

## **Aplikasi *Simulated Annealing* untuk Penentuan Tata Letak Mesin**

**Sri Kusumadewi, Hari Purnomo**

*Jurusan Teknik Informatika, Jurusan Teknik Industri,  
Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta  
e-mail: cicie@fti.uui.ac.id, ha\_purnomo@fti.uui.ac.id*

### **Abstract**

*Facilities layout has very important relation with material handling systems. One of the most problem in production systems is caused by unsystematic material handling. In this research, we will try to implement simulated annealing algorithm to layout machines. Input of this research are machine number, each machine dimension (length and width), sequence of machines in each part, production volume in each part, and batch size in each part. Output of this research is machines layout with minimum total flow cost. This research solved the case with 15 machines and 25 parts. The result on this case is sequence of machines: 1, 12, 7, 2, 4, 15, 6, 8, 11, 3, 9, 10, 14, 13 and 6 with total flow cost 6100.5.*

**Keywords:** *simulated annealing, machine layout*

### **1. Pendahuluan**

Dewasa ini perkembangan sistem manufaktur semakin ketat, hal ini berdampak pada persaingan perusahaan yang cukup berat. Menghadapi persaingan yang ketat perlu strategi dari segala aspek termasuk aspek produk, proses dan jadwal. Permasalahan dunia industri bukan hanya menyangkut seberapa besar investasi yang harus ditanam, sistem dan prosedur produksi, pemasaran hasil produksi dan lain sebagainya, namun menyangkut pula dalam hal perencanaan fasilitas. Baik permasalahan lokasi fasilitas maupun permasalahan menyangkut rancangan fasilitas [1].

Perancangan fasilitas meliputi perancangan sistem fasilitas, tata letak pabrik dan sistem penanganan material (pemindahan bahan). Diantara ketiga aktivitas perancangan fasilitas di atas mempunyai keterkaitan yang sangat erat sehingga dalam proses perancangan perlu dilakukan secara integral. Tata letak yang baik adalah tata letak yang dapat menangani sistem material handling secara menyeluruh. Sistem material handling yang kurang sistematis menjadi masalah yang cukup besar dan mengganggu kelancaran proses produksi sehingga mempengaruhi sistem secara keseluruhan. Untuk menangani masalah tersebut perlu melakukan tata letak fasilitas yang memenuhi syarat ditinjau dari beberapa aspek. Permasalahan tata letak fasilitas merupakan masalah klasik dimana di satu sisi perusahaan dituntut mengoptimalkan produksinya dengan perbaikan tata letak fasilitas dan disisi lain perbaikan tata letak fasilitas yang dilakukan harus benar-benar dapat dimanfaatkan oleh perusahaan untuk dapat meningkatkan produktivitasnya. Pengaturan fasilitas memegang peranan penting dalam kelancaran proses produksi agar dapat tercapai suatu aliran kerja yang teratur, aman dan nyaman. Tata letak fasilitas berhubungan dengan perencanaan dan pengaturan tata letak mesin, peralatan, aliran bahan, dan orang-orang yang bekerja di masing-masing stasiun kerja [6].

Pada penelitian ini, algoritma simulated annealing akan diimplementasikan untuk menentukan tata letak mesin (15 mesin yang digunakan oleh 25 part) untuk mendapatkan total flow cost yang minimum.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Konsep Dasar *Simulated Annealing*

Ide dasar simulated annealing terbentuk dari pemrosesan logam [4]. Annealing (memanaskan kemudian mendinginkan) dalam pemrosesan logam ini adalah suatu proses bagaimana membuat bentuk cair berangsur-angsur menjadi bentuk yang lebih padat seiring dengan penurunan temperatur. Simulated annealing biasanya digunakan untuk penyelesaian masalah yang mana perubahan keadaan dari suatu kondisi ke kondisi yang lainnya membutuhkan ruang yang sangat luas, misalkan perubahan gerakan dengan menggunakan permutasi pada masalah *Travelling Salesman Problem*.

Pada simulated annealing, ada 3 parameter yang sangat menentukan, yaitu: tetangga, gain, temperatur, pembangkitan bilangan random. Tetangga akan sangat berperan dalam membentuk perubahan pada solusi sekarang. Pembangkitan bilangan random akan berimplikasi adanya probabilitas.

