

## PERANCANGAN TATA LETAK FLEKSIBEL DENGAN TEORI GRAPH

**Agus Ristono**

Jurusan Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta  
Jalan Babarsari 2, Yogyakarta 55281  
E-mail: agus\_ristono@yahoo.com

### ABSTRAK

Dalam makalah akan dipaparkan suatu rancangan tata letak yang memperhatikan pengaruh dari lingkungan berupa permintaan yang selalu berubah dari waktu ke waktu. Selain itu digunakan juga ukuran Ongkos *Material Handling* (OMH) yang baru dengan mengakomodasi ongkos simpan selama penanganan bahan. Selanjutnya diberikan juga perbandingan performansi antar tata letak generasi baru, yaitu tata letak terdistribusi dan tata letak modular. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tata letak modular dengan menggunakan teori graph, yaitu rantai Hamilton yang dimodifikasi, dapat dikatakan sama fleksibelnya dengan tata letak terdistribusi.

**Kata kunci:** tata letak terdistribusi, *tata letak modular*, Total Ongkos Material Handling (TOMH), tata letak generasi masa depan

### ABSTRACT

*In this paper, plant layouts is designed by considering the influence of the environment, i.e., the variability of demand. It also considers the new Total of Material Handling Cost (TMHC), which captures the inventory carrying costs. Moreover, the comparison between the distributed and the modular layout performance is presented. Those two types of layout are called as the next generation layout. It shows that the modular layout, which is done by using graph theory, i.e., modified Hamiltonian chain, gives flexibility as good as the distributed layout.*

**Keywords:** *distributed layout, modular layout, total of Material Handling Cost (TMHC), next generation layout.*

## 1. PENDAHULUAN

Tata letak yang umum digunakan untuk *job shop* adalah tata letak fungsional, *flow-line*, selular dan proyek (Tompkins et al, 1996). Tata letak tradisional ini hanya sesuai diterapkan ketika jenis famili produk selalu stabil dan volume produksi relatif besar sehingga tidak fleksibel terhadap perubahan permintaan (Lahmar dan Benjafaar, 2002). Salah satu tata letak yang dapat mengatasi lingkungan yang *volatile* tersebut adalah tata letak modular.

Permasalahan dalam tata letak modular adalah pembentukan modul yang merupakan pengelompokan mesin-mesin yang memiliki hubungan kesamaan terhadap urutan operasi dari produk-produk yang sedang dibuat (Irani, 1999). Huang dan Irani (1998) membangun prosedur heuristik yang didasarkan pada metode *string matching* dan klaster, yang biasanya digunakan dalam kimia molekul maupun ilmu biologi. Dalam perancangan tata letak modularnya, Irani dan Huang menggunakan analisis klaster terhadap *common substring* (Irani dan Huang, 2000). *Common substring* adalah sekumpulan operasi secara berurutan yang digunakan bersama untuk memproduksi produk-produk atau part-part tertentu.

Perancangan tata letak Irani dan Huang (1998) menggunakan *Levenshtein Distance* (LD) untuk mengukur kedekatan antara satu *Common substring* (CS) dengan yang lain sehingga dapat dilakukan pengelompokan dengan *Complete Linkage Clustering* (CLC). Irani dan Huang (2000) membuat ukuran kedekatan antar CS dengan *Merger Coefficient* (MC) kemudian mengelompokan CS menggunakan *Average Linkage Clustering* (ALC) berdasarkan nilai MC-nya. Irani et al (2000) menambahkan *Strong Components Algorithm* (SCA) untuk merancang tata letak modularnya.

Tata letak yang merupakan generasi masa depan yang lain adalah tata letak terdistribusi. Tata letak terdistribusi (*distributed layout*) adalah model baru yang mengembangkan ide tata letak fungsional dengan cara mendistribusikan mesin-mesin yang sejenis ke beberapa lokasi dalam lantai pabrik. Penyebaran fasilitas-fasilitas tersebut dapat dilakukan secara merata (*maximally distributed layout*) maupun sebagian saja (*partially distributed layout*) (Benjafaar, Heragu dan Irani, 2002). Penelitian untuk tata letak terdistribusi sudah banyak dilakukan. Benjafaar dan Syeikhzadeh (2000) merancang tata letak terdistribusi yang fleksibel untuk beberapa kemungkinan permintaan yang tidak pasti. Lahmar dan Benjafaar (2002) menyusun model tata letak terdistribusi yang dinamis dengan menggunakan metode heuristik yang dikembangkan dari cara *pair-wise exchange*. Lahmar dan Benjafaar (2002) membuat model yang sama dengan Balakrisnan et al dengan metode dekomposisi yang terdiri dari dua *sub-problem* yang saling berkaitan satu sama lain yakni *facility layout sub-problem* dan *flow allocation sub-problem*.

