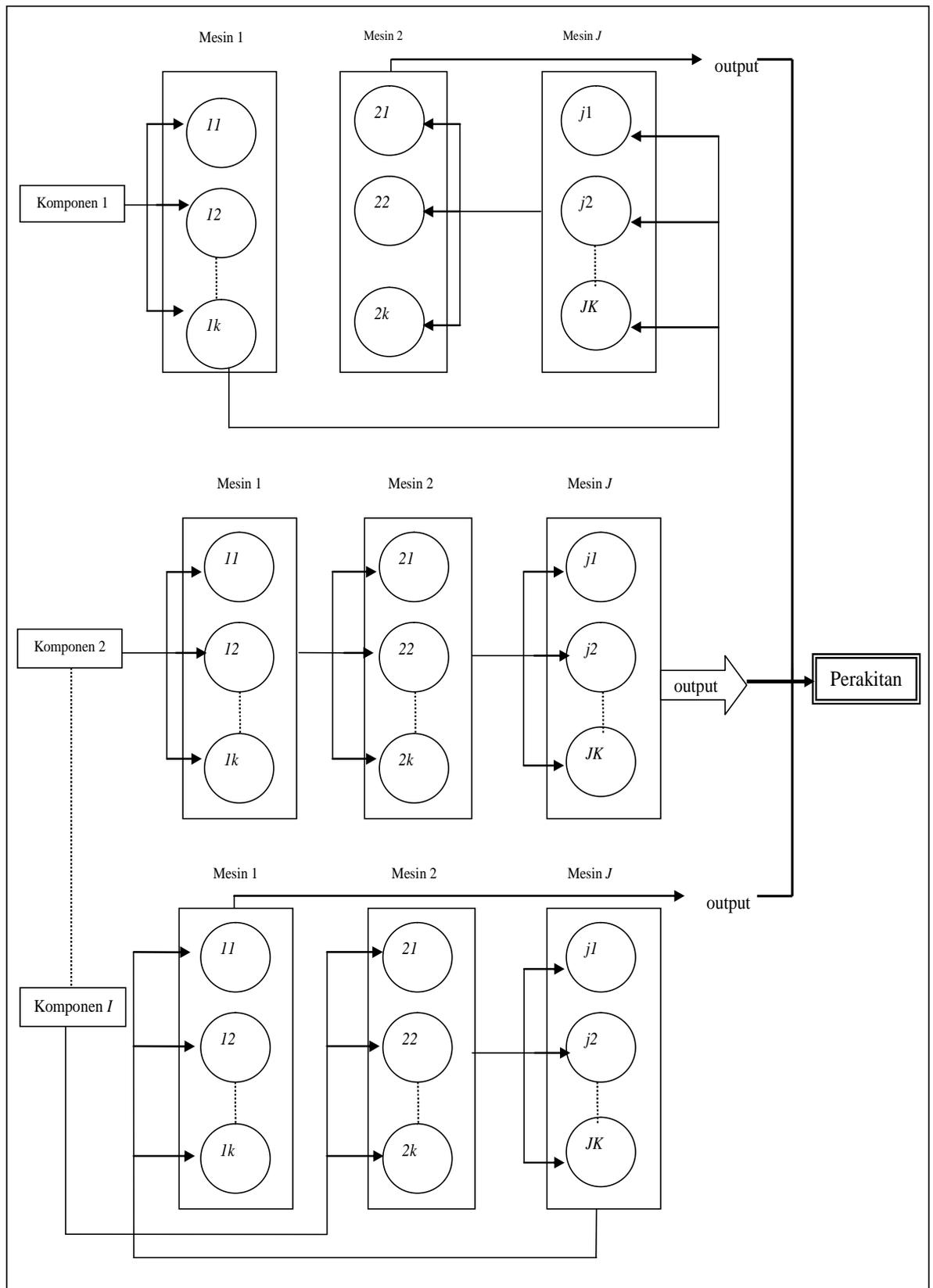
### 4.1 DESKRIPSI SISTEM

Sistem yang dimodelkan dalam penelitian ini adalah sebuah perusahaan rakitan yang bersifat *make-to-order*. Produk yang dihasilkan oleh perusahaan tersebut adalah produk rakitan yang terdiri atas beberapa komponen. Komponen-komponen tersebut diproduksi sendiri oleh perusahaan. Produk rakitan mempunyai spesifikasi tertentu dengan besaran toleransi yang telah ditentukan oleh perusahaan.

Gambar 4.1 menunjukkan sistem produksi dalam penelitian ini. Produk rakitan terdiri dari beberapa komponen penyusun yaitu komponen 1, komponen 2, sampai komponen ke- $i$ . Setiap komponen akan diproduksi melalui beberapa mesin yaitu mesin 1, mesin 2 sampai mesin ke- $j$ . Pada setiap mesin terdapat beberapa tipe mesin yaitu tipe mesin 1, 2 sampai tipe mesin ke- $k$ . Setiap komponen diasumsikan dapat diproduksi secara bebas pada mesin manapun, sehingga mesin yang terpilih dapat lebih dari satu. Setiap mesin mempunyai beberapa tipe yang mempunyai karakteristik berbeda dalam hal toleransi, biaya manufaktur, waktu proses, dan kapasitas. Semakin ketat toleransi sebuah komponen, maka biaya manufakturnya akan semakin tinggi. Komponen yang diproduksi akan melewati urutan proses tertentu untuk sampai pada komponen akhir. Urutan proses produksi diasumsikan sudah ditentukan terlebih dahulu oleh perusahaan.

Dari gambar 4.1 terlihat bahwa komponen 1 diproduksi dengan urutan mesin 1, mesin  $J$ , dan mesin 2. Pada saat komponen 1 berada di mesin 1, komponen tersebut dapat diproduksi pada salah satu mesin dari mesin 1 tipe 1 (11), mesin 1 tipe 2 (12), mesin ke-1 tipe ke- $k$  (1 $k$ ). Karena komponen dapat diproduksi secara bebas pada mesin manapun, maka komponen dapat diproduksi pada satu atau lebih tipe mesin. Begitu pula untuk komponen 2 sampai komponen ke- $I$ .

*commit to user*



*commit to user*  
**Gambar 4.1** Deskripsi sistem pemilihan proses

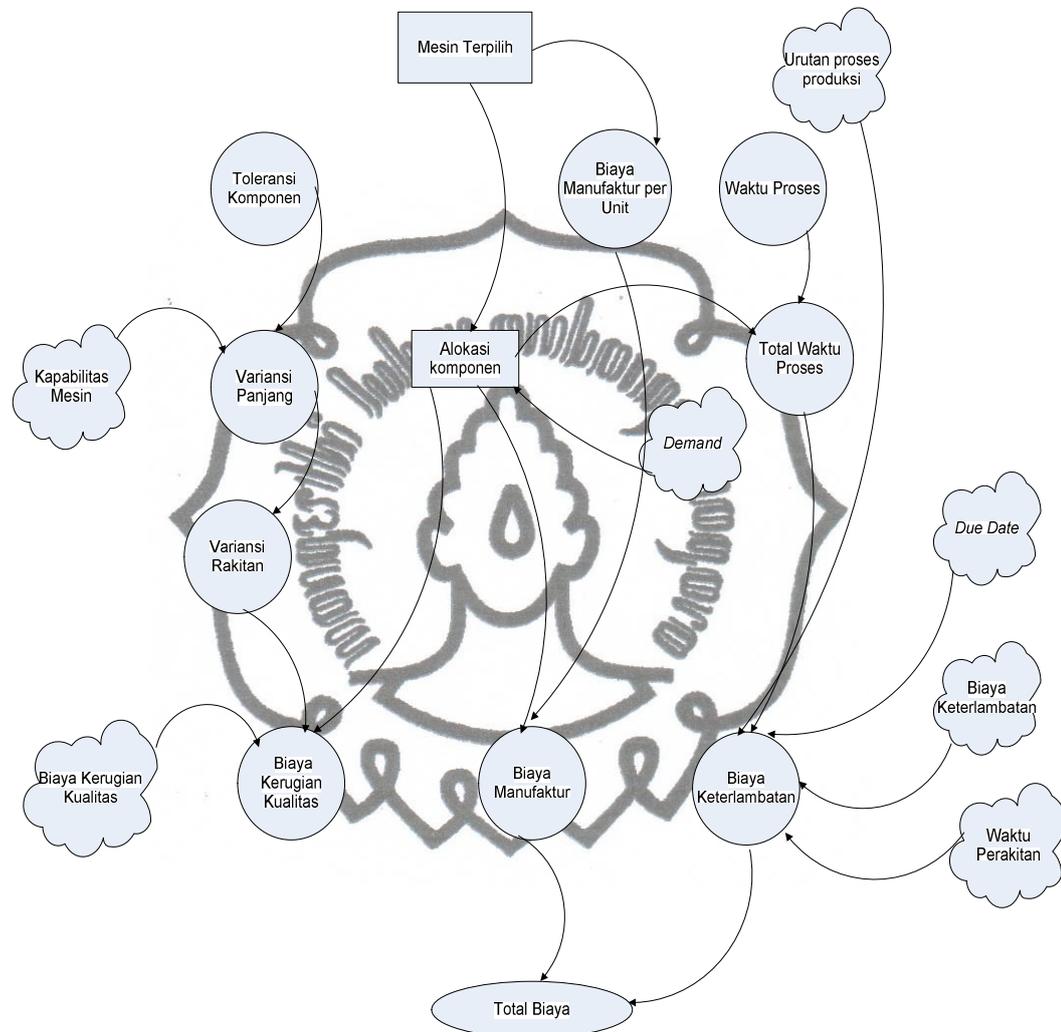
Jumlah komponen yang diproduksi disesuaikan dengan jumlah kebutuhan pada *bill of material* produk rakitan yang dipesan konsumen. Komponen akan diproduksi pada beberapa mesin yang memiliki kapasitas produksi. Keterbatasan kapasitas produksi sebuah mesin menyebabkan sebuah komponen harus diproses di lebih dari satu mesin. Hal tersebut menimbulkan pembagian jumlah komponen yang diproduksi atau alokasi komponen. Total waktu proses di sebuah mesin merupakan penjumlahan waktu proses yang dibutuhkan untuk memproduksi alokasi komponen pada mesin tersebut. *Makespan* ditentukan dari waktu mesin terpanjang yang digunakan untuk proses produksi. Sedangkan total waktu produksi merupakan total waktu proses ditambahkan dengan total waktu perakitan komponen. Proses perakitan komponen diasumsikan dimulai setelah semua komponen selesai diproduksi. Total waktu produksi dapat melebihi *due date* yang ditentukan oleh konsumen, yang dapat mengakibatkan keterlambatan pengiriman sehingga menimbulkan biaya keterlambatan.

