

## MODEL INTEGRASI *DESIGN* DAN PROSES MANUFAKTUR PADA PERAKITAN PRODUK MULTI-PEMASOK

*Budi Susanto, MK Herliansyah, dan Alva Edy Tontowi*

Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Email: Susantobudi1810@ymail.com

### ABSTRACT

*In Product design process, aspects related to the manufacturing process and supply chain should be considered. The design is produced not only satisfy for consumers needs but it fulfilled the constraints related to manufacturing and supply chain aspects. This research aims to make a model to determine the cheapest product design from both of manufacturing process and supply chain. This research uses binary programming as an approach. The cost aspects used in this research are component's manufacturing cost, supplier fixed contact cost, assembly operation cost and quality improvement cost. The result of research, a physical product design with the lowest total cost by combining components from several designs and adding the value constraint on the quality specification.*

**Keywords:** *Process Selection, Supplier Fixed Contact Cost and Quality Improvement Cost.*

### ABSTRAK

Pada proses perancangan produk, aspek-aspek yang terkait dengan proses manufaktur dan rantai pasok harus dipertimbangkan. Rancangan yang dihasilkan bukan hanya dapat memenuhi kebutuhan konsumen namun juga memenuhi batasan-batasan yang terkait dengan aspek manufaktur dan rantai pasok. Model pemilihan rancangan produk pada penelitian ini bertujuan untuk memilih satu rancangan komponen pada setiap set alternatif rancangan yang dimiliki oleh tiap-tiap komponen sehingga menghasilkan sebuah rancangan produk yang biaya manufakturnya paling murah. Metode pemecahan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah *binary integer linear programming*. Model dapat bekerja untuk memilih komponen dengan kriteria performansi biaya manufaktur/pembelian, biaya pelibatan pemasok/subkontraktor, biaya perakitan, dan biaya kerugian kualitas. Solusi yang dihasilkan model berupa sebuah rancangan produk dengan kombinasi rancangan komponen dan kombinasi pemasok/subkontraktor yang memberikan biaya total terendah.

**Kata Kunci:** *Pemilihan Rancangan Produk, Biaya Pelibatan Pemasok, Biaya Kualitas*

## PENGANTAR

*Concurrent engineering* (CE) atau Rekayasa Simultan merupakan suatu pendekatan sistematis yang diterapkan pada proses perancangan produk dengan cara mengintegrasikan berbagai aspek yang berperan dalam siklus hidup produk seperti aspek manufaktur, rantai pasok, kualitas. Pendekatan CE juga mempertimbangkan pada proses eliminasi terhadap kegiatan-kegiatan yang bersifat *non-added value*. *Concurrent engineering* (CE) adalah sebuah gagasan yang ditujukan untuk menutup kelemahan pada konsep serial dari proses perancangan (Gunasekaran, 1998). Konsep CE memungkinkan keputusan yang berkaitan dengan perancangan produk dan proses produksi sedapat mungkin dibuat secara paralel dan pertimbangan-pertimbangan produksi dapat diakomodasikan ke dalam tahapan awal pada proses desain (Fine, et.al. 2005). Penerapan dari konsep CE dilaporkan mampu menurunkan 30-60% waktu untuk penetrasi pasar, 15-50% biaya siklus hidup produk dan 55-95% permintaan untuk perubahan teknis (Bopana dan Chon Huat, 1997). Penelitian awal yang terkait dengan konsep 3D-CE dilakukan oleh Feng, et al. (2001).

Menurut Feng, et.al (2001) dalam penelitiannya bahwa mengembangkan sebuah model untuk menentukan toleransi dari dimensi-dimensi yang terdapat pada rancangan produk dengan multi komponen. Tidak hanya itu, pada model Feng, et.al (2001) juga mampu menentukan subkontraktor yang akan dilibatkan dalam pembuatan produk berdasarkan biaya manufaktur dan biaya kerugian kualitas. Akan tetapi, model Feng, et al. (2001) belum mampu memilih rancangan komponen yang memberikan biaya termurah.

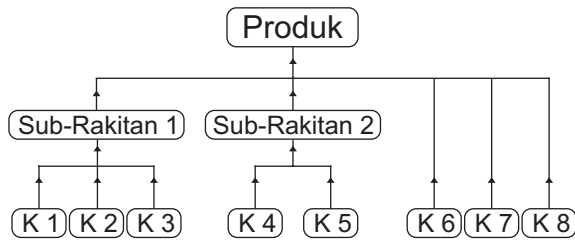
Sedangkan Fine, et.al (2005) dalam penelitiannya membangun sebuah model untuk pemilihan rancangan produk. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Fine, et. al (2005) diusulkan sebuah pendekatan untuk mengevaluasi berbagai tradeoff yang terjadi pada proses pengembangan produk. Model

yang dikembangkan penelitian ini bertujuan untuk memilih sebuah konfigurasi yang terdiri atas rancangan produk, urutan proses perakitan dan rancangan sistem rantai pasok dari sejumlah alternatif konfigurasi yang tersedia. Model yang dihasilkan Fine, et.al (2005) belum dapat menghasilkan sebuah konsep rancangan fisik produk baru melainkan hanya memilih dari sejumlah alternatif rancangan yang tersedia dan belum memperhitungkan penentuan nilai toleransi kualitas rancangan produk. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian yang menjembatani *gap* antara penelitian perancangan proses (*design process*) dengan penelitian perbaikan kualitas yang menghasilkan model pemilihan komponen produk sehingga dihasilkan sebuah rancangan produk baru yang biaya manufakturnya murah juga mempertimbangkan faktor kontinuitas pasokan komponen dengan cara memberikan nilai bobot pada biaya manufaktur komponen (Rizkianda, 2009).