Kelemahan pada penelitian-penelitian terhadap tata letak modular yang disebutkan diatas adalah tidak memperhitungkan ongkos simpan, sehingga permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang tata letak yang fleksibel dengan mempertimbangkan ongkos simpan.

## 2. PENGEMBANGAN MODEL TMHC

Tata letak pada fasilitas yang tidak mudah untuk dipindahkan tetapi memiliki fleksibilitas yang tinggi dapat dilakukan oleh tata letak terdistribusi dan tata letak modular, sedangkan tata letak *reconfigurable* hanya dapat diaplikasikan pada tata letak yang mudah dipindahkan atau biaya pemindahan yang relatif kecil. Berdasarkan pada batasan masalah maka yang dirancang adalah tata letak tidak *reconfigurable*.

### 2.1 Asumsi model

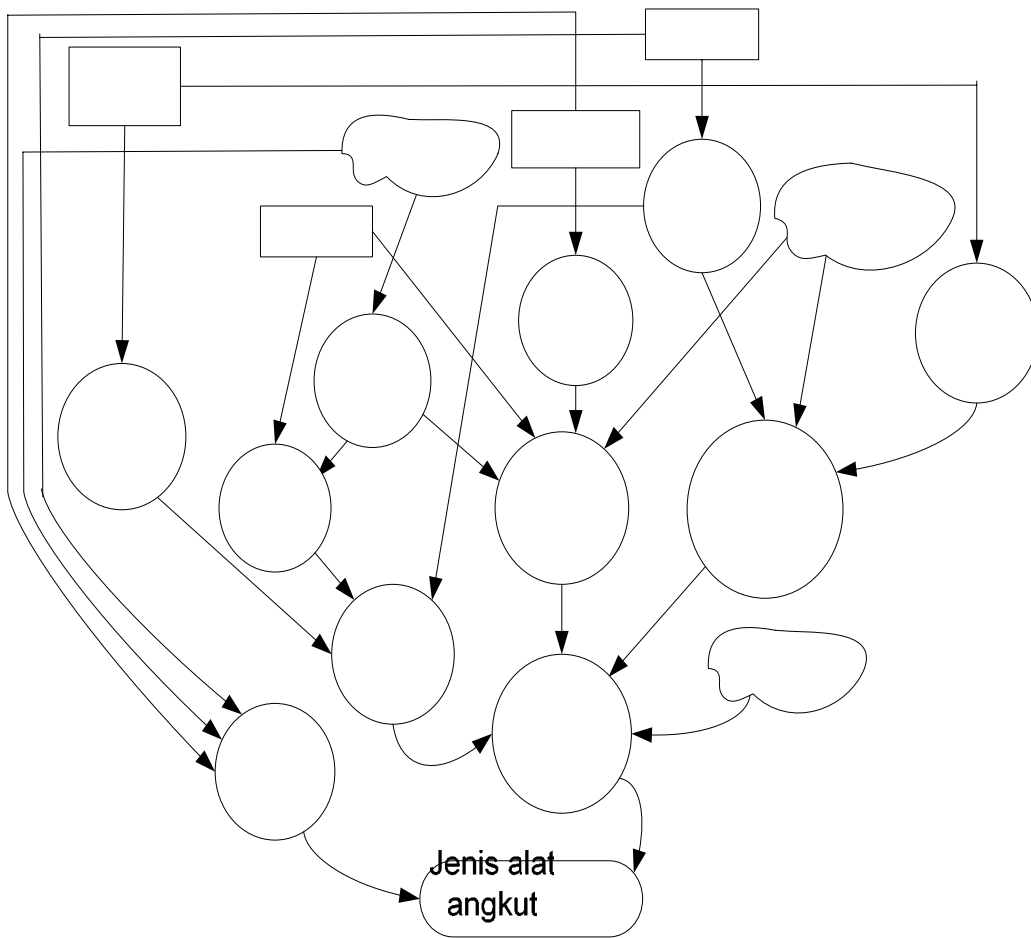
Beberapa asumsi mendasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- 1) Bentuk mesin dianggap bujur sangkar dengan ukuran sama untuk semua jenis mesin.
- 2) Tiap produk diproses secara independen.
- 3) Permintaan tidak tentu dan distribusi kemungkinannya diketahui
- 4) Aliran material dapat masuk dan keluar dari departemen manapun.
- 5) Semua permintaan harus dipenuhi pada periode yang dibutuhkan sehingga tidak ada *back order*.
- 6) Produk setelah selesai diproses pada suatu departemen maupun pada saat akan diproses tidak mengalami *delay* untuk diangkut maupun untuk diproses ke departemen berikutnya, sehingga dianggap tidak ada *buffer incoming* maupun *outgoing* untuk tiap departemen.
- 7) Ukuran *batch* untuk setiap produk dianggap tetap sepanjang periode.
- 8) Rata-rata kecepatan tiap alat angkut adalah tetap.
- 9) Ruting tiap produk sudah diketahui dan tetap.