Indeks kapabilitas proses diasumsikan sebesar 1,25 untuk setiap mesin. Setiap mesin menghasilkan toleransi yang berbeda, sehingga perusahaan harus memilih proses yang menghasilkan toleransi ketat untuk menjamin keterpenuhan spesifikasi toleransi komponen akhir. Semakin ketat toleransi maka biaya kerugian kualitas yang dihasilkan akan semakin kecil. Begitu juga sebaliknya, apabila toleransi semakin longgar, maka biaya kerugian kualitas juga akan semakin besar. Konsekuensi lainnya, semakin ketat toleransi akan memperbesar biaya manufaktur dan memperpanjang waktu proses produksi, sehingga dapat menimbulkan biaya keterlambatan.

#### **4.1.2 PENENTUAN VARIABEL-VARIABEL YANG MEMPENGARUHI TOTAL BIAYA**

Dari deskripsi sistem maka dapat diketahui variabel-variabel yang mempengaruhi pemilihan proses. Variabel-variabel yang berpengaruh terhadap pemilihan proses disusun dalam *influence diagram*. Dari *influence diagram* dapat dilihat bahwa ada beberapa variabel yang mempengaruhi total biaya dalam pemilihan proses yaitu biaya manufaktur, biaya kerugian kualitas dan biaya

keterlambatan. Hubungan antar variabel-variabel yang berpengaruh terhadap pemilihan proses dapat dilihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Influence diagram

Pemilihan mesin yang digunakan untuk proses produksi didasarkan pada kemampuan produksi setiap mesin. Apabila kapasitas sebuah mesin tidak mencukupi, maka akan dipilih mesin lain untuk menutupi kekurangan tersebut, sehingga terdapat pembagian jumlah produksi komponen atau alokasi komponen. Dengan diketahuinya jumlah pesanan maka alokasi komponen ke setiap mesin juga dapat diketahui. Mesin yang terpilih akan memproduksi sejumlah komponen dengan biaya manufaktur, toleransi, waktu proses, dan urutan proses produksi yang telah ditentukan. Toleransi pada tingkat komponen akan menyebabkan

variasi di tingkat komponen dengan indeks kapabilitas proses sebesar 1,25. Variasi komponen akan berakibat pada variasi rakitan dimana variasi rakitan produk harus sesuai dengan target toleransi rakitan. Total biaya kerugian kualitas diketahui dari diketahuinya biaya kerugian kualitas dan alokasi komponen.

Mesin yang terpilih memiliki biaya manufaktur untuk setiap unitnya dan mesin akan memproduksi sesuai dengan alokasi yang telah ditentukan berdasarkan jumlah pesanan. Biaya manufaktur dan alokasi komponen akan menghasilkan total biaya manufaktur. Proses produksi dilakukan sesuai dengan urutan proses yang telah ditentukan oleh perusahaan berdasarkan mesin yang terpilih. Setiap mesin yang terpilih memiliki waktu proses pengerjaan yang berbeda untuk setiap komponen. Diketuainya waktu proses, *due date*, dan biaya keterlambatan maka total biaya keterlambatan juga akan diketahui. Total biaya kerugian kualitas, manufaktur, dan keterlambatan mempengaruhi biaya total yang harus ditanggung oleh perusahaan.

#### 4.2 PENENTUAN FUNGSI TUJUAN

Kriteria biaya manufaktur dalam pemilihan proses ini mengacu pada penelitian Chase dkk. (1990) yaitu pemilihan proses berdasarkan kriteria biaya manufaktur. Biaya manufaktur dalam penelitian tersebut merupakan biaya manufaktur yang terpilih dengan memperhatikan toleransi produk rakitan. Fungsi tujuan dalam penelitian tersebut ditunjukkan pada persamaan (2.13).

Kriteria biaya kerugian kualitas mengacu pada penelitian Feng dkk. (2001). Biaya kerugian kualitas timbul akibat adanya pergeseran nilai rata-rata toleransi rakitan terhadap targetnya (*Taguchi Quality Loss*). Koefisien kerugian kualitas dinyatakan pada persamaan (2.2). Sehingga, kerugian kualitas untuk komponen tunggal adalah sebagai berikut (Feng dkk., 2001) :

$$L t = \frac{A}{t} t \quad (4.1)$$

Dimana :

L = fungsi kerugian kualitas

$\frac{A}{t}$  = estimasi biaya kerugian kualitas tiap satuan penyimpangan

= biaya kerugian kualitas

$t$  = penyimpangan aktual yang terjadi

Untuk toleransi komponen yang berdistribusi normal dengan variasi proses manufaktur sebesar 3 sigma, maka kerugian kualitas seperti dalam persamaan (4.2).

$$Q_L = E L x = E a x - \mu^2 = a \int_{-\infty}^{+\infty} x - \mu^2 p x d x = a \sigma^2 \quad (4.2)$$

Dimana :

$Q_L$  = total kerugian kualitas untuk seluruh rakitan

= estimasi kerugian kualitas

$a$  = estimasi biaya kerugian kualitas tiap satuan penyimpangan

$\sigma^2$  = variasi komponen

$\mu$  = dimensi rata-rata produk

$x$  = dimensi yang didapat dari proses manufaktur

Sedangkan kerugian kualitas untuk multi-komponen merupakan penjumlahan kerugian kualitas dari beberapa komponen tunggal. Kerugian kualitas untuk multi-komponen dapat dirumuskan dalam persamaan (4.3).

$$Q_L = E L x_1, x_2, \dots, x_i = E \sum_{i=1}^I a x - \mu^2 = \sum_{i=1}^I a_i \sigma_i^2 \quad (4.3)$$

Koefisien kerugian kualitas  $a$  dapat disubstitusi dengan  $\frac{A}{T}$ , dimana  $T$  adalah batas toleransi pada satu sisi dari suatu rantai toleransi. Sehingga persamaan kerugian kualitas dapat dituliskan pada persamaan (4.4).

$$\frac{A}{T} \sum_i i \quad (4.4)$$

Fungsi tujuan dalam penelitian Feng dkk. (2001) dapat dilihat pada persamaan (2.18). Biaya kerugian kualitas dihitung berdasarkan penyimpangan variasinya. Penyimpangan toleransi produk rakitan merupakan turunan parsial dari toleransi komponen-komponen penyusunnya. Sehingga biaya kerugian kualitas dapat dirumuskan seperti pada persamaan (2.19).