## Pengembangan Model Model Konseptual

Model umum pada penelitian ini adalah model biaya produksi. Parameter biaya yang digunakan pada penelitian ini adalah biaya manufaktur (Rizkianda, 2009), biaya pelibatan pemasok (Fine, et.al 2005), biaya perakitan komponen dan biaya kualitas (Irianto dan Rachmat, 2008). Susunan struktur rancangan produk dibuat berdasarkan bentuk arsitektur produk. Pada langkah ini dilakukan proses identifikasi komponen-komponen dasar produk dan dibuatkan skema yang menjelaskan hubungan keterkaitan antar komponen. Skema hubungan keterkaitan antar-komponen merupakan representasi proses perakitan. Representasi proses perakitan berisi informasi karakteristik dari sebuah rencana perakitan. Akan tetapi, sebelum karakteristik rencana perakitan dianalisis, maka informasi produk dikumpulkan terlebih dahulu. Informasi produk dapat disajikan dalam bentuk grafik

yang berisi penjelasan tingkatan sebuah produk dari yang paling rendah, yaitu komponen sampai tingkat tertinggi produk akhir. Contoh informasi komponen dan sub-rakitan dari sebuah produk diperlihatkan pada Gambar 1.

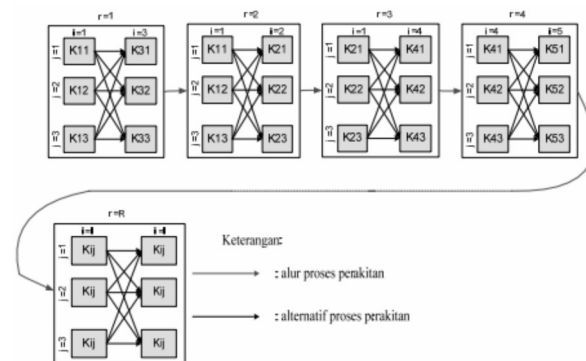


Gambar 1. Informasi Komponen dan sub-rakitan sebuah produk

Pada sistem perakitan, *input* tidak hanya berupa komponen atau sub-rakitan, tetapi dapat berupa gabungan keduanya (Marian, 2003). Setelah informasi produk telah disusun, maka karakteristik rencana perakitan diidentifikasi untuk menghasilkan representasi perakitan. Representasi perakitan terdiri dari penentuan karakteristik rencana perakitan, pencarian informasi mengenai gambaran komponen, dan operasi perakitannya (Informasi mengenai hubungan keutamaan antar-komponen). Keluaran dari tahap representasi perakitan ini merupakan *input* untuk tahap selanjutnya (tahap penentuan urutan perakitan) dari perencanaan perakitan.

*Liason graph* berisi informasi hubungan keterkaitan antar-komponen yang disajikan dalam bentuk grafik. Garis yang menghubungkan dua komponen menunjukkan bahwa kedua *part* tersebut berhubungan. *Incidence Matrix* memberikan informasi yang sama dengan *Liason graph*, tetapi disajikan dalam bentuk matrik. Angka 1 menunjukkan adanya hubungan antar-komponen sedangkan angka 0 menunjukkan tidak ada hubungan antar-komponen. Sedangkan *Assembly Precedence Diagram* (APD) adalah skema yang digunakan untuk menunjukkan hubungan keutamaan antar-proses perakitan.

Urutan proses merakit produk yang diperoleh dari penggambaran skema produk dijadikan input untuk perhitungan pada model. Penentuan urutan perakitan dibuat berdasarkan hubungan keterkaitan dan hubungan keutamaan antar-komponen dalam produk bukan berdasarkan urutan perakitan yang memberikan nilai biaya termurah atau waktu terpendek. Dengan demikian, ilustrasi struktur rancangan produk contoh pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi struktur rancangan produk contoh

Ilustrasi struktur rancangan produk contoh pada Gambar 2, dapat terlihat beberapa alternatif rancangan produk yang dapat dihasilkan. Gambar 2 menunjukkan bahwa produk contoh memiliki proses rakitan sejumlah  $R$ , pada setiap proses perakitan  $r$  terdapat alternatif proses  $u$  sejumlah  $U$ . Jumlah komponen pada produk dinyatakan dengan indeks  $I$  sedangkan jumlah alternatif rancangan komponen produk dinyatakan dengan indeks  $J$ .

#### Indeks

- $i$  : komponen,  $i = (1, 2, \dots, I)$
- $j$  : alternatif rancangan,  $j = (1, 2, \dots, J)$
- $s$  : pemasok/pabrik manufaktur,  $s = (0, 1, 2, \dots, S)$
- $r$  : proses/kegiatan perakitan komponen,  $r = (1, 2, 3, \dots, R)$
- $u$  : alternatif proses/kegiatan perakitan komponen,  $u = (1, 2, 3, \dots, U)$

**Parameter**

- $bp_{ijs}$  : biaya produksi komponen  $i$  rancangan ke- $j$  yang ditanggung pemasok/pabrik manufaktur  $s$ .
- $P_{is}$  : biaya yang berkaitan dengan upaya pelibatan pemasok/pabrik manufaktur  $s$  dalam pengadaan komponen  $i$  (Fine, et.al 2005).
- $P_{ijs}(t_0)$  : biaya manufaktur/harga komponen  $i$  rancangan ke- $j$  pada pemasok/pabrik manufaktur  $s$  pada saat  $t_0$ .
- $P_{ijs}(t)$  : biaya manufaktur/harga komponen  $i$  rancangan ke- $j$  pada pemasok/pabrik manufaktur  $s$  pada saat sekarang.
- $P_{rju}$  : biaya proses perakitan  $r$  rancangan komponen ke- $j$  pada alternatif proses  $u$ .
- $Tk_{ijs}$  : prediksi lama kontinuitas pasokan komponen  $i$  rancangan ke- $j$  dari pemasok  $s$
- $Tp$  : rencana masa produksi yang ditetapkan oleh perusahaan
- $Wp_{ijs}$  : biaya berbobot untuk proses manufaktur/pembelian komponen  $i$  rancangan ke- $j$  pada pemasok/pabrik manufaktur  $s$ . (Rizkianda, 2009)
- $QL_{ijs}$  : biaya kualitas (Irianto dan Rahmat, 2009)

**Variabel**

- $x_{ijs}$  : variabel biner yang mewakili komponen  $i$  rancangan ke- $j$  dari pemasok/pabrik manufaktur  $s$ .
- $y_{is}$  : variabel biner yang mewakili keterlibatan pemasok/pabrik manufaktur  $s$  dalam pengadaan komponen  $i$ .
- $a_{rju}$  : variabel biner yang mewakili proses perakitan  $r$  rancangan komponen ke- $j$  dengan pilihan alternatif ke- $u$ .