- 10) Ongkos simpan tiap satuan waktu untuk tiap produk pada saat penanganan material/produk adalah tetap.
- 11) Mesin-mesin sudah tersedia pada awal periode.
- 12) Efisiensi mesin dianggap 100% sehingga tidak ada produk cacat.
- 13) Apabila produk selesai dibuat di suatu departemen maka produk tersebut dapat langsung diangkut untuk diproses pada departemen berikutnya tanpa adanya waktu menunggu.

**2.2 Influence Diagram**

*Influence diagram* (Gambar 1) dibuat untuk memudahkan formulasi model matematikanya. Ekspektasi total biaya tata letak tahunan merupakan ukuran kinerja pencapaian tujuan penelitian ini. *Influence diagram* (Daellenbach,1995) menggambarkan hubungan antara input, variabel dan output sistem.



**Gambar 1. Influence Diagram**

Demand

### 2.3 Formulasi model matematik tata letak modular

Berdasarkan *influence diagram* dan Persamaan (1) maka total ongkos tata letak modular dapat dituliskan dalam bentuk matematis sebagai berikut:

$$TC_{ij(j+1)kplm} = c_{ij(j+1)kplm}^f d_{kplm} \frac{q_{ij(j+1)kplm}}{B_{ij(j+1)kplm}} + h_{ijkl} q_{ij(j+1)kplm} \frac{d_{kplm}}{v_{kplm}^f} + h_{ijkl} \frac{B_{ij(j+1)kplm}}{2} \left(1 - \frac{q_{ij(j+1)kplm}}{P_{ik}}\right) \quad (1)$$

di mana:

- $TC_{ij(j+1)kplm}$  = Total biaya perpindahan produk i dari operasi ke-j yang dikerjakan oleh departemen k di modul l, menuju ke-(j+1) yang dikerjakan oleh departemen p di modul m
- $c_{ij(j+1)kplm}^f$  = Biaya pengiriman alat angkut jenis f untuk produk i dari operasi ke-j yang dikerjakan oleh departemen k di modul l, menuju ke-(j+1) yang dikerjakan oleh departemen p di modul m
- $d_{kplm}$  = Jarak antara departemen k di modul l ke departemen p di modul m
- $q_{ij(j+1)kplm}$  = Kuantitas produk i dari operasi ke-j yang dikerjakan oleh departemen k di modul l, menuju ke-(j+1) yang dikerjakan oleh departemen p di modul m
- $B_{ij(j+1)kplm}$  = Kuantitas produksi untuk produk i dari operasi ke-j yang dikerjakan oleh departemen k di modul l, menuju ke-(j+1) yang dikerjakan oleh departemen p di modul m
- $h_{ijkl}$  = Biaya simpan produk i tiap satuan waktu selama di fasilitas k pada modul l
- $v_{kplm}^f$  = Kecepatan rata-rata alat angkut f dari departemen k di modul l menuju ke departemen p di modul m
- $P_{ik}$  = Laju produksi untuk produk i di departemen k

Secara lengkap fungsi tujuan dan pembatas-pembatasnya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Minimize } \sum_{k=1}^K E_k P_k + \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^L \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^K \sum_{j=1}^{N_i-1} \sum_{i=1}^Q TC_{ij(j+1)kplm} x_{ijkl} x_{ij(j+1)pm} \quad (2)$$

Pembatas:

$$\sum_{l=1}^L x_{ijkl} = 1 \quad , \text{ untuk tiap } (i,j,k) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^Q \sum_{j=1}^{N_i} q_i F_{ijk} x_{ijkl} \leq T_k N_{kl} \quad , \text{ untuk tiap } (k,l) \quad (4)$$

$$\sum_{l=1}^L n_{kl} = M_k + P_k \quad , \text{ untuk tiap } k \quad (5)$$

$$x_{ijkl} = \{0,1\} \quad , \text{untuk tiap } (i,j,k,l) \quad (6)$$

$$n_{kl} \geq 0 \text{ dan integer} \quad , \text{untuk tiap } (k,l) \quad (7)$$

### 3. PEMBAHASAN

#### 3.1 Perancangan tata letak modular

Metode usulan yang digunakan untuk menyusun tata letak modular adalah teori *graph*, dimana *common substring* (cs) dijadikan sebagai simpul, sedangkan operasi-operasi yang digunakan secara bersama oleh sepasang simpul dijadikan sebagai busurnya. Algoritma yang diusulkan menggunakan jumlah operasi pada tiap busur sebagai ukuran kekuatan hubungan antara sepasang simpul. Semakin banyak jumlah operasi dari suatu pasang simpul maka semakin kuat pula hubungan pasangan tersebut.