### 2.2 Algoritma Simulated Annealing

Algoritma Simulated Annealing adalah sebagai berikut [4]:

- a. Evaluasi keadaan awal. Jika keadaan awal merupakan tujuan, maka pencarian berhasil dan KELUAR. Jika tidak demikian, lanjutkan dengan menetapkan keadaan awal sebagai kondisi sekarang.
- b. Inisialisasi BEST\_SO\_FAR untuk keadaan sekarang.
- c. Inisialisasi T sesuai dengan *annealing schedule*.
- d. Kerjakan hingga solusi ditemukan atau sudah tidak ada operator baru lagi akan diaplikasikan ke kondisi sekarang.
  1. Gunakan operator yang belum pernah digunakan tersebut untuk menghasilkan kondisi baru.
  2. Evaluasi kondisi yang baru dengan menghitung:  
 $\Delta E = \text{nilai sekarang} - \text{nilai keadaan baru}$ 
    - Jika kondisi baru merupakan tujuan, maka pencarian berhasil dan KELUAR.
    - Jika bukan tujuan, namun memiliki nilai yang lebih baik daripada kondisi sekarang, maka tetapkan kondisi baru sebagai kondisi sekarang. Demikian pula tetapkan BEST\_SO\_FAR untuk kondisi yang baru tadi.
    - Jika nilai kondisi baru tidak lebih baik dari kondisi sekarang, maka tetapkan kondisi baru sebagai kondisi sekarang dengan probabilitas:  
$$p' = e^{-\Delta E / T}$$
Langkah ini biasanya dikerjakan dengan membangkitkan suatu bilangan random  $r$  pada range  $[0, 1]$ . Jika  $r < p'$ , maka perubahan kondisi baru menjadi kondisi sekarang diperbolehkan. Namun jika tidak demikian, maka tidak akan dikerjakan apapun.
  3. Perbaiki T sesuai dengan *annealing scheduling*.
- e. BEST\_SO\_FAR adalah jawaban yang dimaksudkan.

### 2.3 Operator untuk Penyelesaian TSP dengan Simulated Annealing

Ada beberapa operator yang bisa digunakan untuk penyelesaian TSP dengan Simulated Annealing. Berikut adalah salah satu contoh operator untuk menentukan jalur [3][4]. Misalkan jumlah kota yang akan dikunjungi adalah NC.

- a. Kota-kota disimpan pada larik L.
- b. Kita bangkitkan 2 bilangan random antara 1 sampai NC, misalkan kedua bilangan itu adalah N1 dan N2 dengan  $N1 < N2$ .
- c. Depan = L(1) sampai L(N1-1).
- d. Tengah = L(N1) sampai L(N2).
- e. Belakang = L(N2+1) sampai L(NC).
- f. Bangkitkan bilangan random r, apabila  $r < 0,5$ ; maka:
  - o DepanBaru = Depan.
  - o TengahBaru = Tengah dengan urutan dibalik.
  - o BelakangBaru = Belakang.
  - o Lbaru = [DepanBaru TengahBaru BelakangBaru]
- g. Jika  $r \geq 0,5$ ; maka kerjakan:
  - o Sementara = [Depan Belakang], misalkan memiliki M elemen.
  - o Bangkitkan bilangan random r dengan nilai antara 1 sampai M.
  - o DepanBaru = Sementara(1:r).
  - o TengahBaru = Tengah.
  - o BelakangBaru = Sementara(r+1:M).
  - o Lbaru = [DepanBaru TengahBaru BelakangBaru]

### 3. Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan melalui langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Menentukan variabel-variabel input properti sistem, yang meliputi: jumlah mesin, dimensi setiap mesin (panjang dan lebar), mesin-mesin yang digunakan pada setiap part, volume produksi, dan ukuran batch;
- b. Merepresentasikan solusi dengan analogi TSP.
- c. Menentukan parameter-parameter Simulated Annealing, yang meliputi: maksimum perulangan, maksimum sukses, dan penurunan temperatur.
- d. Mengaplikasikan simulated annealing untuk mencari tata letak mesin dengan biaya minimum.