Kriteria lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah biaya keterlambatan. Biaya keterlambatan timbul apabila waktu pengiriman melebihi

due date yang telah ditentukan oleh konsumen. Selisih antara waktu aktual dengan due date ( $w_T$ ) dinotasikan dengan  $y$ . Biaya keterlambatan setiap satuan waktu penyimpangan adalah  $L$ . Kriteria biaya keterlambatan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$max \quad ma \sum_i \sum_j \quad ijk \quad ijk \quad ijk , \forall \tag{4.6}$$

$$W = max \quad a \tag{4.7}$$

$$- \quad , \quad ji \quad a \leq 0, \quad ji \quad a \tag{4.8}$$

$$P(W) = L( - \tag{4.9}$$

dimana :

- $max$  = waktu proses terpanjang
- $a$  = waktu perakitan
- $W$  = total waktu proses

Persamaan (4.6) menunjukkan bahwa waktu proses yang digunakan adalah waktu proses terpanjang dari setiap mesin. Waktu proses ini akan ditambahkan dengan waktu perakitan sehingga menjadi total waktu produksi ( $W$ ). Persamaan ini dapat dilihat pada persamaan (4.7). Apabila total waktu produksi melebihi *due date*, maka terjadi keterlambatan sebesar  $y$ . Hal tersebut dapat dilihat pada persamaan (4.8). Pada persamaan (4.9) ditunjukkan perhitungan total biaya keterlambatan dimana biaya keterlambatan dihitung setiap satuan waktu penyimpangan.

Fungsi tujuan dalam penelitian ini dapat dirumuskan dalam persamaaan (4.10). Dimana dalam penelitian ini bertujuan untuk meminimasi total biaya yang meliputi biaya manufaktur, biaya kerugian kualitas, dan biaya keterlambatan. Penjabaran biaya kerugian kualitas dapat dilihat pada persamaan (2.19) dengan melakukan penyesuain pada mesin yang digunakan. Sedangkan penjabaran biaya keterlambatan dapat dilihat pada persamaan (4.9).

$$inT \quad \sum_i \sum_j \sum_k \quad ijk \quad ijk \quad ijk \quad ijk \quad ijk \tag{4.10}$$

*commit to user*

dimana :

- $c_{ijk}$  = biaya manufaktur per unit
- $h_{ijk}$  = alokasi komponen yang diproduksi
- $b_{ijk}$  = *binary integer*
- $q_{ijk}$  = biaya kerugian kualitas per unit
- $r_{ijk}$  = total biaya keterlambatan

### 4.3 BATASAN YANG DIPERTIMBANGKAN

#### 4.3.1 Batasan Toleransi Rakitan

Kendala toleransi rakitan pada model ini mengacu pada model yang dikembangkan oleh Feng dkk. (2001). Toleransi rakitan dihitung berdasarkan variasi masing-masing komponen penyusunnya. Batasan tersebut terdapat pada persamaan (4.11).

$$\sum_i \sum_j \sum_k \frac{\partial f}{\partial x_{ijk}} \leq \quad (4.11)$$

dimana :

- $\frac{\partial f}{\partial x_{ijk}}$  = turunan parsial persamaan dimensi fungsional komponen  $i$
- $x_{ijk}$  = variasi komponen  $i$  yang diproduksi mesin  $j$  pada tipe  $k$
- $C_{pk}$  = *capability index* masing-masing tipe mesin
- $b_{ijk}$  = *binary integer*
  - bernilai 1 jika komponen  $i$  terpilih diproses di mesin  $j$  pada tipe  $k$
  - bernilai 0 jika komponen  $i$  tidak diproses di mesin  $j$  pada tipe  $k$
- $\sigma_R^2$  = variasi rakitan yang diizinkan

Kendala toleransi tersebut mengasumsikan hanya satu mesin saja yang terpilih untuk sebuah proses. Sedangkan untuk pemilihan proses dalam penelitian ini mengizinkan terpilihnya lebih dari satu proses untuk sebuah komponen karena keterbatasan kapasitas. Kendala toleransi pada penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sum_i \sum_j \sum_k \frac{\text{commit to user}}{ijk} \leq \quad (4.12)$$

dimana :

- $\frac{\partial f}{\partial x_i}$  = turunan parsial persamaan dimensi fungsional komponen  $i$   
 $t_{ijk}$  = toleransi komponen  $i$  yang diproduksi mesin  $j$  pada tipe  $k$   
 $C_{pk}$  = *capability index* masing-masing tipe mesin  
 $T_R^2$  = toleransi rakitan yang diizinkan

Indeks  $k$  pada model ini menunjukkan tipe mesin dari setiap mesin produksi yang digunakan. Variabel  $b$  menggantikan  $x$  sebagai variabel biner pada penelitian Feng dkk. (2001), namun tidak mengubah fungsinya yaitu sebagai variabel keputusan dalam pemilihan proses yang menunjukkan terpilih jika bernilai 1 dan tidak terpilih jika bernilai 0.

Selain mengacu pada penelitian Feng dkk. (2001), penentuan batasan toleransi juga mengacu pada penelitian Lin dkk. (1997) yaitu batasan variasi toleransi untuk proses. Batasan toleransi proses diperlukan agar variasi yang dihasilkan pada setiap tahap proses tidak melebihi dari toleransi komponen. Hal ini disebabkan karena setiap komponen diproduksi melalui beberapa tahap proses dimana setiap tahap proses yang dilalui komponen menghasilkan variasi. Dimensi produk rakitan dipengaruhi oleh sejumlah dimensi lainnya yang saling berhubungan. Sehingga toleransi akhir komponen merupakan penjumlahan dari toleransi proses sekarang dan proses-proses sebelumnya (persamaan (4.13)).

$$t_{ijk} = \sum_{i=1}^n t_{ijk} + \sum_{j=1}^m t_{ijk} + \sum_{k=1}^p t_{ijk} \quad (4.13)$$

dimana :

- $t_{ijk}$  = variasi toleransi komponen ke  $i$   
 $t_{ijk}$  = variasi toleransi proses pada komponen ke  $i$

Kemudian dapat disubstitusi dengan — , sehingga batasan variasi toleransi komponen terhadap variasi proses pembuatannya dapat dilihat pada persamaan (4.14).

$$\sum_{i=1}^n t_{ijk} + \sum_{j=1}^m t_{ijk} + \sum_{k=1}^p t_{ijk} \leq T_R^2 \quad (4.14)$$

### 4.3.2 Batasan Kapasitas Produksi Mesin

Model dalam penelitian ini mempertimbangkan keterbatasan jumlah komponen yang dapat diproduksi pada setiap mesin. Jumlah komponen yang diproduksi pada satu mesin tidak dapat melebihi kapasitas produksi mesin tersebut.

$$\sum_i i_{jk} \leq j_k \quad (4.15)$$

Variabel  $i_{jk}$  menunjukkan jumlah komponen ke  $i$  yang diproduksi pada mesin ke  $j$  tipe  $k$  dan konstanta  $j_k$  menunjukkan kapasitas mesin ke  $j$  pada tipe mesin  $k$ .

### 4.3.3 Batasan Jumlah yang Diproduksi

Batasan lain yang dipertimbangkan dalam penelitian ini adalah batasan jumlah produk rakitan yang diproduksi. Batasan ini mengacu pada penelitian Mustajib dan Irianto (2010). Batasan ini dapat dilihat pada persamaan (4.16).

$$\sum_k i_{jk} = n_i \quad \forall i, j \quad (4.16)$$

$n_i$  menunjukkan faktor pengali jumlah komponen ke  $i$  yang dibutuhkan untuk menyusun sebuah produk rakitan berdasarkan *bill of material*. Jumlah komponen ke  $i$  pada mesin ke  $j$  yang diproduksi pada sesuai dengan jumlah komponen yang dibutuhkan untuk menyusun produk rakitan dalam *bill of material*, sehingga jumlah komponen ke  $i$  yang diproduksi untuk menyusun produk rakitan dapat disesuaikan dengan jumlah pesanan.

### 4.3.4 Batasan Minimal Mesin Terpilih Untuk Setiap Komponen

Mengacu pada model yang dikembangkan oleh Rajan dkk. (2010), batasan minimum jumlah mesin yang digunakan untuk memproduksi komponen dapat dirumuskan dalam persamaan (4.17).

$$\sum_j \sum_k i_{jk} \geq j_k \quad (4.17)$$

Konstanta  $j_k$  menunjukkan jumlah minimum mesin  $j$  tipe  $k$  yang dibutuhkan untuk memproduksi komponen ke  $i$ .