Pembentukan sirkuit akan dimulai dari sepasang simpul yang memiliki hubungan terkuat dan selanjutnya berkembang dari kedua simpul akhir yang terbentuk tersebut. Busur yang baru akan dibuat secara terus menerus sehingga terbentuk sirkuit Hamiltonian.

Algoritma sirkuit Hamiltonian yang dimodifikasi (SHYD) adalah sebagai berikut (Suprayogi dan Ristono,2003):

- Langkah 1. Mencari cs dari masing-masing urutan operasi untuk tiap produk menggunakan algoritma seperti pada Gambar 2 dan menjadikan cs sebagai simpul-simpul.
- Langkah 2. Urutkan tiap simpul sesuai dengan banyaknya jumlah operasi.
- Langkah 3. Gambar dua simpul yang memiliki nomor urut 1 and 2 sebagai calon pasangan cs. Jika keduanya memiliki dua atau lebih operasi yang sama maka dibentuk busur antara kedua simpul tersebut.
- Langkah 4. Pilih simpul berikutnya. Jika simpul ini memiliki dua atau lebih operasi yang sama dengan beberapa simpul akhir (*end-node*) yang berbeda jaringan atau simpul-simpul yang belum terhubung oleh busur, maka dibentuk busur antara simpul dengan simpul akhir atau simpul yang lain.  
Ulangi langkah 4 tersebut sampai dengan semua simpul sudah terpilih.
- Langkah 5. Jika terdapat simpul-simpul yang masih belum terhubung dengan busur dan masing-masing memiliki minimal satu operasi yang sama, maka simpul-simpul tersebut dihubungkan dengan busur.
- Langkah 6. Hubungkan antar simpul akhir dari setiap jaringan yang terbentuk dengan busur *dummy* sehingga terbentuk SHYD.
- Langkah 7. Membuat modul tata letak dengan cara memutus busur *dummy* sehingga diperoleh modul-modul dari masing-masing jaringan.
- Langkah 8. Menentukan jumlah mesin yang dibutuhkan dalam setiap modul tata letak dengan menggunakan Persamaan 8 (Huang dan Irani,1999).
- Langkah 9. Menyusun urutan proses operasi dalam bentuk modul-modul dan pola aliran antar modul
- Langkah 10. Membuat tata letak yang sesuai pola aliran tersebut.

$$N_{kj} = \sum_i \frac{T_{ikj}}{U_k T} \quad (8)$$

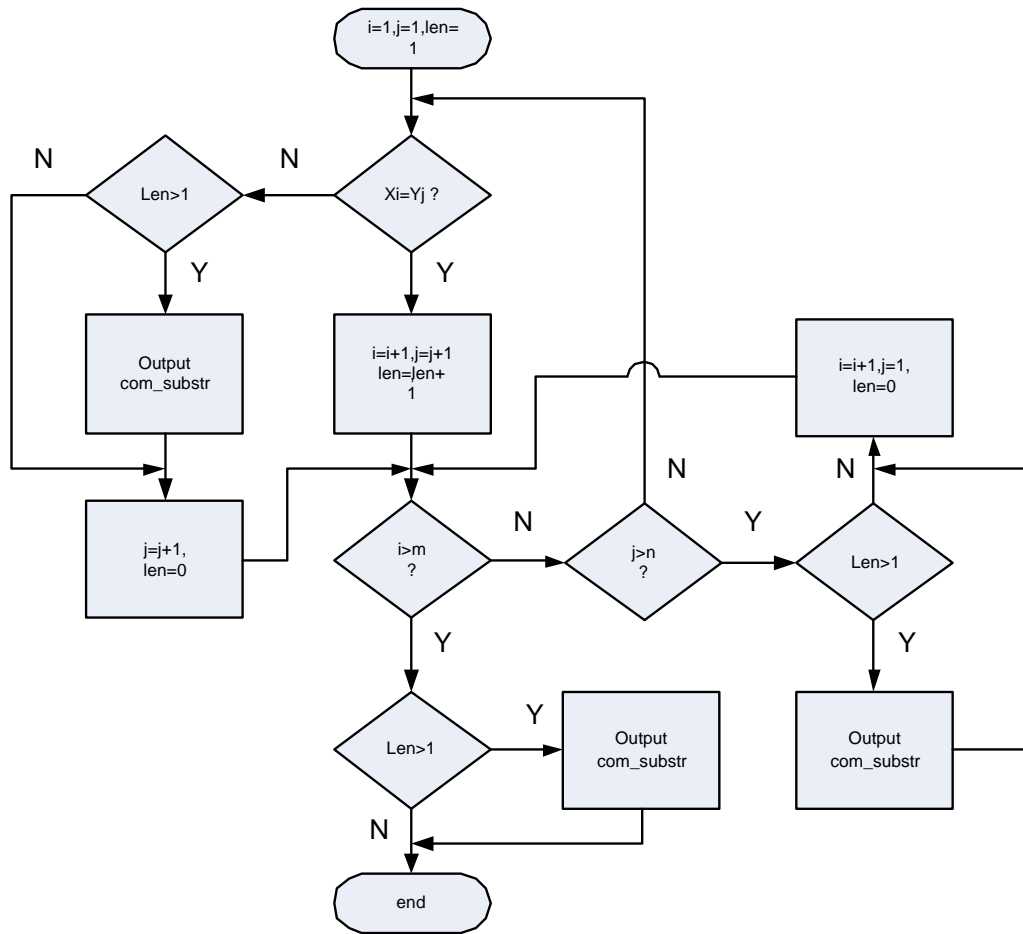
di mana:

