

# PENERAPAN CELLULAR MANUFACTURING SYSTEM DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA HEURISTIC SIMILARITY COEFICIENT UNTUK MEMINIMASI WAKTU SIKLUS DAN BIAYA MATERIAL HANDLING

Imam Sodikin, Winarni, Ngakan Jacky Prasatya  
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri  
Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta  
Jl. Kalisahak No. 28 Balapan Yogyakarta 55222

## ABSTRACT

*Production facility lay out is very important thing in want manufacturing factory. Because is closely related with material handling. Material handling activiity will influences the cycle time in product and production cost. With the existence of the factors make the manufacture competition this time tend to increase beside of the other factors is improve the customer desire changing every time. With the change quantity amount from product and product variasi so need the manufacture strategy to face the challenge and to win the market in future.*

*From the problems above appeare the opinion to do the research in a manufacturing business of Perusda Pabrik Logam Batur that has job shop type and needed a calculation method in determining the production lay out to finish the problem. As the lay out that mean is lay out of group technology. Cellular manufacturing system represent the applying from group technology in which the method is classify the parts that will be made on the basis of similarity design and process production.*

*The method used Single Linkage Clustering (SLC), Complete Linkage Clustering (CLC) and Average Linkage Clustering (ALC). The methods used to classify parts and machines in the manufacture cells. It is expected to reduce total distance material handling so cycle time and material handling cost also can be reduced.*

*The selected method is Single Linkage Clustering (SLC) classified 10 machines and 17 parts into 3 manufacture cells in which cell I consisted of machines 1, 10 and parts 5, 6, 7, 8, 3, 2, 4, 1, 12. Cell II consisted of machines 2, 5, 6, 7, 8, and parts 14, 15, 16, 17. Cell III consisted of machines 3, 9, 4 and parts 10, 11, 9, 13. From the above classification can be found total reduce of material handling distance as big as 71.48 metres/poduct from 450.17 metres / product for first lay out become 378.69 metres / product for relay out. The reduce of cycle time as big as 1.51 minute/product from 1797.22 minute/product for first lay out become 1795.71 minute/product for relay out. The reduce of material handling cost as big as Rp. 829.983,03 / 30 product or Rp. 27.666,1 / product from Rp. 6.004.166 / 30 product for first lay out become Rp. 5.174.182,97 / 30 product for relay out.*

**Key words:** *Grouping part-machine with Cellular Manufacturing System (CMS), Single Linkage Clustering (SLC) method, Complete Linkage Clustering (CLC) method and Average Linkage Clustering (ALC) method.*

## INTI SARI

Tata letak fasilitas produksi merupakan hal yang sangat penting dalam suatu perusahaan manufaktur, karena hubungannya sangat erat dengan *material handling*. Aktifitas *material handling* akan mempengaruhi waktu siklus suatu produk dan biaya produksi. Adanya faktor-faktor tersebut menjadikan persaingan manufaktur cenderung meningkat, di samping pemicu lain yaitu meningkatkan keinginan konsumen yang berubah-ubah. Akibat adanya perubahan kuantitas dan variasi produk, maka perlu strategi manufaktur untuk menghadapi tantangan dan untuk memenangkan pasar pada masa yang akan datang.

Perusda Pabrik Logam Batur merupakan perusahaan manufaktur dengan tipe *job shop*. Tata letak fasilitas produksi pada perusahaan tersebut memerlukan pembenahan dikarenakan adanya perubahan kuantitas dan variasi produk. Adapun tata letak yang dimaksud adalah tata letak berdasarkan *group technology*. *Cellular manufacturing system* merupakan penerapan dari *group technology* yang mengelompokkan *part* yang akan dibuat berdasarkan kemiripan desain dan proses produksinya.

Metode yang digunakan adalah *Single Linkage Clustering (SLC)*, *Complete Linkage Clustering (CLC)* dan *Average Linkage Clustering (ALC)*. Metode-metode tersebut digunakan untuk mengelompokkan *part* dan mesin ke dalam sel manufaktur. Dengan adanya sel manufaktur diharapkan dapat mengurangi total jarak *material handling* sehingga waktu siklus dan biaya *material handling* dapat dikurangi.