### 4. Hasil Penelitian

#### 4.1 Input Sistem

Input data yang dibutuhkan oleh sistem adalah jumlah mesin, dimensi setiap mesin, dan urutan mesin yang digunakan dalam setiap part. Misalkan terdapat 15 mesin dengan dimensi seperti terlihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Dimensi mesin

Mesin	Panjang (unit)	Lebar (unit)
1	6	5
2	5	3
3	5	4
4	7	6
5	10	8
6	4	2
7	2	5
8	3	4
9	8	10
10	9	7
11	4	2
12	5	5
13	7	10
14	4	8
15	6	2

Ada 25 part, dengan urutan pengerjaan mesin, volume produksi, dan ukuran batch, seperti terlihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Part dan urutan mesin yang digunakan

Part	Urutan Mesin							Volume Produksi	Ukuran Batch
1	2	1	3	4				200	10
2	3	10	5	9	8	6	11	300	60
3	1	3	5	7	8			80	20
4	4	1	7	5				160	80
5	1	6	4	2	5			300	100
6	8	3	2	7	1			200	40
7	5	3	13	1				150	50
8	3	5	2	6	4	12		350	50
9	1	9	6	6	2			220	10
10	4	7	5	15				60	30
11	6	1	3	9	12			120	60
12	1	7	5	4				50	50
13	1	10						120	40
14	2	3	8					200	100
15	1	7	3	10	5	14		550	50
16	4	4	2					400	100
17	1	3						300	25
18	5	6	13					220	20
19	10	9						130	10
20	12	12	2	6				450	90
21	15	10	4					750	75
22	12	10	3	3	2			600	30
23	10	13	15	2				200	20
24	4	7	7					400	40
25	15	10						510	51

#### 4.2 Membentuk Matriks Jarak dan Matriks Aliran (Rate)

Pembentukan matriks jarak (D) dilakukan dengan menghitung jarak antar mesin i dengan mesin j secara rectilinear:

$$D_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$

dengan  $(x_i, y_i)$  adalah koordinat pusat mesin ke-i.

Pembentukan matriks aliran (M) didapat dari volume produksi dengan ukuran batch pada setiap mesin yang dilalui. Sebagai contoh aliran dari mesin 1 ke mesin 3 atau sebaliknya adalah 38 didapat part-1, 3, 11, dan 17 (Tabel 2); dengan perhitungan berikut :

$$M_{13} = \frac{200}{10} + \frac{80}{20} + \frac{120}{60} + \frac{300}{25} = 38$$

Dengan cara yang sama aliran seperti pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Matriks aliran (*rate*)

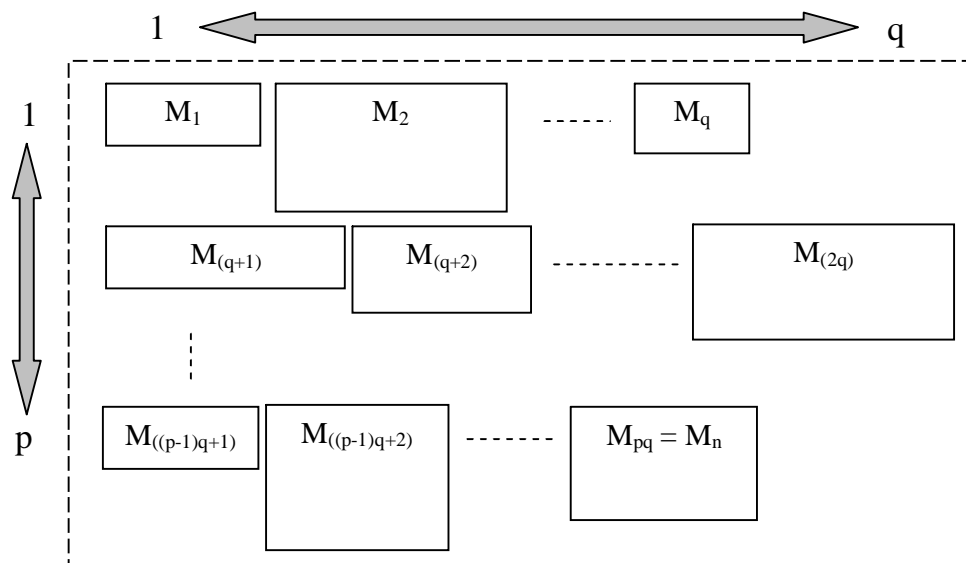
	I=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
j=1	0	20	38	2	0	5	19	0	22	3	0	0	3	0	0
2	20	0	27	7	10	34	5	0	0	0	0	5	0	0	10
3	38	27	40	20	14	0	11	7	2	36	0	0	3	0	0
4	2	7	20	8	1	10	12	0	0	10	0	7	0	0	0
5	0	10	14	1	0	11	9	0	5	16	0	0	0	11	2
6	5	34	0	10	11	44	0	5	22	0	5	0	11	0	0
7	19	5	11	12	9	0	20	4	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	7	0	0	5	4	0	5	0	0	0	0	0	0
9	22	0	2	0	5	22	0	5	0	13	0	2	0	0	0
10	3	0	36	10	16	0	0	0	13	0	0	20	10	0	20
11	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	5	0	7	0	0	0	0	2	20	0	10	0	0	0
13	3	0	3	0	0	11	0	0	0	10	0	0	0	0	10
14	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	10	0	0	2	0	0	0	0	20	0	0	10	0	0