### 4.3.5 Batasan Urutan Proses Produksi

Diasumsikan bahwa urutan proses produksi telah ditentukan oleh perusahaan. Untuk membatasi agar urutan proses produksi sesuai dengan urutan yang telah ditentukan maka diperlukan batasan urutan proses produksi. Mengacu pada model penjadwalan job shop dalam Pinedo (2008), terdapat dua batasan yang dapat digunakan dalam penelitian ini.

$$i_{jk} - i_{ijk}^a \geq p_{ijk}^a \tag{4.18}$$

$$max - i_{ijk}^a \geq p_{ijk}^a \tag{4.19}$$

Dimana :

$i_{ijk}^a$  = waktu mulai untuk komponen ke- $i$  pada mesin  $j$  di tipe mesin ke- $k$  pada urutan ke- $a$ .

$i_{jk}$  = waktu mulai untuk komponen ke- $i$  pada mesin  $j$  di tipe mesin ke- $k$  pada urutan ke- $b$ .

$p_{ijk}^a$  = waktu proses untuk komponen ke- $i$  pada mesin  $j$  di tipe mesin ke- $k$  pada urutan ke- $a$ .

$max$  = *makespan* atau waktu terpanjang

Persamaan (4.18) menunjukkan bahwa proses ke- $k$  tidak boleh mendahului proses ke- $i$  pada *job* yang sama, sehingga persamaan ini menunjukkan proses yang pertama dan proses setelahnya dalam satu *job*. Persamaan (4.19) menunjukkan waktu proses *job* ke- $j$  pada proses ke- $i$ . Waktu proses untuk menyelesaikan suatu *job* tidak boleh melebihi dari *makespan* atau  $max$ .

## 4.4 VALIDASI INTERNAL

### 4.4.1 Fungsi Tujuan

Persamaan (4.10)

$$inT \quad i_{jk} \quad i_{jk} \quad i_{jk} \quad i_{jk} \quad i_{jk}$$

*commit to user*

Total kerugian kualitas  $c_{ijk}$  dapat dijabarkan dalam persamaan (4.20)

$$c_{ijk} = \sum_m \frac{A}{T^2} \sum_i \sum_j \sum_k \frac{f_j}{t_{ijk}} \quad (4.20)$$

Total biaya ketrlambatan P W dapat dijabarkan dalam persamaan (4.21)

$$= - \quad (4.21)$$

Sehingga fungsi tujuan menjadi sebagai berikut :

$$\min T = \sum_i \sum_j \sum_k c_{ijk} x_{ijk} - \sum_m \frac{1}{T^2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m \frac{t_{ij}}{3^p} x_{ijk}^2 \quad (4.22)$$

dimana :

$c_{ijk}$  = biaya manufaktur satu unit komponen  $i$  pada mesin  $j$  di tipe mesin  $k$   
(Rupiah/unit)

$x_{ijk}$  = kuantitas komponen  $i$  yang diproduksi pada mesin  $j$  di tipe mesin  $k$   
(unit)

$t_{ijk}$  = toleransi komponen  $i$  yang diproduksi pada mesin  $j$  di tipe mesin  $k$   
(mm)

$T_M$  = batasan toleransi rakitan dari sejumlah  $m$  rantai dimensi  
(mm)

$A$  = biaya kerugian kualitas  
(Rupiah/unit)

$C_{pk}$  = *capability index* masing-masing pemasok

$m$  = indeks rantai dimensi

$M$  = jumlah rantai dimensi *commit to user*

$y$  = biaya keterlambatan  
(Rupiah/menit)

$L$  = total waktu keterlambatan  
(menit)

Validasi :

$$\frac{Rp}{unit} unit + \frac{Rp}{unit} \times mm^2 \times unit \frac{p}{menit} menit$$

(Valid)

#### 4.4.2 Batasan yang Dipertimbangkan

Persamaan (4.12)

$$\sum_i \sum_j \sum_k \frac{f_i}{t_{ijk}} \leq$$

Dimana :

$\frac{f_i}{t_{ijk}}$  = turunan parsial dimensi fungsional dari komponen  $i$

$t_{ijk}$  = toleransi komponen  $i$  yang diproduksi pada mesin  $j$  di tipe mesin  $k$   
(mm)

$C_{pk}$  = *capability index* masing-masing pemasok

$b_{ijk}$  = *binary integer*

$b_{ijk}$  bernilai 1 jika komponen  $i$  terpilih diproses di mesin  $j$  pada tipe  $k$   
bernilai 0 jika komponen  $i$  tidak diproses di mesin  $j$  pada tipe  $k$

$T_k$  = batasan toleransi rakitan dari sejumlah  $k$  rantai dimensi  
(mm)

$C_p$  = *capability index* perusahaan perakit

$k$  = indeks rantai dimensi

Validasi :

$$mm^2 \leq mm^2 \quad \text{(Valid)}$$

*commit to user*

Persamaan (4.14)

$$x_{ijk} \leq k_{jk}$$

Dimana :

$k_{jk}$  = kapasitas produksi mesin  $j$  tipe  $k$   
(unit)

$x_{ijk}$  = kuantitas komponen  $i$  yang diproduksi pada mesin  $j$  di tipe mesin  $k$   
(unit)

Validasi :

$$unit \leq unit$$

(Valid)

Persamaan (4.15)

$$x_i = n D$$

Dimana :

$x_i$  = kuantitas komponen ke  $i$  yang diproduksi (unit)

$D$  = kuantitas pesanan (unit)

$n$  = faktor pengali dengan *bill of material*.

Validasi :

$$unit = unit$$

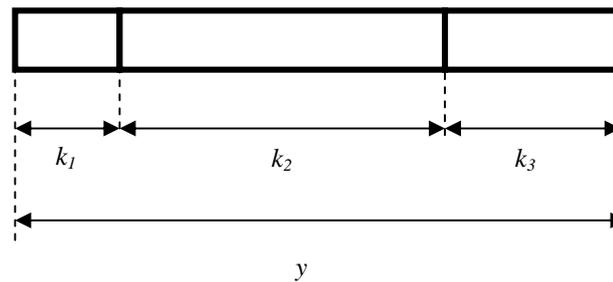
(Valid)

## 4.5 CONTOH NUMERIK

### 4.5.1 Definisi Masalah

Contoh numerik pada penelitian ini mengacu pada contoh numerik pengembangan model yang dilakukan oleh Feng dkk. (2001) dengan melakukan penyesuaian. Produk rakitan tersusun atas tiga komponen yaitu  $k_1$ ,  $k_2$ , dan  $k_3$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.

*commit to user*



**Gambar 4.3** Produk Rakitan Beserta Komponen Penyusunnya

Sumber : Feng dkk. (2001)

Spesifikasi produk rakitan adalah  $y = 60,000 \pm 0,025$  mm. Setiap komponen  $k_1$ ,  $k_2$ , dan  $k_3$  berdistribusi normal dengan rata-rata  $\mu_1 = 10,000$  mm,  $\mu_2 = 20,000$  mm dan  $\mu_3 = 30,000$  mm. Perusahaan mempunyai tiga proses yang dapat digunakan untuk menghasilkan ketiga komponen tersebut. Ketiga proses produksi diwakili oleh tiga mesin yaitu  $m_1$ ,  $m_2$ , dan  $m_3$  yang dapat digunakan untuk memproses semua komponen. Setiap mesin  $m$  memiliki dua tipe mesin yaitu  $k_1$  dan  $k_2$ .

Setiap tipe mesin mempunyai karakteristik yang berbeda dalam hal biaya manufaktur, waktu proses, toleransi, dan variansi yang bisa dihasilkan. Tabel 4.1 menunjukkan data biaya manufaktur, Tabel 4.2 menunjukkan data toleransi, dan Tabel 4.3 menunjukkan data waktu proses yang dihasilkan untuk setiap komponen ke- $i$  yang diproses pada mesin ke- $j$  di tipe mesin ke- $k$ . Perusahaan telah menentukan urutan proses produksi untuk setiap komponen. Urutan produksi setiap komponen dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Pada contoh numerik ini diasumsikan semua mesin memiliki indeks kapabilitas proses sama yaitu  $C_p = 1,25$  untuk setiap komponen. Biaya kerugian kualitas diasumsikan sebesar Rp 100.000. Biaya keterlambatan diasumsikan sebesar Rp 20/menit. Permasalahan yang akan diselesaikan adalah untuk menentukan tipe mesin mana saja yang harus dipilih untuk masing-masing mesin dan komponen beserta kuantitas produksi masing-masing untuk meminimalkan total biaya manufaktur, biaya kerugian kualitas, dan biaya keterlambatan.