$U_k$  = utilisasi mesin k (diasumsikan 80%)

$T$  = panjang periode produksi (diasumsikan 8 jam/hari)

$N_{kj}$  = jumlah mesin k di modul ke-j

$T_{ikj}$  = kapasitas yang diperlukan untuk operasi i di mesin k pada modul ke-j



Gambar 2. Diagram Penentuan Cs (Irani dan Huang,2000)

### 3.2 Perancangan tata letak fleksibel pembanding

Tata letak terdistribusi yang digunakan sebagai pembanding adalah tata letak yang dibentuk dengan GA melalui prosedur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Ukuran fleksibilitas tata letak pembanding menggunakan index robustness (Kreng dan Tsai,2002) dan ekspektasi TMHC (Benjafaar dan Syeikhzadeh, 2002). Teori fuzzy yang digunakan untuk memperoleh nilai RI dengan cara mengintegrasikan bentuk variabel linguistik dari beberapa ahli. Berdasarkan variabel tersebut, ongkos yang minimum dan ukuran robustness direpresentasikan oleh nilai ekspektasi dan variansi dari deviasi OMH. Kedua faktor tersebut dinyatakan sebagai variabel linguistik yang dapat berupa pernyataan: amat penting, penting, normal, tidak penting atau sangat tidak penting.

Perubahan lingkungan bisnis ditunjukkan dengan adanya perubahan permintaan produk  $i$  ( $i=1,2,3 \dots n$ ), sehingga dapat dikatakan bahwa masing-masing produk tersebut mempunyai satu set skenario permintaan  $D_i = \{d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{im}\}$  dan probabilitas yang bersesuaian dengan skenario

tersebut adalah  $\prod_i = \{ \Pi_{i1}, \Pi_{i2}, \dots, \Pi_{im} \}$ , dimana  $m$  adalah jumlah skenario permintaan produk  $i$ . Tata letak terdistribusi harus memperhitungkan kekokohan dalam menghadapi perubahan lingkungan, dengan demikian berdasarkan adanya karakteristik *demand* tersebut.

```

Procedure GA

Begin
  t ← 0
  Procedure Inisialisasi_populasi_P(t)
  Begin
    t = 0
    While (t < ukuran_populasi) do
      Bangkitkan bilangan pemisah k ;
      Mengerjakan permutasi_mesin ;
      t = t+1
    end;
  end;

Evaluasi P(t)

While (kondisi terminasi belum terpenuhi) do

  Regenerasi C(t) melalui crossover P(t)

  Procedure permutasi_mesin
  Begin
    t = 0
    Lo = {1,2,3,4,...,n}
    P = { }
    While (t < n+1) do
      Ambil secara random mesin m dari Lo ;
      P = P + m ;
      Lo = Lo - m ;
      t = t+1 ;
    end;
  end;

  Kombinasikan P(t) kedalam generasi baru C(t) ;
  Evaluasi C(t) ;
  Pilih P(t+1) dari P(t) dan C(t) ;
  t ← t+1
end;

end;

```

**Gambar 3. Prosedur GA untuk Tata Letak Terdistribusi**

Secara lengkap model matematik dari tata letak terdistribusi adalah sebagai berikut (Ristono, 2005):

$$\text{Minimize } \sum_{k=1}^K E_k P_k + \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^K \sum_{j=1}^{N_j-1} \sum_{i=1}^Q \sum_{s=1}^S \Pi_s TC_{ij(j+1)kp} x_{ijk} x_{ij(j+1)p} \quad (9)$$