**Model Dasar dan Fungsi Tujuan**

Fungsi tujuan dari model adalah minimasi biaya produksi total yaitu biaya manufaktur, biaya pelibatan pemasok, biaya perakitan, dan biaya kualitas.

Biaya manufaktur/pembelian komponen  $M(x_{ijs})$  merupakan biaya yang diperlukan untuk membuat/membeli komponen dari pemasok atau pabrik manufaktur. Jadi dalam biaya

ini sudah termasuk biaya transportasi dari pemasok/pabrik manufaktur ke perusahaan, biaya material serta biaya produksi, dan keuntungan pemasok/pabrik manufaktur.

$$M(x_{ijs}) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{s=0}^S w_{pijs} x_{ijs} \tag{1}$$

Dari Persamaan (1), terlihat bahwa biaya manufaktur/pembelian komponen merupakan perkalian antara biaya berbobot manufaktur/pembelian komponen  $i$  rancangan ke- $j$  pada pabrik manufaktur/pemasok  $s$  dengan variabel biner yang mewakilinya. Untuk mempertimbangkan aspek kontinuitas pasokan khususnya untuk komponen-komponen yang dibeli dari pemasok (bukan dibuat *in-house* atau dipesan khusus kepada subkontraktor) maka dalam menentukan nilai  $Wp_{ijs}$  diberikan nilai bobot yang mencerminkan aspek kontinuitas (Rizkianda, 2009). Nilai bobot yang diberikan merupakan perbandingan antara rencana masa produksi ( $Tp$ ) dengan prediksi sisa waktu sebelum komponen  $i$  rancangan ke- $j$  dihentikan produksinya oleh pemasok/pabrik manufaktur  $s$  ( $Tk_{ijs}$ ). Sehingga nilai  $p_{ijs}$  dihasilkan melalui Persamaan (2):

$$w_{pijs} = \begin{cases} \left(\frac{Tp}{Tk_{ijs}}\right) p_{ijs}(t); & Tp > Tk_{ijs} \\ p_{ijs}(t); & Tp \leq Tk_{ijs} \end{cases} \tag{2}$$

Biaya pelibatan pemasok/pabrik manufaktur sub-kontraktor  $F(y_{is})$  adalah biaya yang dikeluarkan untuk melibatkan pemasok/pabrik manufaktur subkontraktor  $s$  ke dalam sistem manufaktur. Model pada penelitian ini biaya pelibatan pemasok/pabrik manufaktur subkontraktor dibedakan berdasarkan komponen sehingga dinotasikan sebagai  $P_{is}$ . Sehingga nilai  $F(y_{is})$  dapat ditulis seperti dalam Persamaan (3):

$$F(y_{is}) = \sum_{i=1}^I \sum_{s=0}^S p_{is} y_{is} \tag{3}$$

Dari persamaan (3), dapat diketahui bahwa nilai  $F(y_{is})$  merupakan perkalian dari biaya pelibatan pemasok/sub-kontraktor  $s$  untuk pengadaan komponen  $i$  dengan

variabel biner yang mewakilinya. Variabel biner tersebut mewakili terpilihnya biaya pelibatan pemasok/sub-kontraktor  $s$  dalam pengadaan komponen  $i$  seiring terpilihnya pemasok/sub-kontraktor  $s$  pada pemilihan rancangan komponen.

Biaya perakitan komponen merupakan biaya langsung (*direct cost*) yang ditanggung perusahaan untuk merakit komponen menjadi produk jadi. Model ini biaya perakitan dinotasikan sebagai  $R(a_{rju})$ .

$$R(a_{rju}) = \sum_{r=1}^R \sum_{j=0}^J \sum_{u=0}^U p_{rju} a_{rju} \quad (4)$$

Dari Persamaan (4), diketahui bahwa biaya perakitan produk merupakan jumlah biaya proses perakitan komponen. Variabel  $a_{rju}$  merupakan variabel keputusan yang mewakili proses perakitan  $r$  rancangan ke- $j$  alternatif ke- $u$ . Indeks  $r$  mewakili urutan proses perakitan dan indeks  $u$  mewakili alternatif proses pada tiap tahapan perakitan.

Ongkos kerugian kualitas yang dipilih adalah ongkos yang paling minimum di antara alternatif yang ada pada setiap komponen ke- $i$  dari setiap alternatif proses ke- $j$  pada pemasok ke- $s$ . Pemilihan dilakukan dengan memasukkan variabel keputusan  $x_{ijs}$  pada fungsi ongkos kerugian kualitas pada Persamaan (5):

$$QL_{ijs} = A_p \left( \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{s=0}^S \left( \frac{\partial y}{\partial x_1} \Big|_{\pi_1} \right)^2 \left( \frac{t_{ijs}}{3} \right)^2 \right) \cdot x_{ijs} \quad (5)$$

Sehingga rumusan fungsi tujuan dapat diringkas sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Min } TC = & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{s=0}^S w_{pjis} x_{ijs} + \sum_{i=1}^I \sum_{s=0}^S p_{is} y_{is} \\ & + \sum_{r=1}^R \sum_{j=0}^J \sum_{u=0}^U p_{rju} a_{rju} + A_p \left( \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{s=0}^S \left( \frac{\partial y}{\partial x_1} \Big|_{\pi_1} \right)^2 \left( \frac{t_{ijs}}{3} \right)^2 \right) \cdot x_{ijs} \quad (6) \end{aligned}$$

### Kendala

Untuk lebih memfokuskan penelitian ini, maka diambil sejumlah batasan masalah sebagai berikut: *pertama*, Penelitian dilakukan dalam lingkup perancangan proses (*process design*), yaitu menentukan proses manufaktur yang dapat membuat produk dalam batas-batas toleransi yang ditentukan pada

ongkos yang minimum. *Kedua*, Parameter yang digunakan penelitian ini adalah biaya manufaktur komponen, biaya pelibatan pemasok/subkontraktor, biaya operasi perakitan komponen, biaya kualitas. *Ketiga*, Toleransi yang diperhitungkan adalah toleransi dimensi yang bersifat bilateral, yaitu besarnya toleransi pada dua sisi bernilai sama. *Keempat*, Sifat karakteristik kualitas adalah *nominal is the best*, yaitu nilai target karakteristik kualitas yang terbaik tepat berada di tengah dan nilai sesungguhnya berkurang ke arah dua sisi secara kuadrat.