*commit to user*

Penelitian ini menambahkan batasan kapasitas produksi setiap mesin dan pesanan konsumen. Pada contoh numerik ini, kapasitas masing-masing pemasok untuk setiap komponen ditampilkan pada Tabel 4.5. Jumlah produk rakitan yang dipesan oleh konsumen sebanyak 45 unit. Diasumsikan mesin yang digunakan untuk memproses komponen dapat lebih dari satu.

**Tabel 4.1** Data biaya manufaktur (Rupiah) untuk setiap komponen

Komponen	Mesin 1		Mesin 2		Mesin 3	
	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2
1	7500	8500	6200	8500	7900	6500
2	7000	6500	7600	8700	6000	8900
3	6200	8700	8000	6700	7600	8800

**Tabel 4.2** Data toleransi (mm) untuk setiap komponen

Komponen	Mesin 1		Mesin 2		Mesin 3	
	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2
1	0,08	0,05	0,1	0,05	0,07	0,09
2	0,07	0,09	0,08	0,05	0,1	0,05
3	0,1	0,05	0,07	0,09	0,08	0,05

**Tabel 4.3** Data waktu proses (menit) untuk setiap komponen

Komponen	Mesin 1		Mesin 2		Mesin 3	
	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2
1	9	12	9	15	12	9
2	10	8	11	14	8	14
3	8	14	10	8	11	15

**Tabel 4.4** Urutan proses produksi

Komponen	Urutan proses
1	1 → 2 → 3
2	2 → 1 → 3
3	3 → 1 → 2

**Tabel 4.5** Kapasitas produksi setiap mesin (unit)

Mesin 1		Mesin 2		Mesin 3	
Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2
95	65	105	75	80	120

#### 4.5.2 Penyelesaian Masalah

Permasalahan di atas kemudian dirumuskan menjadi persamaan *Integer Non-Linear Programming* dengan fungsi tujuan mengacu pada seperti pada persamaan (4.23). Fungsi tujuan dan kendala-kendala pada saat diaplikasikan ke dalam contoh numerik dapat dilihat pada lampiran 1.

Perhitungan batasan toleransi rakitan dan variansi komponen melalui proses enumerasi, yaitu memeriksa satu per satu komposisi toleransi pada produk rakitan. Komposisi  $k_{111}$ - $k_{211}$ - $k_{311}$  menunjukkan bahwa produk rakitan terdiri dari komponen 1 yang diproduksi pada mesin 1 tipe 1, komponen 2 yang diproduksi pada mesin 1 tipe 1, dan komponen 3 yang diproduksi pada mesin 1 tipe 1.

Penyelesaian masalah menggunakan bantuan *software* LINGO 11.0 sebagai *solver*. Penyelesaian untuk masalah pada contoh numerik ditunjukkan pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Penyelesaian model pemilihan proses

Komponen	Mesin 1		Mesin 2		Mesin 3	
	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2
1	45	-	45	-	45	-
2	45	-	45	-	-	45
3	5	40	5	40	35	10

Total biaya yang akan ditanggung oleh perusahaan untuk memproduksi 45 unit produk rakitan adalah sebesar Rp 3.107.766,00. Biaya manufaktur yang dihasilkan sebesar Rp 3.070.500,00 sedangkan biaya kerugian kualitas dan biaya keterlambatan sebesar Rp 27. 266,17 dan Rp 10.000,00.

## BAB V ANALISIS

Analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis sensitivitas. Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah beberapa parameter, yaitu biaya kerugian kualitas (A), toleransi, biaya manufaktur, dan waktu proses. Skenario perubahan parameter ditampilkan pada Tabel 5.1.

**Tabel 5.1** Skenario Analisis Sensitivitas

A																		
Kasus 1	50000	200000	1000000	2000000														
Kasus 2	50000	200000	1000000	2000000														
Kasus 3	50000	200000	1000000	2000000														
Kasus 4	50000	200000	1000000	2000000														
TOLERANSI																		
Komponen 1				Komponen 2						Komponen 3								
Mesin 1		Mesin 2		Mesin 3		Mesin 1		Mesin 2		Mesin 3		Mesin 1		Mesin 2		Mesin 3		
Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	
Kasus 1	0,16	0,05	0,2	0,05	0,14	0,09	0,07	0,09	0,08	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,07	0,09	0,08	0,05
Kasus 2	0,08	0,05	0,1	0,05	0,07	0,09	0,07	0,09	0,08	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,07	0,09	0,08	0,05
Kasus 3	0,08	0,025	0,1	0,025	0,07	0,045	0,07	0,045	0,08	0,025	0,1	0,025	0,1	0,025	0,07	0,045	0,08	0,025
Kasus 4	0,08	0,05	0,1	0,05	0,07	0,09	0,035	0,045	0,04	0,025	0,05	0,025	0,05	0,025	0,035	0,045	0,04	0,025
B.MANUFAKTUR																		
Komponen 1				Komponen 2						Komponen 3								
Mesin 1		Mesin 2		Mesin 3		Mesin 1		Mesin 2		Mesin 3		Mesin 1		Mesin 2		Mesin 3		
Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	
Kasus 1	3750	8500	3100	8500	3950	6500	7000	6500	7600	8700	6000	8900	6200	8700	8000	6700	7600	8800
Kasus 2	3750	8500	3100	8500	3950	6500	3500	6500	3800	8700	3000	8900	6200	4350	8000	3350	7600	4400
Kasus 3	7500	8500	6200	8500	7900	6500	7000	6500	7600	8700	6000	8900	6200	8700	8000	6700	7600	8800
Kasus 4	7500	8500	6200	8500	7900	6500	7000	6500	7600	8700	6000	8900	6200	8700	8000	6700	7600	8800
WAKTU PROSES																		
Komponen 1						Komponen 2						Komponen 3						
Mesin 1		Mesin 2		Mesin 3		Mesin 1		Mesin 2		Mesin 3		Mesin 1		Mesin 2		Mesin 3		
Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 1	Tipe 2	
Kasus 1	9	12	9	15	12	9	10	8	11	14	8	14	8	14	10	8	11	15
Kasus 2	9	12	9	15	12	9	10	8	11	14	8	14	8	14	10	8	11	15
Kasus 3	9	24	9	30	12	18	10	16	11	28	8	28	8	28	10	16	11	30
Kasus 4	9	12	9	15	12	9	20	16	22	28	16	28	16	28	20	16	22	30

Biaya kerugian kualitas akan diubah dari Rp 50.000 atau setengah kali dari nilai aktualnya menjadi 2 kali lipat, 10 kali lipat, dan 20 kali lipat. Secara berurutan biaya kerugian kualitas diubah menjadi Rp 50.000, Rp 200.000, Rp 1.000.000, dan Rp 2.000.000. Setiap perubahan nilai A akan dibandingkan disetiap kasus. Terdapat empat kasus yang disajikan pada analisis sensitivitas. Kasus pertama dilakukan dengan mengubah toleransi komponen 1 disetiap mesin di tipe 1 menjadi dua kali lipat dari nilai aktual dan biaya manufaktur diubah

menjadi setengah kali dari nilai awalnya. Sedangkan waktu proses tetap seperti kondisi awal. Berbeda dengan kasus kedua, kasus kedua dilakukan dengan mengubah biaya manufaktur di tipe 1 semua mesin untuk semua komponen menjadi setengah kali lebih rendah dibanding kondisi awal. Toleransi dan waktu proses tetap pada kondisi awal.

Kasus ketiga dilakukan dengan mengubah toleransi di tipe 2 semua mesin untuk semua komponen menjadi 2 kali lipat lebih ketat dari kondisi awal, waktu proses di tipe 2 semua mesin untuk semua komponen diubah menjadi 2 kali lipat lebih lama, dan biaya manufaktur tetap seperti kondisi awal. Kasus keempat mengubah nilai toleransi di semua mesin untuk komponen 2 dan 3 menjadi setengah kali lipat dari nilai aktual, waktu proses diubah dua kali lipat dari kondisi awal, dan tetap seperti kondisi awal untuk biaya manufaktur. Hasil komputasi dapat dilihat pada tabel 5.2.