Pembatas:

$$x_{ijk} = 1 \quad , \text{ untuk tiap } (i,j,k) \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^Q \sum_{j=1}^{N_j} q_i F_{ijk} x_{ijk} \leq T_k N_k \quad , \text{ untuk tiap } k \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^K n_k = M_k + P_k \quad (12)$$

$$x_{ijk} = \{0,1\} \quad , \text{ untuk tiap } (i,j,k) \quad (13)$$

$$n_k \geq 0 \text{ dan integer} \quad , \text{ untuk tiap } k \quad (14)$$

Lebih jauh, Persamaan (15) digunakan untuk mentransfer total OMH yang ditunjukkan pada fungsi tujuan (9) ke dalam fungsi fitness. Pada Persamaan (15), *parabolic function* dapat mentransfer *lower layout cost* ke dalam nilai fitness yang lebih tinggi. Tambahan lagi, *exponential distribution* dapat mengontrol kecepatan dari konvergensi menuju *optimal solution*, *speeding up* pada *initial convergence* akan meningkatkan efisiensi, dan memperlambat secara gradual yang akan mendekati pada nilai optimal.

$$\text{Fitness} = \frac{1}{\sqrt{\text{Cos } t}} \times e^{-(\text{cost}) \times k} \quad (15)$$

*k* adalah konstanta yang mengontrol *Exponential Distribution*.

Setiap individu yang memiliki nilai fitness yang lebih besar dibandingkan rata-rata nilai fitness keseluruhan populasi akan dipilih sebagai *parents* untuk menghasilkan generasi yang baru. Aturan *crossover* adalah sama dengan yang digunakan oleh Kochhar et al. (1998) dengan tambahan metode inversi diusulkan dari Islier (1998) sebagai aturan mutasi, dimana aturan tersebut diadopsi dengan alasan *individual gene* dikodekan dalam bentuk string. Pada penerapan GA, *elitist strategy* digunakan untuk menjaga *superior individuals*, dan memproduksi individu baru yang dapat menghindari *optimal local* solusi pada generasi berikutnya.

Secara lengkap perancangan tata letak fleksibel adalah sebagai berikut:

1. Mendesain parameter GA.
2. Menggunakan teori fuzzy untuk menghitung *weights of Robustness Index* dengan mengintegrasikan pernyataan linguistic beberapa ahli.
3. Mengidentifikasi karakteristik permintaan dan volumenya.
4. Gunakan GA untuk mencari semua kemungkinan *feasible layout* berdasarkan *various product volumes*.
5. Hitung OMH yang dimodifikasi pada persamaan (2) dan (9), dan hitung pula *expected value* dan *variance of deviation cost* untuk tiap *feasible layout*.
6. Hitung *Robustness Index* dari setiap *feasible layout* dan cari *the most flexible layout*.
7. Gunakan layout terpilih tersebut untuk mengantisipasi setiap scenario dari *range of variation of product volumes* dalam *planning period* yang telah ditentukan.



8. Analisis pengaruh dari *product characteristics* dan *volumes* pada *facility layout* untuk memberikan informasi bagi managers guna melakukan *adjustment* pada product dan process untuk menjaga optimalitas tanpa harus membayar *extra lost costs* ketika *product mix* berubah dengan cepat.

### 3.3 Contoh kasus

Studi kasus ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2. Permintaan yang mengalami perubahan terjadi pada 5 produk dengan masing-masing memiliki 3 kemungkinan perubahan permintaan, sehingga dapat dibuat 243 skenario. Berdasarkan skenario tersebut maka dicari tata letak terdistribusi yang terbaik untuk tiap skenario dengan menggunakan GA, kemudian dicari tata letak yang fleksibel dengan menghitung nilai *Robustness Index* (RI) yang tertinggi (Kreng dan Tsai,2002) menggunakan persamaan 17 sampai dengan 27 dan dengan menghitung ekspektasi OMH dari semua skenario (Benjafaar dan Syeikhzadeh,2002). Sebagai contoh data pernyataan linguistik dari empat ahli dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil perhitungan OMH untuk tiap tata letak yang diperoleh dengan GA secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 3, sedangkan hasil tata letak fleksibel yang dihasilkan dengan cara Kreng dan Tsai (2002) memiliki RI = 0,999533 dan jika menggunakan metode Benjafaar dan Syeikhzadeh (2002) menghasilkan tata letak yang sama. Tata letak fleksibel GA dan tata letak modular SHYD dapat dilihat pada Gambar 4. Perbandingan OMH antara tata letak terdistribusi GA dengan SHYD pada Gambar 5 menunjukkan bahwa tata letak SHYD lebih fleksibel dibandingkan dengan tata letak terdistribusi GA karena memiliki kapabilitas dalam mengatasi fluktuasi kondisi produksi di masa depan dan mampu mempertahankan optimalitasnya terhadap perubahan komposisi produk. Hal ini terlihat OMH yang minimum dan kekokohan dalam menghadapi perubahan lingkungan.