Metode yang terbaik yaitu *Single Linkage Clustering (SLC)* yang mengelompokkan 10 mesin dan 17 *part* ke dalam 3 sel manufaktur. Sel I terdiri dari mesin 1, 10 dan *part* 5, 6, 7, 8, 3, 2, 4, 1, 12. Sel II terdiri dari mesin 2, 5, 6, 7, 8 dan *part* 14, 15, 16, 17. Sel III terdiri dari mesin 3, 9, 4 dan *part* 10, 11, 9, 13. *Relay out* berdasarkan pengelompokan di atas menghasilkan total pengurangan jarak *material handling* sebesar 71.48 meter/produk,

pengurangan waktu siklus sebesar 1.51 menit/produk, dan pengurangan biaya *material handling* sebesar Rp. 829.983,03/30produk atau Rp 27.666,1/produk.

**Kata kunci :** Pengelompokan *part*-mesin dengan *Cellular Manufacturing System* (CMS), metode *Single Linkage Clustering* (SLC), metode *Complete Linkage Clustering* (CLC) dan metode *Average Linkage Clustering* (ALC).

## PENDAHULUAN

Tujuan jangka panjang dari perusahaan manufaktur adalah tetap eksis dalam bisnis, terus berkembang dan menghasilkan keuntungan (*profit*) bagi perusahaan. Karena itu perusahaan harus memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi untuk mencapainya, antara lain: kepuasan konsumen, harga yang bersaing, servis, dan kualitas yang baik.

Adanya faktor-faktor tersebut menjadikan persaingan manufaktur cenderung meningkat, di samping meningkatnya keinginan konsumen yang berubah-ubah. Dengan perubahan jumlah kuantitas dan variasi produk, maka perlu strategi manufaktur untuk menghadapi tantangan dan untuk memenangkan pasar pada masa yang akan datang.

Perusda Pabrik Logam Batur adalah salah satu perusahaan yang memproduksi berdasarkan pesanan (*job order*). Beraneka ragamnya produk yang diproduksi dan untuk mengantisipasi perubahan permintaan maka perusahaan harus mampu memilih tipe tata letak fasilitas produksi yang representatif. Penempatan mesin yang berjauhan akan menambah waktu maupun biaya *material handling*. Tipe yang sesuai untuk mengatasinya yaitu *group technology lay out*. Tipe tata letak ini dapat meningkatkan fleksibilitas pada *process lay out* dan produktivitas pada *product lay out* karena *group technology* merupakan komposisi dari kedua *lay out* tersebut.

*Cellular Manufacturing* (CM) merupakan penerapan langsung filosofi *Group Technology* dalam proses manufaktur. *Group Technology* (GT) yang diusulkan oleh Mitrofanov dan Burbidge adalah filosofi yang mengeksploitasi kemiripan atribut-atribut antar sekumpulan objek. CM merepresentasikan *part-part* sebagai objek yang diproduksi. Sedangkan yang dimaksud sebagai kemiripan atribut dapat berupa kemiripan bentuk geometris *part-part*, kemiripan proses produksi, dan lain-lain. Sekumpulan *part* yang mirip (*part family*) dibentuk untuk kemudian diproses dalam kelompok-kelompok mesin (*machine cell*).

Melalui penerapan CM dapat diperoleh keuntungan-keuntungan seperti pengurangan waktu siklus, pengurangan *in-process inventory*, peningkatan kualitas produk, *lead time* yang lebih pendek, pengurangan kebutuhan *tools*, peningkatan produktivitas, pengendalian operasi secara keseluruhan yang lebih baik dan lain lain (Singh, N dan Rajamani, D, 1996).

Sandra Rio (2000), mengkaji penerapan metode *Single Linkage Clustering* (SLC) dengan mengelompokkan *part* mesin. Deni Triana (2004), mengkaji penerapan metode BEA, ROC I, ROC II untuk mengelompokkan *part* mesin dan menghitung biaya *material handling*.

Dari latar belakang masalah di atas, dapat dirumuskan permasalahan:

1. Bagaimana mengelompokkan mesin dan *part* ke dalam sel manufaktur?
2. Seberapa besar pengurangan waktu siklus dan biaya *material handling*?