### **5.1 ANALISIS BIAYA KERUGIAN KUALITAS**

Perubahan biaya kerugian kualitas menyebabkan perubahan terhadap proses terpilih serta alokasi untuk proses yang terpilih. Ketika parameter toleransi diubah dua kali lipat dari kondisi awal dan biaya manufaktur diubah menjadi setengah kali dari kondisi awal (kasus 1), terpilih mesin 1 tipe 1, mesin 2 tipe 1, dan mesin 3 tipe 2 atau M11-M21-M32 untuk komponen 1, M11-M21-M31 untuk komponen 2, dan M12-M22-M31-M32 untuk komponen 3. Proses yang terpilih akan berubah ketika terjadi perubahan A. Besarnya perubahan nilai A menyebabkan model berusaha menyeimbangkan antara biaya manufaktur dan biaya kerugian kualitas.

Ketika biaya kerugian kualitas dinaikkan menjadi Rp 200.000, terjadi perubahan pada proses terpilih dan alokasi komponen. Proses yang terpilih pada kondisi ini adalah M11-M21-M32 untuk komponen 1, M11-M21-M31 untuk komponen 2, dan M11-M12-M21-M22-M31-M32 untuk komponen 3. Perbedaan dari kondisi A = Rp 50.000 yaitu pada komponen 3. Dimana pada kondisi A = Rp 200.000, semua mesin digunakan untuk memproses komponen 3.

**Tabel 5.2 Hasil Analisis Sensitivitas**

A	Kasus 1																				
	Biaya Manufaktur	Biaya Kerugian Kualitas	Biaya Keterlambatan	Alokasi																	
				Komponen 1						Komponen 2						Komponen 3					
				M11	M12	M21	M22	M31	M32	M11	M12	M21	M22	M31	M32	M11	M12	M21	M22	M31	M32
Rp 50.000,00	Rp 2.574.750,00	Rp 47.169,84	Rp 9.000,00	45		45			45	45		45		45			45		45	35	10
Total Biaya	Rp 2.630.920,00																				
Rp 200.000,00	Rp 2.568.750,00	Rp 188.674,50	Rp 10.000,00	45		45			45	45		45		45		5	40	5	40	35	10
Total Biaya	Rp 2.767.425,00																				
Rp 1.000.000,00	Rp 2.574.750,00	Rp 943.361,80	Rp 9.000,00	45		45			45	45		45		45			45		45	35	10
Total Biaya	Rp 3.527.112,00																				
Rp 2.000.000,00	Rp 2.574.750,00	Rp 1.950.722,00	Rp 9.000,00	45		45			45	45		45		45			45		45	35	10
Total Biaya	Rp 4.534.472,00																				

A	Kasus 2																				
	Biaya Manufaktur	Biaya Kerugian Kualitas	Biaya Keterlambatan	Alokasi																	
				Komponen 1						Komponen 2						Komponen 3					
				M11	M12	M21	M22	M31	M32	M11	M12	M21	M22	M31	M32	M11	M12	M21	M22	M31	M32
Rp 50.000,00	Rp 2.064.000,00	Rp 18.817,55	Rp 9.000,00	45		45		35	10	45		45		45			45		45		45
Total Biaya	Rp 2.091.818,00																				
Rp 200.000,00	Rp 2.087.500,00	Rp 54.530,17	Rp 10.000,00	45		45				45		45			45	5	40	5	40	35	10
Total Biaya	Rp 2.152.030,00																				
Rp 1.000.000,00	Rp 2.087.500,00	Rp 272.642,20	Rp 10.000,00	45		45				45		45			45	5	40	5	40	35	
Total Biaya	Rp 2.370.142,00																				
Rp 2.000.000,00	Rp 2.129.000,00	Rp 545.281,50	Rp 9.500,00	45		45				45		45			45		45		45	35	10
Total Biaya	Rp 2.683.781,00																				

Lanjutan Tabel 5.2

A	Kasus 3																				
	Biaya Manufaktur	Biaya Kerugian Kualitas	Biaya Keterlambatan	Alokasi																	
				Komponen 1						Komponen 2					Komponen 3						
				M11	M12	M21	M22	M31	M32	M11	M12	M21	M22	M31	M32	M11	M12	M21	M22	M31	M32
Rp 50.000,00	Rp 2.967.000,00	Rp 8.497,68	Rp 12.600,00		45	30	15		45	45		30	15	45		45		45			45
Total Biaya	Rp 2.988.098,00																				
Rp 200.000,00	Rp 2.874.500,00	Rp 48.769,84	Rp 12.000,00	45		30	15		45		45	30	15	35	10	45		45			45
Total Biaya	Rp 2.935.270,00																				
Rp 1.000.000,00	Rp 2.967.000,00	Rp 169.921,70	Rp 34.200,00		45	30	15		45	45		30	15	45		45		45			45
Total Biaya	Rp 3.171.122,00																				
Rp 2.000.000,00	Rp 2.899.500,00	Rp 487.681,60	Rp 12.600,00	45		30	15		45		45	30	15	45		45		45			45
Total Biaya	Rp 3.399.782,00																				

A	Kasus 4																					
	Biaya Manufaktur	Biaya Kerugian Kualitas	Biaya Keterlambatan	Alokasi																		
				Komponen 1						Komponen 2					Komponen 3							
				M11	M12	M21	M22	M31	M32	M11	M12	M21	M22	M31	M32	M11	M12	M21	M22	M31	M32	
Rp 50.000,00	Rp 2.857.500,00	Rp 17.280,57	Rp 27.600,00	45		30	15		45		45	30	15	45		45		45			35	10
Total Biaya	Rp 2.902.381,00																					
Rp 200.000,00	Rp 2.899.500,00	Rp 69.120,50	Rp 27.600,00	45		30	15		45		45	30	15	45		45		45			45	
Total Biaya	Rp 2.996.220,00																					
Rp 1.000.000,00	Rp 2.981.500,00	Rp 304.640,60	Rp 25.800,00	45		40	5	45			45	40	5	35	10	25	20	25	20			45
Total Biaya	Rp 3.311.941,00																					
Rp 2.000.000,00	Rp 3.017.000,00	Rp 545.280,00	Rp 23.600,00	45		45		45		45		45		35	10		45		45			45
Total Biaya	Rp 3.585.880,00																					

Keterangan :

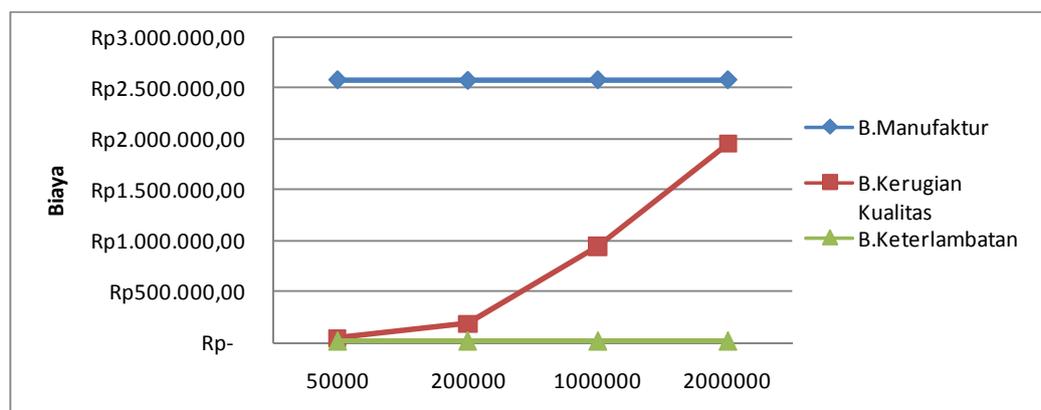
A : Biaya kerugian kualitas

M11 : Mesin 1 tipe 1

Mesin M11 dan M21 terpilih walaupun memiliki toleransi yang lebih longgar dibanding toleransi M12 dan M22, akan tetapi biaya manufaktur yang dihasilkan dapat lebih rendah dibandingkan kondisi sebelumnya. Hal ini dapat terjadi karena model berusaha untuk menyeimbangkan antara biaya manufaktur dan biaya kerugian kualitas.

Proses terpilih berubah kembali ketika biaya kerugian kualitas naik menjadi 10 kali lipat kondisi awal. Perbedaan yang terjadi pada komponen 3, dimana pada kondisi ini proses yang terpilih untuk komponen 3 adalah M12-M22-M31-M32. Hal ini dikarenakan ketika terjadi kenaikan  $A$  yang tinggi, maka proses yang terpilih adalah proses yang mempunyai toleransi lebih ketat. Sedangkan biaya keterlambatan cenderung tidak mengalami perubahan seiring perubahan  $A$ . Hal ini dikarenakan, biaya penalti yang ditentukan untuk setiap satuan waktu rendah, sehingga apabila ada perubahan proses terpilih tidak berdampak terlalu signifikan terhadap biaya keterlambatan.