Fungsi pembatas yang digunakan pada model ini antara lain:

1. Fungsi pembatas untuk memastikan hanya ada satu rancangan komponen yang terpilih:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S x_{ijs} = 0, \quad \forall i, x_{ijs} = \{0\} \quad (7)$$

2. Fungsi pembatas untuk memastikan bahwa tiap-tiap komponen dipasok oleh satu pemasok/pabrik manufaktur sub-kontraktor:

$$\sum_{s=0}^S y_{is} = 1, \quad \forall i, y_{is} = \{0,1\} \quad (8)$$

3. Fungsi pembatas untuk memastikan bahwa hanya satu alternatif proses yang terpilih pada tiap-tiap tahapan proses perakitan:

$$\sum_{u=1}^U a_{rju} = 1, \quad \forall r, \forall j, a_{rju} = \{0,1\} \quad (9)$$

4. Fungsi pembatas untuk memastikan bahwa hanya ada satu pemasok/pabrik manufaktur/sub-kontraktor yang akan memasok tiap-tiap rancangan komponen:

$$\begin{aligned} \sum_{s=0}^S x_{ijs} - \sum_{s=0}^S y_{is} &= 0, \quad \forall i, \forall j, x_{ijs} \\ &= \{0,1\}, y_{is} = \{0,1\} \quad (10) \end{aligned}$$

5. Fungsi pembatas untuk memastikan proses logika urutan perakitan sesuai dengan alternatif proses yang dipilih:

$$\sum_{r=2}^R \sum_{u=1}^U a_{rju} - \sum_{r=1}^{R-1} \sum_{j=1}^J a_{rju} = 0, \quad a_{rju} = \{0,1\} \quad \forall u, \forall j \quad (11)$$

6. Fungsi pembatas untuk memastikan proses perakitan akan merakit komponen yang terpilih:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{s=0}^S x_{ijs} - \sum_{r=1}^R \sum_{j=1}^J \sum_{u=1}^U a_{rju} = 0, x_{ijs} = \{0,1\} a_{rju} \quad (12)$$

$$\sum_{i=2}^I \sum_{j=1}^J \sum_{s=0}^S x_{ijs} - \sum_{r=1}^R \sum_{j=1}^J \sum_{u=1}^U a_{rju} = 0, x_{ijs} = \{0,1\} a_{rju} \quad (13)$$

7. Pembatas spesifikasi kualitas  
 Nilai toleransi kualitas produk akhir dari skenario rancangan proses, dengan memperhatikan  $C_p = 1$  diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_y^2 \sum_{i=2}^I \sum_{j=1}^J \left( \frac{\partial y}{\partial x_{1, \tau_{xi}}} \right)^2 \left( \frac{t_{ij}}{3} \right)^2 \cdot x_{ij} \quad (14)$$

Turunan parsial  $\frac{\partial y}{\partial x_{1, \tau_{xi}}}$  pada Persamaan (14), menunjukkan sensitivitas karakteristik kualitas produk akhir (Y) terhadap karakteristik kualitas individu yang dihasilkan pada setiap tahapan proses ke-i (Xi). Nilai turunan parsial tersebut dapat diperoleh dengan memasukkan nilai nominal target kualitas masing tahapan proses ke-i ( $t_{xi}$ ). Hasil turunan parsial ini akan bernilai konstan pada produk yang mempunyai rantai toleransi linier dan tidak konstan pada produk dengan rantai toleransi non-linier. Jika variansi  $\partial y = \frac{t_y}{3}$  maka toleransi  $t_y = \partial y \cdot 3$ , sehingga Persamaan (14) dapat ditulis menjadi Persamaan (15) sebagai berikut:

$$t_y^2 \sum_{i=2}^I \sum_{j=1}^J \left( \frac{\partial y}{\partial x_{1, \tau_{xi}}} \right)^2 \left( \frac{t_{ij}}{3} \right)^2 \cdot x_{ij} \quad (15)$$

Kualitas produk akhir dapat dikatakan memenuhi spesifikasi kualitas pesanan jika nilai toleransi kualitas produk akhir  $t_y$  lebih kecil dari nilai toleransi kualitas produk pesanan  $t_d$  atau  $t_y \leq t_d$  atau  $t_y^2 \leq t_d^2$ . Kondisi ini menjadi fungsi pembatas dalam model optimasi. Pembatas toleransi kualitas dapat dituliskan menjadi persamaan sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{s=0}^S \left( \frac{\partial y}{\partial x_{1, \tau_{xi}}} \right)^2 \left( \frac{t_{ijs}}{3} \right)^2 \cdot x_{ijs} < (t_d)^2 \quad (16)$$

## PEMBAHASAN Parameter Input

Parameter *input* yang digunakan pada penelitian ini dipergunakan untuk

menjalankan model matematis yang telah dilakukan. Untuk mendapatkan hasil optimal dari model persamaan matematis berupa persamaan algoritma diinputkan ke dalam suatu sistem perangkat lunak (*software*) Lindo 6.1. Parameter-parameter *input* yang dipergunakan pada model matematis ini adalah data komponen, data alternatif rancangan dari tiap-tiap komponen, dan data alternatif pemasok termasuk unit produksi sendiri, data biaya pelibatan pemasok untuk pengadaan komponen, data biaya perakitan untuk tiap-tiap tahapan proses perakitan, data spesifikasi toleransi setiap rancangan proses.