Adapun pembatasan pada penelitian ini adalah:

1. Teknik pengukuran jarak yang digunakan adalah *euclidean distance*
2. Proses pengelompokan mesin *part* ke dalam sel menggunakan pendekatan Algoritma *Heuristic Similarity Coeficient* dengan metode SLC, CLC dan ALC

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah kecepatan rata-rata perpindahan tiap *part* diasumsikan 3 km/jam atau 50 m/menit

Penelitian ini bertujuan:

1. Membuat pengelompokan mesin dan *part* dengan menggunakan aplikasi *Cellular Manufacturing Lay Out*
2. Mengurangi jarak *material handling* dan waktu siklus pada *relay out*
3. Mengurangi biaya *material handling* pada *relay out*

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Efisiensi pergerakan *part*
2. Pengurangan jarak *material handling*
3. Pengurangan waktu siklus dan biaya *material handling*.

## Tata Letak Fasilitas Produksi

Wignjosoebroto, S, 1996 mendefinisikan tata letak pabrik sebagai tata cara pengaturan fasilitas-fasilitas dengan memanfaatkan luas area seoptimal mungkin guna menunjang kelancaran proses produksi. Pengaturan tata letak yang baik dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas produksi sehingga kapasitas dan kualitas produk yang direncanakan dapat dicapai dengan tingkat biaya yang paling ekonomis.

Ada empat macam tipe tata letak yang umum diaplikasikan dalam desain lay out (Wignjosoebroto, S, 1996). Yaitu:

a. *Product Lay-out*

*Product lay-out* didefinisikan sebagai metode pengaturan dan penempatan semua produksi yang diperlukan untuk membuat satu jenis produk ke dalam satu departemen secara khusus. Dengan tata letak ini suatu produk akan dapat dikerjakan sampai selesai di dalam departemen tersebut tanpa harus dipindahkan ke departemen lain. Jenis tata letak ini biasa digunakan oleh pabrik yang memproduksi produk dengan variasi kecil tetapi volume produksinya besar.

b. *Process Lay-out*

*Process lay-out* atau tata letak berdasarkan fungsi atau macam proses merupakan metode pengaturan dan penempatan segala jenis mesin serta fasilitas produksi lainnya yang memiliki jenis yang sama ke dalam satu departemen. Tata letak berdasarkan proses ini biasanya digunakan pada industri manufaktur yang bekerja berdasarkan *job order*. Industri semacam ini volume produksinya relatif kecil, namun variasinya cukup besar, sehingga tata letak tipe ini akan terasa lebih fleksibel dalam memenuhi order-order yang bervariasi

c. *Product Family Lay-Out (Group Technology Lay-Out)*

Tata letak berdasarkan kelompok produk (*product family lay-out group technology lay-out*) adalah sebuah konsep untuk mengorganisasi sumber daya manufaktur untuk meningkatkan produktivitas. Tata letak tipe ini didasarkan pada pengelompokan produk atau komponen yang akan dibuat. Produk-produk yang tidak identik dikelompok-kelompokkan berdasarkan langkah-langkah pemrosesan. Bentuk, mesin, atau peralatan yang dipakai dan sebagainya. Disini pengelompokan tidak didasarkan pada kesamaan jenis produk akhir.

d. *Fixed Position Lay-Out*

Untuk tata letak pabrik yang berdasarkan proses tetap, material atau komponen produk-produk yang utama akan tinggal tetap pada posisi/lokasinya sedangkan fasilitas produksi seperti tools, mesin, manusia serta komponen kecil lainnya akan bergerak menuju lokasi material atau komponen produk utama tersebut.

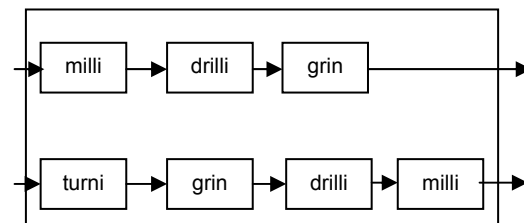
**Group Technology**

*Group Technology* adalah suatu konsep pengelompokan *part* atau komponen yang akan dibuat berdasarkan kesamaan desain produk, perencanaan proses, fabrikasi, perakitan dan pengendalian produksi dengan tujuan untuk mengurangi waktu siklus dan jarak *material handling* (Dani,2002). Pendekatan *Group Technology* dalam sistem manufaktur pertama kali diperkenalkan oleh Mitrofanov (1966) dan Burdidge (1971). Penerapan konsep *Group Technology* dalam manufaktur disebut *cellular manufacturing system* (CMS). Sehingga CMS dapat dikatakan sebagai suatu strategi untuk