Perubahan biaya kerugian kualitas juga berpengaruh terhadap konsekuensi biaya yang terjadi akibat pemilihan proses. Ketika  $A = \text{Rp } 50.000$  diubah 400% dari kondisi tersebut, biaya kerugian kualitas mengalami kenaikan sebesar hampir 300% dan biaya keterlambatan mengalami kenaikan sebesar 11%. Sedangkan biaya manufaktur mengalami penurunan sebesar 0,23%. Ini dikarenakan adanya perubahan terhadap proses terpilih dan alokasi komponen. Akan tetapi total biaya yang dihasilkan meningkat dari Rp 2.630.920 menjadi Rp 2.695.088.



**Gambar 5.1 Pengaruh  $A$  Terhadap Komponen Biaya Pada Kasus 1**

Ketika biaya kerugian kualitas ditingkatkan menjadi 10 kali lipat dan 20 kali lipat dari kondisi awal, proses yang terpilih sama dengan kondisi ketika  $A = \text{Rp}$

50.000. Namun, terjadi perubahan terhadap biaya kerugian kualitas yang dihasilkan. Pada kondisi  $A = \text{Rp } 1.000.000$  biaya kerugian kualitas sebesar Rp 943.361,80. Sedangkan pada kondisi  $A = \text{Rp } 2.000.000$  biaya kerugian kualitas sebesar Rp 1.950.722. Kenaikan biaya kerugian kualitas disebabkan karena adanya kenaikan  $A$ . Kenaikan  $A$  tidak menyebabkan model memilih semua proses yang menghasilkan toleransi ketat. Apabila model memilih semua proses yang menghasilkan toleransi ketat, maka biaya manufaktur akan cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan hasil yang didapatkan dari proses komputasi. Biaya manufaktur dan biaya keterlambatan pada kedua kondisi tidak mengalami perubahan. Hal ini dikarenakan model berusaha untuk menyeimbangkan antara ketiga komponen biaya tersebut.

## 5.2 ANALISIS TOLERANSI

Perubahan nilai  $A$  yang pertama adalah nilai  $A$  sebesar Rp 50.000. Pada kasus 1, proses yang terpilih mengalami perubahan. Penurunan  $A$  menyebabkan beberapa proses yang terpilih adalah proses yang mempunyai toleransi yang lebih longgar. Pada kondisi awal untuk komponen 2 mesin 3, mesin yang terpilih adalah tipe 2, dimana toleransi yang dihasilkan sebesar 0,05 mm. Pada kasus 1, saat  $A$  turun, maka proses yang terpilih untuk komponen 2 mesin 3 adalah tipe 1 dengan toleransi sebesar 0,1 mm. Sedangkan pada komponen 1 yang beberapa prosesnya berubah toleransinya, hanya mengalami perubahan pada mesin 3. Hal ini dikarenakan perubahan toleransi diikuti dengan perubahan biaya manufaktur. Sehingga model lebih memilih proses yang memberikan biaya manufaktur lebih minimal.

Pada kasus 4, ketika toleransi komponen 2 dan 3 diketatkan dua kali lipat dari kondisi awal, perubahan terjadi pada proses yang terpilih. Sebagian besar tipe mesin yang terpilih adalah yang menghasilkan toleransi lebih longgar dibanding tipe lainnya. Penurunan  $A$  menyebabkan model memilih proses dengan toleransi lebih longgar dan biaya manufaktur yang lebih rendah.

Kenaikan nilai  $A$  dari Rp 100.000 menjadi Rp 200.000 mengakibatkan perubahan toleransi pada komponen 1 (kasus 1) dan mengubah proses terpilih. Kenaikan nilai  $A$  menyebabkan mesin 3, tipe 2 untuk komponen 1 terpilih karena

menghasilkan toleransi yang lebih ketat yaitu 0,09 mm dibanding tipe 2 dengan toleransi sebesar 0,14 mm.

Beberapa alokasi pada kasus 3 mengalami perubahan dikarenakan adanya kenaikan biaya kerugian kualitas dan perubahan toleransi pada semua mesin tipe 2. Beberapa proses yang awalnya menggunakan mesin tipe 1 beralih ke mesin tipe 2 dikarenakan menghasilkan toleransi yang lebih ketat dengan biaya manufaktur yang tetap. Seperti yang terlihat pada komponen 1 mesin 3. Pada kondisi awal digunakan tipe 1 untuk memproses 45 komponen, sedangkan pada kasus 3 digunakan tipe 2 untuk memproses semua komponen. Hal ini disebabkan toleransi tipe 2 mengalami perubahan dari 0,09 mm menjadi 0,045 mm dengan biaya manufaktur yang lebih rendah dibanding tipe 1 yaitu sebesar Rp 6.500.

Pada kasus 4, perubahan terlihat pada toleransi yang diubah untuk komponen 2 dan 3. Toleransi yang lebih ketat dibanding kondisi awal, mempengaruhi model untuk memilih mesin dengan toleransi yang tidak menghasilkan kerugian kualitas yang besar dan biaya manufaktur yang rendah. Pada semua kasus kenaikan  $A$  akan meningkatkan biaya kerugian kualitas.

Saat  $A = 1.000.000$  biaya kerugian kualitas pada kasus 1 sebesar Rp 943.361,80. Besarnya biaya ini dipengaruhi oleh beberapa mesin yang terpilih menghasilkan toleransi yang longgar. Namun disisi lain, mesin dengan toleransi longgar menghasilkan biaya manufaktur yang rendah. Sehingga mesin-mesin tersebut terpilih, karena memberikan total biaya yang minimal.

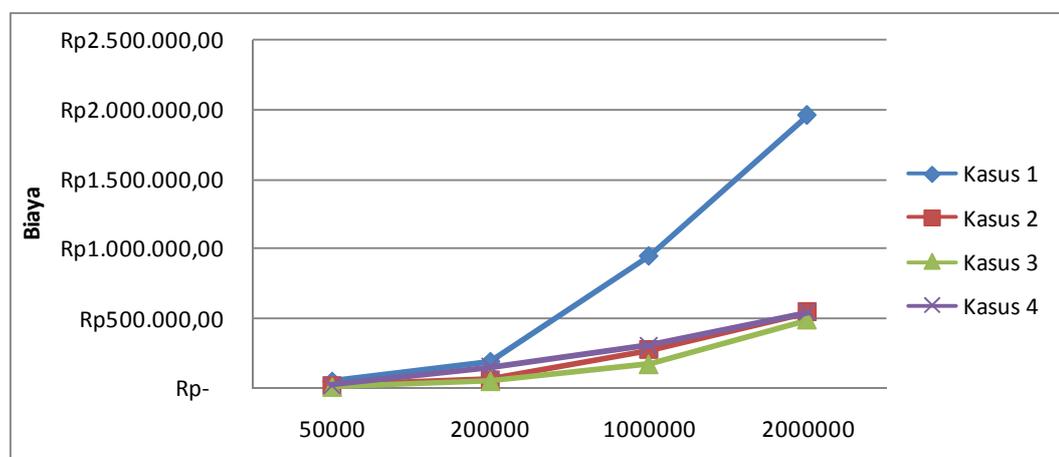
Sementara pada kasus 3, kenaikan  $A$  mempengaruhi model untuk memilih mesin dengan toleransi yang lebih ketat. Seperti pada komponen 1 mesin 1, pada kondisi awal terpilih tipe 1 dengan toleransi sebesar 0,08. Pada kasus 3, terpilih tipe 2 dengan toleransi sebesar 0,025. Sedangkan pada kasus 4, perubahan terlihat pada toleransi yang diubah untuk komponen 2 dan 3. Toleransi yang lebih ketat dibanding kondisi awal, mempengaruhi model untuk memilih mesin dengan toleransi yang tidak menghasilkan kerugian kualitas yang besar dan biaya manufaktur yang rendah. Seperti pada komponen 3 di mesin 3, tipe 1 dan 2 menghasilkan toleransi sebesar 0,04 dan 0,025 mm. Mesin yang terpilih adalah mesin yang menghasilkan toleransi lebih ketat yaitu tipe 2 dengan alokasi sebesar

*commit to user*

45 komponen. Walaupun biaya manufaktur yang dihasilkan lebih besar, tetapi selisih antara tipe 1 dan 2 tidak terlalu besar yaitu Rp 1.200.