Pada penelitian ini, eksekusi model dilakukan dengan studi kasus terhadap produk contoh berupa produk *Universal Serial Bus (USB) flashdisk* (Rizkianda, 2009). Proses analisis dilakukan dengan mengubah-ubah parameter yang digunakan pada produk tersebut untuk mengetahui sejauhmana perubahan parameter akan mempengaruhi keputusan yang dihasilkan oleh model. Produk ini memiliki 6 buah komponen dan pada tiap-tiap komponen memiliki 3 alternatif rancangan. Tiap-tiap komponen memiliki 4 alternatif pemasok/sub-kontraktor termasuk unit produksi sendiri. Produk *USB flashdisk* ini memiliki 5 tahapan proses perakitan dan karena tiap-tiap rancangan komponen memiliki 3 alternatif rancangan, maka pada tiap-tiap tahapan proses perakitan memiliki 9 alternatif proses.

Tabel 1 Komponen USB *Flashdisk*

i	j	Nama Komponen	i	j	Nama Komponen
1	1	USB Jack	4	1	Memory 2GB
	2	dummy		2	Memory 4GB
	3	dummy		3	Memory 8GB
2	1	Circuit Board	5	1	Casing A
	2	dummy		2	Casing B
	3	dummy		3	Casing C
3	1	Controller	6	1	Tutup A
	2	dummy		2	Tutup B
	3	dummy		3	Tutup C

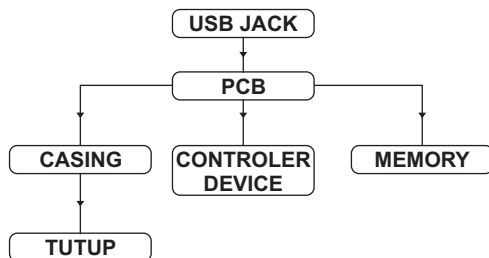
Dari Tabel 1, diketahui bahwa komponen 1, 2, dan 3 hanya memiliki sebuah alternatif rancangan karena menggunakan komponen standar. Guna mempermudah perhitungan ketiga komponen tersebut “dianggap” juga memiliki 3 alternatif rancangan, tetapi ketiga alternatif rancangan “dummy” tersebut akan memiliki parameter biaya yang sama. Sementara itu komponen 4,

5, dan 6 masing-masing memiliki 3 alternatif rancangan sehingga pada ketiga komponen inilah tergantung bentuk rancangan dan spesifikasi produk yang akan dihasilkan. Hubungan keterkaitan antar-komponen dalam produk USB *flashdisk* digambarkan dengan menggunakan *Liaison Graph* seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. *Liaison Graph* produk USB *flashdisk*

Urutan proses perakitan komponen-komponen pada produk USB *flashdisk* dibuat berdasarkan hubungan keutamaan antar-komponen. Untuk menggambarkan hubungan keutamaan antar-komponen produk digunakan skema *Assembly Precedence Diagram* (APD). Skema APD produk USB *flashdisk* disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema APD produk USB *flashdisk*

Berdasarkan skema APD seperti pada Gambar 2, produk USB *flashdisk* memiliki dua urutan perakitan yang layak. Alternatif 1 adalah (*USB Jack-Circuit Board, Circuit Board-Controller Chip, Circuit Board-Memory*

*Chip, Circuit Board-Casing, Casing-Tutup*) dan alternatif 2 adalah (*USB Jack-Circuit, Circuit Board-Memory Chip, Circuit Board-Controller Chip, Circuit Board-Casing, Casing-Tutup*). Urutan perakitan yang akan digunakan sebagai *input* pada model ditentukan secara acak berdasarkan alternatif urutan perakitan yang layak. Pada kasus ini urutan perakitan yang digunakan adalah alternatif 1.

Data yang digunakan pada contoh kasus produk USB *flashdisk* ini merupakan data hipotetik (Rizkianda, 2009). Data mengenai parameter harga komponen disajikan pada Tabel 2. Tabel 2 berisi data parameter harga komponen-komponen yang digunakan pada produk USB *flashdisk* untuk tiap-tiap rancangan pada masing-masing pemasok atau pabrik manufaktur sub-kontraktor. Data yang digunakan pada setiap komponen adalah  $P_{ijs}(t_0)$  yaitu harga komponen pada waktu  $t_0$ ,  $P_{ijs}(t)$  yaitu harga komponen pada waktu  $t$ . Sedangkan  $\Delta t$  merupakan lama periode waktu antara  $t_0$  sampai  $t(\Delta t = t - t_0)$ .

Tabel 2 harga komponen *flashdisk* (Rizkianda, 2009)