memenangkan persaingan global dengan mengurangi biaya produksi, peningkatan kualitas dan pengurangan waktu pengiriman produk dalam lingkungan pasar dengan tingkat variasi tinggi tetapi tingkat permintaan menengah. Suatu perusahaan yang menerapkan konsep CMS akan mengelompokkan komponen-komponen produk ke dalam sebuah *family* yang disebut *part family* dan membentuk sel yang terdiri dari mesin-mesin dan pekerja-pekerja yang dibutuhkan untuk memproduksi *part family* tersebut. *Group Technology lay-out* dibagi menjadi tiga kategori (Singh, 1996):

a. *Group Technology Flow Line Layout*

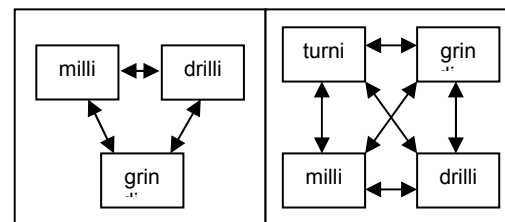
Tipe layout ini digunakan ketika semua komponen pada group mengikuti aturan mesin yang sama. *GT flow line* beroperasi seperti *mixed-product system* jalur perakitan. Mekanisme transfer perakitan terkadang digunakan untuk penanganan komponen di dalam group.



Gambar 1. GT Flow Line Layout

b. *Group Technology Cell Layout*

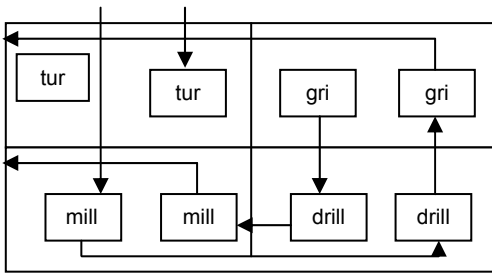
Pada *GT Cell Layout* mengijinkan komponen bergerak/pindah dari mesin yang satu ke mesin yang lain. Hal ini sangat berbeda dengan *GT Flow Line* di mana komponen-komponen di dalam group mengikuti urutan mesin yang sama. Mesin-mesin pada *GT Cell Layout* diletakkan berdekatan untuk mengurangi pergerakan penanganan material.



Gambar 2. G.T Cell Layout

c. *Group Technology Center Layout*

Tipe *Layout* ini didasarkan pada penyusunan mesin. Penyusunan ini dapat meningkatkan perubahan penanganan material dan sesuai pada saat *product-mix* sering berubah.



Gambar 3. GT Center Layout

**Pembentukan Production Flow Analisis (PFA)**

Untuk dapat mengidentifikasi *part family* dipergunakan *Production Flow Analisis* (PFA) disebut juga *incident matrix* yang merupakan suatu prosedur sistematis yang menganalisa informasi dari rute proses pembuatan part. PFA menampilkan informasi tentang jenis mesin yang dibutuhkan oleh tiap komponen saat kegiatan produksi dalam bentuk matrik.

PFA ini terdiri atas masukan 0 dan 1, di mana (1) menunjukkan bahwa *part* memerlukan pemrosesan dalam suatu mesin yang bersangkutan dan (0) menunjukkan bahwa mesin tidak digunakan untuk pemrosesan *part* yang bersangkutan.

Adapun langkah-langkah PFA sebagai berikut :

- a. Daftar semua *part* yang akan dibuat secara horizontal
- b. Daftar semua mesin yang digunakan untuk memproses *part* tersebut secara vertikal
- c. Isikan angka 1 pada koordinat pertemuan antara *part* dengan mesin bila *part* yang bersangkutan diproses di mesin tersebut

Tabel 1. *incident matrix* (PFA)

Part Mesin	1	2	3	4	5
1	1	0	1	0	0
2	0	1	1	0	1
3	1	0	0	1	0
4	0	0	1	0	1

Sumber : Singh, 1996

**Pembentukan Sel Manufaktur**

*Heuristic Similarity Coefficient* adalah suatu teknik pemecahan masalah yang didasarkan pada pengalaman/intuisi bukan optimasi. Dalam pengolahan data, perhitungan mencari sel manufaktur digunakan Algoritma *Heuristic Similarity Coefficient* di antaranya :

- a. *Single Linkage Clustering* (SLC)

Metode ini menggunakan prinsip jarak minimum yang diawali mencari suatu objek yang terdekat dan keduanya membentuk *cluster* yang pertama.