**Tabel 1. Urutan Operasi Tiap Part (Irani dan Huang ,1998).**

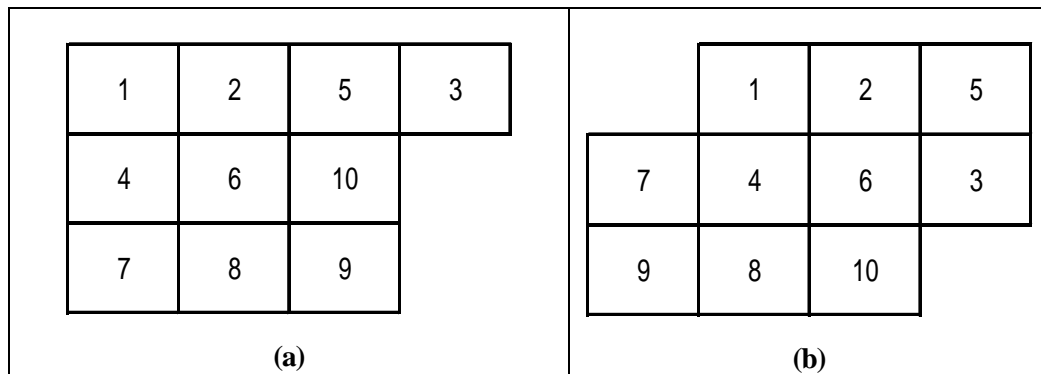
<i>Part</i>	<i>Sequence</i>	<i>Total batch time (menit)</i>
1	1,4,7,4,8,7	36-120-20-120-24-20
2	1,2,4,7,8,9	96-48-36-120-36-72
3	1,4,7,9	96-36-120-72
4	1,6,10,7,9	96-72-200-120-72
5	3,5,2,6,4,8,9	144-120-48-72-36-48-48
6	3,5,6,4,8,9	144-120-72-36-48-48

**Tabel 2. Data Untuk Tata Letak Terdistribusi Dengan GA**

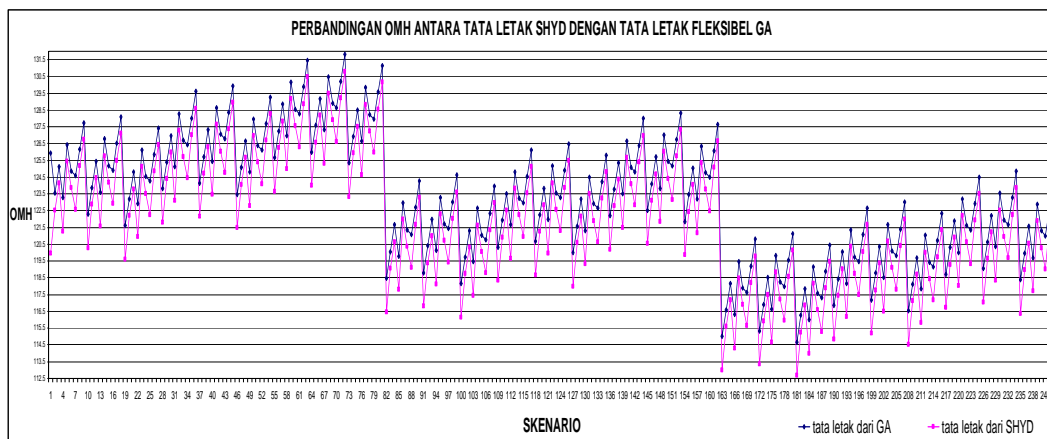
<i>Part</i>	<i>Ongkos simpan tiap unit /hari</i>	<i>Ongkos angkut tiap satuan panjang fasilitas</i>	<i>Ukuran batch</i>	<i>Permintaan / minggu dan probabilitasnya</i>			
				<i>1</i>	<i>0,2</i>	<i>0,5</i>	<i>0,3</i>
				<i>Tetap</i>	<i>Rendah (L)</i>	<i>Sedang (M)</i>	<i>Tinggi (H)</i>
1	Rp 1000	Rp 1000	6		12	24	36
2	Rp 1000	Rp 2000	5		18	24	30
3	Rp 2000	Rp 1000	4		12	18	24
4	Rp 2000	Rp 2000	4		12	18	24
5	Rp 1000	Rp 2000	3		6	12	18
6	Rp 1000	Rp 2000	3	18			