Komponen	Rancangan	Pemasok	biaya produksi		biaya transportasi	Profit	Pijs(t)	Pijs(t0)	?t	
			material	proses						
USB HEAD	1	0	M	M	M	M	M	M	3	
		1	1442,1	4326,1	1442,1	15481,5	24133,6	18131,9	3	
		2	1399,8	4199,3	1399,8	15027,7	23426,2	17600,4	3	
		3	1433,6	4300,7	1433,6	15390,8	23992,1	18025,6	3	
PCB	1	0	M	M	M	M	M	M	3	
		1	1031,5	3094,3	1031,5	16786,9	22975,4	17261,8	3	
		2	1001,2	3003,6	1001,2	16294,9	22302	16755,8	3	
		3	1025,4	3076,1	1025,4	16688,5	22840,7	17160,6	3	
Controller	1	0	M	M	M	M	M	M	3	
		1	1541,7	4624,9	1541,7	16633,6	25883,3	19446,5	3	
		2	1496,5	4489,3	1496,5	16146,1	25124,6	18876,5	3	
		3	1532,6	4597,8	1532,6	16536,1	25731,6	19332,5	3	
Memory	2 GB	0	M	M	M	M	M	M	1	
		1	7145,8	21437,3	7145,8	15465,1	58339,5	167609	1,3	
		2	7145,8	21437,3	7145,8	13755,1	56629,5	162697	1,3	
		3	7145,8	21437,3	7145,8	15123,1	57997,5	166627	1,3	
	4 GB	0	M	M	M	M	M	M	1	
		1	7145,8	21437,3	7145,8	65870,4	108745	194001	1	
		2	7145,8	21437,3	7145,8	62682,9	105557	188314	1	
	8 GB	3	7145,8	21437,3	7145,8	65232,9	108107	192863	1	
		0	M	M	M	M	M	M	1	
		1	7145,8	21437,3	7145,8	124963	167837	227755	0,8	
		2	7145,8	21437,3	7145,8	120043	162917	221079	0,8	
		3	7145,8	21437,3	7145,8	123979	166853	226420	0,8	
Casing	A	0	89,7	269	89,7	966,4	1504,41	1304	1,5	
		1	75,4	226,1	75,4	812,3	1264,44	1096	1,5	
		2	95,4	286	95,4	1027,2	1599,01	1386	1,5	
		3	79,1	237,3	79,1	852,3	1326,74	1450	1,5	
	B	0	83	249	83	894,6	1392,5	1207	1,5	
		1	76,2	228,4	76,2	820,4	1277,13	1107	1,5	
		2	89	266,8	89	958,2	1491,72	1293	1,5	
		3	89,8	269,2	89,8	967,2	1505,57	1305	1,5	
	C	0	85,2	255,4	85,2	917,5	1428,27	1238	1,5	
		1	99,8	299,4	99,8	1075,4	1674	1451	1,5	
		2	102,3	306,8	102,3	1102,1	1715,54	1487	1,5	
		3	93,8	281,4	93,8	1010,1	1573,63	1364	1,5	
	Cap	A	0	78,9	236,7	78,9	850,1	1323,28	1147	1,5
			1	83,7	251,1	83,7	902	1404,04	1217	1,5
			2	94	282	94	1013,2	1577,09	1367	1,5
			3	80,5	241,4	80,5	867,1	1349,82	1170	1,5
		B	0	91,2	273,4	91,2	982	1528,64	1325	1,5
			1	94,1	282,2	94,1	1013,9	1578,25	1368	1,5
2			99,1	297,3	99,1	1068	1662,47	1441	1,5	
		3	80,2	240,4	80,2	863,4	1344,05	1165	1,5	
C		0	80,8	242,4	80,8	870,9	1355,59	1175	1,5	
		1	96,5	289,5	96,5	1039,8	1618,63	1403	1,5	
		2	91,4	274,2	91,4	985	1533,25	1329	1,5	
		3	79,5	238,5	79,5	856,8	1333,67	1156	1,5	

sumber : www.kingston.com



Parameter biaya yang lain yang digunakan adalah biaya pelibatan pemasok/pabrik manufaktur sub-kontraktor untuk pengadaan komponen (Fine, et.al 2005). Biaya pelibatan pemasok/pabrik manufaktur sub-kontraktor adalah biaya yang dikeluarkan untuk melibatkan pemasok/pabrik

manufaktur sub kontraktor s ke dalam sistem manufaktur. Model pada penelitian ini biaya pelibatan pemasok/pabrik manufaktur subkontraktor dibedakan berdasarkan komponen sehingga dinotasikan sebagai *Pis*. Data hipotetik mengenai biaya tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Biaya Pelibatan Pemasok Komponen USB (*flashdisk*) (Rizkianda, 2009)

Komponen	Pemasok	<i>Pis</i> (Rp)	Komponen	Pemasok	<i>Pis</i> (Rp)
USB Head	0	11729	Memory	0	12722
	1	11143		1	14125
	2	10682		2	12499
	3	13167		3	12910
PCB	0	11609	Casing	0	12710
	1	12491		1	12904
	2	13859		2	13292
	3	13752		3	11868
Controller	0	14401	Cap	0	13096
	1	13099		1	14301
	2	14649		2	11199
	3	10577		3	12581

Parameter biaya lain yang digunakan dalam perhitungan adalah biaya perakitan komponen. Data mengenai biaya perakitan untuk tiap-tiap tahapan proses perakitan disajikan pada Tabel 4. Asumsi yang digunakan untuk membangkitkan data hipotetik yang disajikan pada Tabel 4 antara

lain: *Pertama*, Biaya perakitan komponen merupakan perkalian dari biaya persatuan waktu yang ditanggung perusahaan untuk merakit komponen dengan lama waktu merakitnya. *Kedua*, Biaya perakitan persatuan waktu yang digunakan adalah Rp 43,73/detik (Rizkianda, 2009).

Tabel 4. Biaya perakitan komponen USB flashdisk (Rizkianda, 2009)

Prju	Ket	Biaya (Rp)	Prju	Ket	Biaya (Rp)	Prju	Ket	Biaya (Rp)
P111	P11-21	209.9	P231	P23-31	167.9	P421	P22-51	209.9
P112	P11-22	251.9	P232	P23-32	251.9	P422	P22-52	251.9
P113	P11-23	167.9	P233	P23-33	167.9	P423	P22-53	251.9
P121	P12-21	293.9	P311	P21-41	167.9	P431	P23-51	167.9
P122	P12-22	251.9	P312	P21-42	209.9	P432	P23-52	167.9
P123	P12-23	335.8	P313	P21-43	209.9	P433	P23-53	335.8
P131	P13-21	251.9	P321	P22-41	251.9	P511	P51-61	209.9
P132	P13-22	209.9	P322	P22-42	335.8	P512	P51-62	167.9
P133	P13-23	209.9	P323	P22-43	209.9	P513	P51-63	167.9
P211	P21-31	167.9	P331	P23-41	167.9	P521	P52-61	209.9
P212	P21-32	209.9	P332	P23-42	251.9	P522	P52-62	209.9
P213	P21-33	209.9	P333	P23-43	167.9	P523	P52-63	167.9
P221	P22-31	251.9	P411	P21-51	251.9	P531	P53-61	167.9
P222	P22-32	335.8	P412	P21-52	293.9	P532	P53-62	335.8
P223	P22-33	209.9	P413	P21-53	293.9	P533	P53-63	251.9