Kenaikan biaya kerugian kualitas menjadi Rp 2.000.000 mengharuskan model untuk memilih mesin dengan toleransi yang dihasilkan lebih ketat. Pada kasus 1 hal tersebut terlihat pada komponen 1 di mesin 3. Ketika  $A$  naik dan toleransi tipe 1 dilonggarkan menjadi 2 kali lipat lebih besar dari kondisi awal, terpilih mesin 3 tipe 2 yang memiliki toleransi sebesar 0,09 mm. Tipe 2 tetap terpilih walaupun menghasilkan biaya manufaktur yang lebih besar dari tipe 1. Hal ini dikarenakan selisih biaya manufaktur lebih kecil dibanding selisih biaya kerugian kualitas.

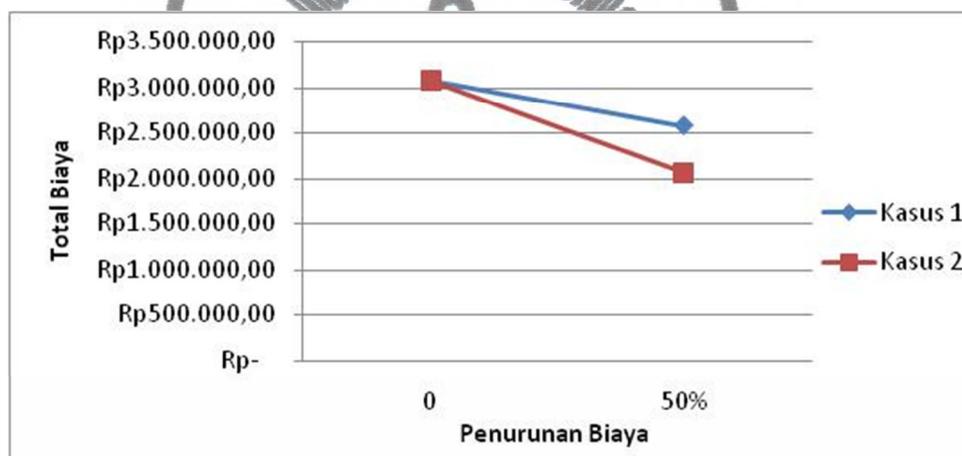
Pada kasus 3, mesin yang terpilih adalah mesin yang menghasilkan toleransi yang lebih ketat dibandingkan tipe lainnya. Sama halnya seperti kasus sebelumnya, kenaikan  $A$  akan mempengaruhi model untuk memilih mesin dengan toleransi yang lebih ketat. Biaya kerugian kualitas yang dihasilkan pada kasus ini sebesar Rp 487.682. Pada kasus 4, perubahan mesin terpilih terjadi pada toleransi yang diubah yaitu pada komponen 2 dan 3. Sebagian besar mesin yang terpilih adalah mesin yang menghasilkan toleransi ketat seperti pada komponen 2 mesin 1, dimana tipe 1 dengan toleransi sebesar 0,035 mm lebih dipilih daripada tipe 2 dengan toleransi sebesar 0,045 mm. Sementara pada mesin 2 komponen 2, terpilih tipe 1 dengan toleransi yang lebih longgar dibanding tipe 2 yaitu sebesar 0,04 mm. Selisih biaya manufaktur yang lebih kecil dibanding selisih biaya kerugian kualitas mempengaruhi model untuk lebih memilih tipe 1. Grafik perubahan nilai  $A$  terhadap perubahan biaya kerugian kualitas digambarkan dalam Gambar 5.2.



*commit to user*  
**Gambar 5.2** Grafik perubahan  $A$  terhadap biaya kerugian kualitas

### 5.3 ANALISIS BIAYA MANUFAKTUR

Biaya manufaktur pada kasus 1 dan 2 mengalami penurunan pada komponen-komponen tertentu. Penurunan tersebut mempengaruhi penurunan terhadap total biaya manufaktur yang dihasilkan. Pada kasus 1, mesin yang terpilih adalah mesin yang menghasilkan biaya manufaktur yang rendah terutama pada komponen 1. Sehingga menimbulkan penurunan terhadap total biaya manufaktur yang dihasilkan. Sedangkan pada kasus 2, penurunan total biaya manufaktur juga disebabkan karena semua mesin tipe 2 menghasilkan biaya manufaktur setengah kali lebih murah dibanding kondisi awal. Hal ini yang dapat mempengaruhi penurunan total biaya manufaktur. Grafik perubahan biaya manufaktur terhadap total biaya manufaktur disajikan pada Gambar 5.3.



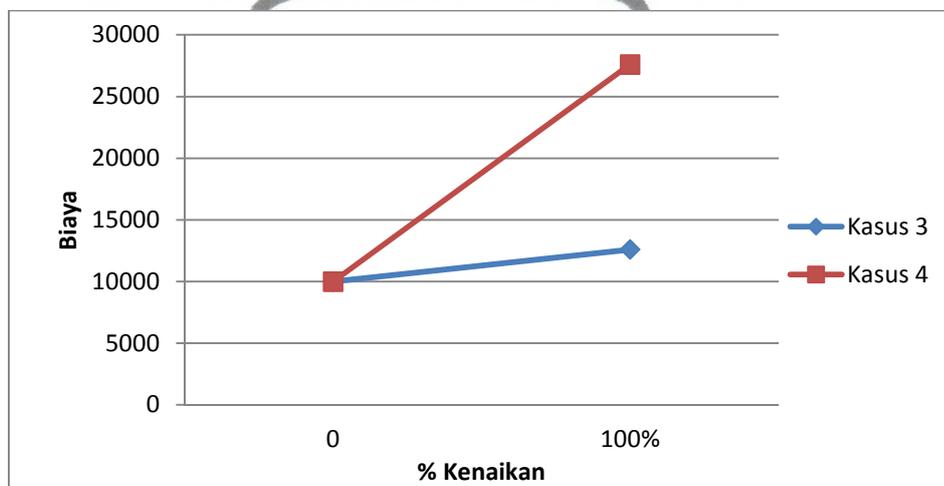
**Gambar 5.3** Grafik perubahan biaya manufaktur terhadap total biaya manufaktur

### 5.4 ANALISIS WAKTU PROSES

Kenaikan waktu proses menjadi dua kali lebih lama dibanding kondisi awal (kasus 3) mempengaruhi biaya keterlambatan yang terjadi. Kenaikan waktu proses menyebabkan kenaikan biaya keterlambatan yang dihasilkan. Pada kasus 3, sebagian besar mesin yang terpilih adalah mesin yang menghasilkan toleransi ketat dan waktu proses yang lebih lama. Akibatnya, keterlambatan waktu meningkat dan memperbesar biaya keterlambatan yang terjadi. Mesin yang menghasilkan waktu proses lebih cepat dibanding mesin lainnya tidak selalu terpilih untuk memproses komponen.

*commit to user*

Pada komponen 3 di kasus 4, mesin 3 tipe 1 menghasilkan waktu proses sebesar 22 menit, sedangkan tipe 2 menghasilkan waktu proses selama 30 menit. Mesin yang terpilih adalah mesin 3 tipe 2. Hal ini dapat disebabkan karena pengaruh dari biaya manufaktur dan biaya kerugian kualitas yang bernilai lebih besar dibanding biaya keterlambatan. Sehingga model tetap memilih mesin yang menghasilkan waktu proses lebih lama tetapi lebih memberikan biaya manufaktur dan kerugian kualitas yang lebih minimal. Gambar 5.4 menunjukkan perubahan waktu proses terhadap biaya keterlambatan. Pada gambar tersebut terlihat bahwa kenaikan waktu proses diikuti oleh kenaikan biaya keterlambatan.



**Gambar 5.4** Grafik perubahan waktu proses terhadap biaya keterlambatan

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 KESIMPULAN

1. Model yang dikembangkan dalam penelitian dapat digunakan untuk memilih proses dengan tujuan meminimalkan total biaya yang terdiri dari biaya manufaktur, kerugian kualitas dan keterlambatan dengan mempertimbangkan kapasitas, pesanan konsumen, dan urutan proses produksi.
2. Peningkatan biaya kerugian kualitas ( $A$ ) akan meningkatkan total biaya kerugian kualitas dan model akan cenderung memilih proses yang menghasilkan toleransi yang lebih ketat.
3. Perubahan waktu proses berdampak pada biaya keterlambatan yang dihasilkan. Semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk memproses komponen, maka semakin besar pula biaya keterlambatan yang dihasilkan.

#### 6.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini untuk penelitian selanjutnya adalah penelitian selanjutnya diharapkan dapat meminimalkan biaya *lateness* dan biaya *tardiness* dengan cara melakukan penjadwalan produksi.