**Tabel 3. Hasil Omh Tata Letak Terdistribusi Dengan GA**

No	Skenario	Probabilitas	Tata letak					
			1	2	...	226	...	243
1	LLLLH	0.00048	314.84773	133.7808	...	125.9545	...	129.964
2	LMLLH	0.0012	316.04196	135.357	...	123.5345	...	131.5503
...	...	...	...	...	...	...	...	...
226	LLMHL	0.0012	311.69971	126.8503	...	123.0542	...	123.0542
...	...	...	...	...	...	...	...	...
243	HHHHL	0.00162	322.11491	132.9176	...	129.1979	...	129.1979
Ekspektasi OMH			326.55714	137.5552	...	127.0466	...	133.0817
RI			0.5078841	0.973578	...	0.999533	...	0.984274



**Gambar 4. (a) Tata Letak Fleksibel GA , (b) Tata Letak Shyd**



**Gambar 5. Perbandingan Omh**

#### 4 KESIMPULAN

Teori graph dapat digunakan untuk merancang tata letak yang fleksibel dengan melalui pembentukan modul-modul tata letak. Tata letak yang fleksibel digunakan pada lingkungan yang selalu mengalami perubahan permintaan dengan cepat.

Tata letak modular yang dihasilkan dari contoh kasus diatas lebih baik dari tata letak terdistribusi yang fleksibel karena memiliki OMH lebih kecil untuk setiap perubahan permintaan di masa depan dan mampu mempertahankan optimalitasnya terhadap perubahan komposisi produk, tetapi belum dapat dikatakan bahwa tata letak modular lebih fleksibel dibandingkan dengan tata letak terdistribusi yang fleksibel. Hal ini lebih tergantung dari metode yang digunakan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Benjafaar, S. , Heragu, S.S. and Irani, S.A., 2002, "Next Generation Factory Layouts : Research Challenges and Recent Progress", *DSES Technical Report No.38-00-482*, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, USA, Forthcoming in *Interfaces*.
- Benjafaar, S. and Syeikhzadeh, M., 2002, "Design of Flexible Plant Layouts", *IEE Transactions* 32, 413-42.
- Daellenbach, H.G., 1995, *Systems and Decision Making : A Management Science Approach*, John Wiley dan Sons, UK, 57 – 74.
- Huang, H. and Irani, S.A., 1999, "Design of facility layout using layout modules: A numerical clustering approach", *Proceedings of the 8th Annual Industrial Engineering Research Conference*, Phoenix, AZ , May 23-26.
- Irani, S.A. and Huang, H., 1998, "Layout modules: A novel extension of hybrid cellular layouts", *Proceedings of the 1998 International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, Winter Annual Meeting of the ASME, Anaheim, CA: American Society of Mechanical Engineers, Paper No.98-WA/MH-1, November 15-20.
- Irani, S.A. and Huang, H., 2000, "Custom design of facility layouts for multi-product facilities using layout modules", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 16(3) 259-267.
- Islir AA, 1998, "A genetic algorithm approach for multiple criteria facility layout design", *International Journal of Production Research*, 36(6), 1549-1569.
- Kochhar JS, BT Foster and SS Heragu, 1998, Hope: a genetic algorithm for the unequal area facility layout problem, *Computers & Operations Research*, 25(7/8), 583-594.
- Kochhar JS and SS Heragu, 1999, "Facility layout design in a changing environment, *International Journal of Production Research*, 37(11), 2429-2446.
- Kreng, V.B. and Tsai, C.M., 2002, "Use of a Robustness Index for Flexible Facility Layout Design in a Changing Environment", *Asia Pacific Management Review*, 7(4), 427-448.
- Lahmar, M. and Benjafaar, S., 2002, "Design of Dynamic Distributed Layouts", *Working Paper*, Mechanical Engineering Department, University of Minnesota, Minneapolis, USA.

- Ristono, A., 2005, Perancangan Tata Letak Terdistribusi dengan Mempertimbangkan Ongkos Simpan, *Working Paper*, Lab. Optimasi Sistem Industri (OPSI) UPN “Veteran” Yogyakarta, *Submitted to Jurnal Optimasi Sistem Industri*.
- Suprayogi dan Ristono, A., 2003, Perancangan tata letak modular dengan sirkuit Hamiltonian yang dimodifikasi, *Jurnal TMI*, 23(1) 12 – 22.
- Tompkins, J.A. , White, J.A. , Bozer, Y.A. , Tanchoco, J.M.A. dan Trevino, J., 1996, *Facilities Planning*, John Wiley, NY, 45 – 47.