Tabel 4 berisi data mengenai biaya tiap-tiap tahapan operasi perakitan dengan masing-masing alternatifnya. Indeks  $r$  menyatakan nomor urut proses perakitan, indeks  $j$  menyatakan rancangan komponen pendahulu yang akan dirakit dan indeks  $u$  menyatakan alternatif proses perakitan yang tersedia. Alternatif proses merupakan pilihan rancangan komponen yang akan dipasangkan-dirakit dengan komponen pendahulu dalam urutan proses  $r$ . Setelah semua komponen biaya lengkap maka tahapan berikutnya adalah proses eksekusi model pemilihan rancangan komponen yang menghasikan kombinasi dengan biaya minimum. Model matematika yang dibuat pada penelitian ini dirancang untuk menentukan sebuah rancangan produk melalui pemilihan komponen berdasarkan biaya manufaktur/pembelian, biaya pelibatan pemasok/pabrik manufaktur sub-kontraktor, biaya perakitan dan biaya kualitasnya.

### Hasil Komputasi

Dalam pengolahan parameter *input* ini, maka parameter-parameter input yang telah dibuat akan dimasukkan dalam persamaan matematis yang dijalankan

menggunakan *software* Lindo 6.1. Pada pengolahan selanjutnya, dibuat suatu skenario eksperimen dari parameter *input* agar model matematis ini menghasilkan nilai optimum dari setiap kali dijalankan dan bagaimana kecenderungan nilai hasil yang didapat sesuai dengan tujuan penelitian untuk meminimalkan biaya yang terjadi, sehingga dapat lebih jelas dan membantu pada proses analisa selanjutnya.

Proses analisis yang akan dilakukan terhadap model bertujuan mengetahui dampak yang terjadi terhadap solusi yang dihasilkan model akibat adanya perubahan *input* parameter yang diberikan kedalam model. Untuk kasus USB *flashdisk*, proses analisis dilakukan dengan mengubah-ubah *input* rencana masa produksi (*planning horizon*). Untuk kepentingan analisis, model akan dieksekusi dengan menggunakan rencana masa produksi 2 tahun sampai dengan 3 tahun dengan pengaruh nilai koefisien biaya kerugian kualitas  $Ap$  dibuat tetap = 50, dari perubahan *input* tersebut akan diketahui apakah solusi yang akan dihasilkan oleh model ini akan berubah atau tidak. Untuk masa produksi 2 tahun, hasil eksekusi model komputasi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Solusi Model (Tp=2 thn)

Kombinasi Komponen	BIAYA (Rp)	Kombinasi Pemasok	BIAYA (Rp)	Urutan Perakitan	BIAYA (Rp)
X112	23426.20	Y12	10682	A113	167.92
X231	22975.41	Y21	12491	A231	167.92
X313	25731.56	Y33	10577	A332	251.88
X422	149726.79	Y42	12499	A431	167.92
X513	1326.74	Y53	11868	A513	167.92
X632	1533.25	Y62	11199		

Dengan menggunakan rencana masa produksi  $T_p = 2$  tahun, dari Tabel 5 solusi yang dihasilkan model adalah berupa kombinasi rancangan komponen K11-K23-K31-K42-K51-K63. Komponen K11 (USB jack rancangan 1) dibeli dari pemasok 2. Komponen K23 (*circuit board* rancangan 3) dibeli dari pemasok 1. Komponen K31 (*controller chip* rancangan 1) dibeli dari pemasok 3. Komponen K42 (*memory chip* 4Gb)

dibeli dari pemasok 2. Komponen K51 (*casing* A) dibeli dari pemasok 3 dan komponen K63 (tutup C) dibeli dari pemasok 2. Kombinasi komponen rancangan produk USB *flashdisk* ini, hanya dapat diproduksi selama 1,41 tahun (1 tahun 4.92 bulan) karena pasokan komponen *memory* 4 Gb dari pemasok 2 akan berhenti setelah jangka waktu tersebut. Namun demikian, kombinasi ini merupakan yang paling murah, menghasilkan biaya

minimum sebesar Rp442.438,53 untuk rencana masa produksi  $T_p = 2$  tahun.

Sedangkan untuk masa produksi 2,5 tahun, hasil eksekusi model disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Solusi Model ( $T_p=2,5$  thn)

Kombinasi Komponen	BIAYA (Rp)	Kombinasi Pemasok	BIAYA (Rp)	Urutan Perakitan	BIAYA (Rp)
X112	23426.20	Y12	10682	A113	167.92
X231	22975.41	Y21	12491	A231	167.92
X313	25731.56	Y33	10577	A333	167.92
X432	162917.41	Y42	12499	A431	167.92
X513	1326.74	Y53	11868	A513	167.92
X632	1533.25	Y62	11199		

Berdasarkan hasil perhitungan model, maka diperoleh rancangan produk USB *flashdisk* dengan menggunakan kombinasi rancangan komponen K11-K23-K31-K43-K51-K63. Komponen K11 (USB *jack* rancangan 1) dibeli dari pemasok 2. Komponen K23 (*circuit board* rancangan 3) dibeli dari pemasok 1. Komponen K31 (*controller chip* rancangan 1) dibeli dari pemasok 3. Komponen K43 (*memory chip* 8 Gb) dibeli dari pemasok 2. Komponen K51 (*casing A*) dibeli dari pemasok 3 dan komponen K63 (*tutup C*) dibeli dari pemasok 2. Kombinasi ini menghasilkan biaya minimum sebesar Rp 455.545,18. Berdasarkan hasil perhitungan,

rancangan USB *flashdisk* yang dihasilkan dari eksekusi model hanya dapat diproduksi untuk jangka waktu maksimal 2,65 tahun (2 tahun 7.8 bulan) karena komponen K43 hanya akan diproduksi oleh pemasok/pabrik manufaktur 2 untuk 2 tahun 7,8 bulan.