### 4.3 Representasi solusi

Solusi yang diharapkan dari permasalahan ini adalah tata letak mesin sedemikian rupa sehingga:

- Lokasi yang ditempati mesin memiliki dimensi yang cukup untuk mesin tersebut.
- Tata letak meminimumkan *total flow cost*.

Diasumsikan bahwa area yang akan ditempati oleh semua mesin berbentuk empat persegi panjang. Banyaknya mesin yang akan disusun adalah  $n$  mesin. Banyaknya mesin yang diperbolehkan dalam setiap kolom adalah  $p$ , dan banyaknya mesin yang diperbolehkan dalam setiap baris adalah  $q$  [2]. Dengan demikian  $p \times q = n$ . Gambar 1 menunjukkan layout tata letak untuk  $n$  mesin.



**Gambar 1.** Layout tata letak mesin.

Satu kemungkinan solusi direpresentasikan sebagai suatu barisan:

$$M_1 \quad M_2 \quad M_3 \quad \dots \quad M_n$$

Kemudian barisan itu disusun dengan urutan seperti pada Gambar 1. Sehingga hanya dengan mengambil nomor mesinnya saja, barisan tersebut dapat diimplementasikan sebagai barisan bilangan integer positif:

1    2    3    ...    n

*Total flow cost* dicari dengan menggunakan formula [2]:

$$C(L) = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i}^n M_{ij} D(L(i), L(j)) \quad (1)$$

dengan:

- $C(L)$  = *total flow cost*.
- $M_{ij}$  = aliran dari mesin ke-i ke mesin ke-j.
- $D(L(i), L(j))$  = jarak antara mesin ke-L(i) dengan mesin ke-L(j) (rectilinear).

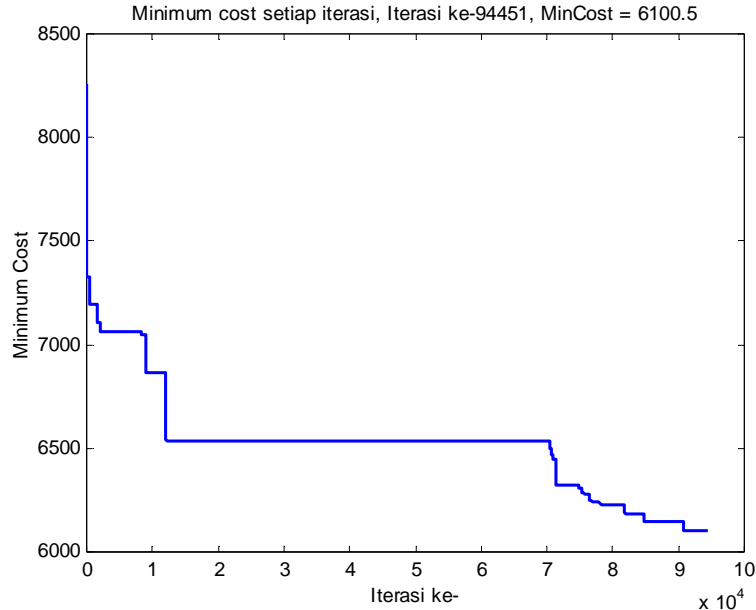
#### 4.4 Penetapan Parameter

Parameter-parameter ditetapkan sebagai berikut:

- a. Maksimum perulangan : 50 x Jumlah Mesin (= 750)
- b. Maksimum sukses : 1 x Jumlah Mesin (= 15)
- c. Penurunan temperatur : 0,95 x temperatur lama

#### 4.5 Hasil Penelitian

Pemrosesan dengan menggunakan simulated annealing dengan parameter-parameter di atas sampai pada terlihat pada Gambar 2.