Pada langkah selanjutnya terdapat dua kemungkinan yaitu :

1) Objek ketiga akan bergabung dengan *cluster* yang telah terbentuk.

2) Dua objek lain akan membentuk *cluster* baru.

Proses ini akan berlanjut sampai akhirnya terbentuk *cluster* tunggal. Tahap awal metode ini adalah menghitung *similarity coefficient* terhadap *incident matrix* yang telah dibuat. *Incident matrix* tersebut berisi data hubungan mesin part dengan menggunakan persamaan *coefficient jaccard* seperti rumus di bawah ini:

$$S_{mn} = \frac{a}{a + b + c}, 0 \leq S_{mn} \leq 1,0 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- a = Banyak *part* yang sama
- b = *Part* yang pakai mesin m
- c = *Part* yang pakai mesin n

$$S_{tv} = \text{Max} \{ S_{mn} \} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- S = *Similarity* (kemiripan)
- t = mesin group t
- v = mesin group v

- b. *Complete Linkage Clustering* (CLC)

Pada metode ini digunakan kombinasi dua *cluster* yang mempunyai kesamaan nilai minimum, dari kesamaan nilai maximum pada SLC. Seperti pada persamaan berikut ini:

$$S_{tv} = \text{Min} \{ S_{mn} \} \dots\dots\dots(3)$$

Langkah pertama metode ini sama dengan metode *Single Linkage Clustering*. Kemudian menghitung dan menggabungkan kedua mesin dalam satu grup baru.

- c. *Average Linkage Clustering* (ALC)

Metode ini menggunakan prinsip bukan jarak. Jarak yang digunakan adalah rata-rata antar tiap pasangan objek yang mungkin. Ketika *cluster* t dan v digabungkan, hasil pengclusteran similaritas antara dua cluster itu adalah :

$$AS_{tv} = \frac{\sum_{met} \sum_{net} S_{mn}}{N_t \times N_v} \dots\dots\dots(4)$$

$N_t$  dan  $N_v$  adalah angka pada masing- masing group t dan v.

Tahap awal pengerjaan dengan menggunakan metode *average linkage clustering* hampir sama dengan *single linkage clustering*. Untuk mendapatkan *Jaccards similarity coefficient matrix* digunakan rumus dasar *jaccards similarity coefficient*, kemudian dibuat *matrix*nya, dilanjutkan dengan

mengcluster rata-rata pasangan objek yang mungkin dengan menggunakan pengamatan di atas. Kemudian nilai tersebut dimasukkan ke dalam tabel *jaccard similarity coefficient* yang kemudian terjadi pengelompokan *cluster* baru sesuai dengan nilai yang didapat sesuai dengan metode *average linkage clustering*

**Analisis Cluster**

Analisis *cluster* berhubungan dengan pengelompokan obyek menjadi kelompok homogen berdasarkan ciri-ciri obyek. Penerapan analisis *cluster* pada *Group Technology* adalah pengelompokan *part* menjadi *part family* dan sel-sel mesin dengan meminimasi jarak. Jarak yang dimaksud adalah jarak kemiripan spesifikasi antar *part* yang pada tahap sebelumnya telah direpresentasikan melalui digit-digit kode.