Berdasarkan hasil pengujian, model ini dapat bekerja sebagaimana mestinya. Model ini mampu memilih rancangan komponen sehingga menghasilkan sebuah produk dengan kombinasi rancangan komponen yang memiliki biaya rendah. Ringkasan kombinasi rancangan komponen hasil dari eksekusi model untuk masing-masing nilai  $T_p$  disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7 Solusi Model untuk  $T_p=2.5$ ,  $T_p=3$

$T_p$ (TAHUN)	KOMBINASI		Biaya Total	Waktu produksi maksimal/ kontinuitas (tahun)
	komponen	pemasok		
2	K11-K23-K31 K42-K51-K63	Y12-Y21-Y23- Y42-Y53-Y62	442.438,53	1.41
2.5	K11-K23-K31 K43-K51-K63	Y12-Y21-Y33- Y42-Y53-Y62	455.545,18	2.65
3	K11-K23-K31 K43-K51-K63	Y12-Y21-Y33- Y42-Y53-Y62	477.062,58	2.65

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 7, diketahui bahwa solusi model mengalami perubahan ketika nilai  $T_p$  diturunkan dari 2,5 tahun menjadi 2 tahun. Akan tetapi, ketika  $T_p$  dinaikan menjadi 3 tahun, solusi yang dihasilkan model tidak mengalami perubahan. Walaupun solusi model tidak berubah, biaya total pada  $T_p = 3$  tahun lebih besar daripada ketika model  $T_p =$

2,5 tahun. Hal ini terjadi karena bobot akibat kontinuitas pasokan yang ditanggung pada  $T_p = 3$  tahun lebih besar. Bila menentukan solusi, model ini sudah mempertimbangkan aspek yang berkaitan dengan kontinuitas pasokan komponen, dan juga pengaruh laju inflasi terhadap perubahan harga-harga barang. Berdasarkan hasil uji dengan menggunakan kasus produk USB *flashdisk*

(Rizkianda, 2009), model ini terbukti mampu bekerja dengan baik untuk produk-produk yang mengalami penurunan akibat perkembangan teknologi. Hal ini terlihat dari komponen-komponen yang terdapat dalam produk USB *flashdisk* ada yang mengalami proses penurunan nilai akibat keusangan teknologi dan ada yang tidak. Pada produk USB *flashdisk* contoh komponen yang paling jelas mengalami keusangan teknologi adalah komponen *memory chip*. Komponen ini sekaligus menjadi alat ukur yang tepat untuk menentukan rencana masa produksi karena umur komponen relatif pendek dibanding dengan komponen yang lain.

## SIMPULAN

Simpulan yang diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut: *Pertama*, Model dapat bekerja untuk memilih komponen dengan kriteria performansi biaya manufaktur/pembelian, biaya pelibatan pemasok/subkontraktor, biaya perakitan dan biaya kerugian kualitas. Solusi yang dihasilkan model adalah berupa sebuah rancangan produk dengan kombinasi rancangan komponen dan kombinasi pemasok/subkontraktor yang memberikan biaya total terendah. *Kedua*, Hasil uji coba pada produk USB *flashdisk* menunjukkan bahwa model dapat diterapkan baik pada produk yang mengalami penurunan nilai akibat keusangan teknologi. *Ketiga*, Perubahan nilai koefisien kerugian kualitas (Ap) tidak mempengaruhi skenario rancangan proses.

Selanjutnya berdasarkan apa yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan pada penelitian ini sebagai berikut: *pertama*, Model ini belum mampu mengakomodasikan laju inflasi yang berubah-ubah sehingga perlu ada penelitian yang mampu mengakomodasikan hal tersebut. *Kedua*, Alternatif proses yang tersedia tidak hanya dalam satu pemasok, tetapi terdapat pada beberapa pemasok dalam sebuah jaringan manufaktur, dengan demikian perlu memperhitungkan ongkos transportasi.

*Ketiga*, Apabila nilai karakteristik kualitas dari hasil setiap alternatif proses tidak sama dengan nilai target, maka perlu diperhitungkan untuk toleransi yang bersifat asimetris.

## DAFTAR PUSTAKA

- Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W.A., 1994. *Product Design for Manufacturing and Assembly*. M. Dekker. New York.
- Bopana, K.G., Chon-Huat, G., 1997. *A Hierarchical System of Performance Measure for Concurrent Engineering*. *Concurrent Engineering: Research and Application* 5(2): 137-143.
- Campanella, J. (1990) *Principles of quality costs, 2<sup>nd</sup> Edition*, Quality Press, Milwaukee.
- Feng, C., Wang, J., Wang, J.S., 2001. *An Optimization Model of Concurrent Selection of Tolerances and Suppliers*. *Computers and Industrial Engineering* 40: 15-33.
- Fine, C.H., Golany, B., Naseraldin, H., 2005. *Modelling Tradeoffs in Three-Dimensional Concurrent Engineering: A Goal Programming Approach*. *Journal of Operation Management* (23): 389-403.
- Gunasekaran, G., 1998. *Concurrent Engineering: A Competitive Strategy for Process Industries*. *Journal of Operational Research Society* 49: 758-765.
- Irianto, D. and Rahmat, D. (2008) *A Model for Optimizing Process Selection for MTO Manufacturer with Appraisal Cost*, *Proceedings 9<sup>th</sup> Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems (APIEMS) Conference*, 220-225.
- Marian, R.M., 2003. *Optimisation of Assembly Sequences Using Genetic Algorithms*. Doctoral Dissertation. School of Advance Manufacturing and

**BUDI SUSANTO, MK HERLIANSYAH, ALVA EDY TONTOWI ❖ MODEL INTEGRASI DESIGN DAN PROSES MANUFAKTUR PADA PERAKITAN PRODUK MULTI PEMASOK**

Mechanical Engineering. University of South Australia.

Montgomery, D.C. (2001) *Introduction to Statistical Quality Control, 4<sup>th</sup> Ed.* John Willey & Sons, Inc., Singapore.

Rizkianda, A.B, 2009. *Model Pemilihan Komponen Pada Rancangan Produk*

*Pada Tahap Perancangan Fisik Produk.* Tesis. Teknik dan Manajemen Industri, Institut Teknologi Bandung.

Taguchi, G. (1988) *Quality Engineering in Product Development - Design Level.* Japan Standard Association, Tokyo.