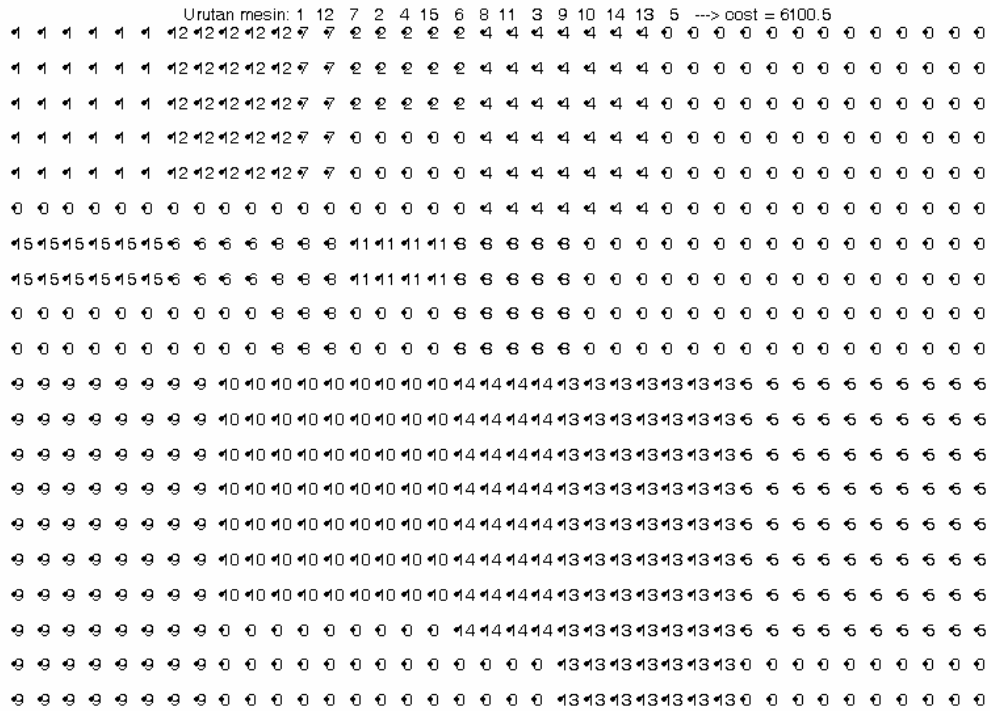


**Gambar 2.** Hasil pemrosesan dengan algoritma genetika di setiap generasi.

Layout tata letak fasilitas seperti pada Gambar 3, dengan urutan mesin:

1    12    7    2    4    15    6    8    11    3    9    10    14    13    6

dan *total flow cost* sebesar. 6100,5.



**Gambar 3.** Hasil layout tata letak fasilitas.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

- Simulated Annealing dapat dan cocok apabila digunakan untuk menentukan tata letak fasilitas.
- Pada penelitian diperoleh barisan mesin: 1, 12, 7, 2, 4, 15, 6, 8, 11, 3, 9, 10, 14, 13, dan 6; dengan *total flow cost* sebesar 6100,5.

## Daftar Pustaka

- [1] Apple, JM. *Tata Letak Pabrik dan Pemandahan Bahan*. Bandung: ITB. 1990.
- [2] Heragu, S. *Facilities Design*. Boston: PWS Publishing Company. 1997.
- [3] Press, W.H., B.P. Flannery, S.A. Teukolsky, dan W.T. Vetterling. *Simulated Annealing*. <http://www.physik.uni-osnabrueck.de/theophys/phertel/np/np-san.pdf>
- [4] Rich, Elaine dan Kevin Knight. *Artificial Intelligence*. New york: McGraw-hill Inc. 1991.
- [5] Sri Kusumadewi. *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: Graha Ilmu. 2003.
- [6] Tompkins, JM. *Facilities Planning*. New York: John Wiley & Sons Inc.