Analisis *cluster* memungkinkan transformasi matriks awal ke dalam bentuk yang lebih terstruktur yaitu kotak diagonal. Ilustrasi dari matriks dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. Matrik Awal Machine-Part

Part Mesin	1	2	3	4	5
1		1		1	1
2	1		1		
3		1		1	
4	1		1		

Sumber : Kusiak, 1990

Analisis *cluster* akan mengatur kolom dan baris tersebut dan menghasilkan matriks seperti berikut:

Tabel 3. Matrik Mesin-Part Analisis Cluster (*Mutually Separable Cluster*)

Part Mesin	1	3	2	4	5
2	1	1			
4	1	1			
1			1	1	1
3			1	1	

Sumber : Kusiak, 1990

Dari pengaturan matriks tersebut diperoleh dua kotak diagonal yang menandakan :

- a Dua buah sel manufaktur (*Manufaktur Cell / MC*).  
MC-1 yang terdiri dari Mesin 2 dan Mesin 4.  
MC-2 yang terdiri dari Mesin 1 dan Mesin 3.
- b Dua buah part family (*Part Family / PF*).  
PF-1 yang terdiri dari Part 1 dan Part 3  
PF-2 yang terdiri dari Part 2,4 dan Part 5.

**Performance Measures**

Untuk melakukan pemilihan alternatif dari pembentukan sel manufaktur terbaik diperlukan

suatu perbandingan kualitas solusi. Oleh karena itu diperlukan suatu pengukuran disebut *performance measure*.

Ada tiga macam metode yang digunakan untuk menghitung *performance measure* (Singh, 1996) sebagai berikut:

- a. *Grouping efficiency* ( $\eta$ )
- b. *Grouping efficacy* ( $\tau$ )
- c. *Grouping measure* ( $\eta_g$ )

a. *Grouping Efficiency* ( $\eta$ )

Dikenalkan oleh Chandrasekaran dan Rajagopalan (1986) (Singh,1996). Kebaikan dari sebuah solusi tergantung tingkat penggunaan (*utilization*) dari mesin dalam sel dan pergerakan antar sel (*inter-cell movement*). Oleh karena itu, *grouping efficiency* diusulkan sebagai rata-rata pembobotan dari dua efisiensi  $\eta_1$  dan  $\eta_2$

$$\eta = w \eta_1 + (1 - w) \eta_2 \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:  $\eta_1 =$

$$\frac{o - e}{o - e + v}$$

$$\eta_2 = \frac{MP - o - v}{MP - o - v + e}$$

$$\eta = (w) \frac{o - e}{o - e + v} + (1-w) \frac{MP - o - v}{MP - o - v + e}$$

Keterangan:

$\eta_1$  = jumlah masukan nilai 1 dalam blok diagonal terhadap jumlah total elemen dalam blok (baik 0 maupun 1)

$\eta_2$  = rasio jumlah masukan nilai 0 di luar blok diagonal terhadap jumlah total elemen di luar blok (baik 0 maupun 1).

M = jumlah mesin

P = jumlah part

w= faktor pembobot (angka 0.5 disarankan)

o= seluruh angka 1 yang ada pada matrik

e = jumlah angka 1 di luar sel

v = jumlah angka 0 dalam sel

b. *Grouping efficacy* ( $\tau$ )

Digunakan untuk mengatasi rendahnya kemampuan antara matrik terstruktur baik dengan matrik terstruktur kurang baik. *Grouping efficacy* tidak terpengaruh dengan ukuran matrik seperti yang terdapat pada *Grouping Efficiency*.

$$\tau = \frac{1 - \psi}{1 - \phi} = \frac{o - e}{o + v} \dots\dots\dots(6)$$

$$\psi = e/o, \phi = v/o$$

Keterangan :

$\psi$  = exceptional element

$\phi$  = void

c. **Grouping measure ( $\eta_g$ )**

Merupakan pengukuran langsung keefektifitasan dari sebuah algoritma untuk memperoleh matrik akhir pengelompokan.

$$\eta_g = \eta_u - \eta_m ; \quad -1 \leq \eta_g \leq 1$$

$$\eta_u = d/(d + v) ; \quad 0 \leq \eta_u \leq 1$$

$$\eta_m = 1 - (d/o) ; \quad 0 \leq \eta_m \leq 1$$

Keterangan:

$\eta_u$  = pengukuran pemrosesan *part* dalam mesin

$\eta_m$  = pengukuran pergerakan *part*

$d$  = jumlah masukan bernilai 1 dalam blok diagonal

**Material Handling**

Istilah *material handling* sebenarnya kurang tepat kalau diterjemahkan sekedar memindahkan bahan. Berdasarkan perumusan yang dibuat oleh *American Material Handling Society (AMHS)*. Pengertian mengenai *material handling* dinyatakan sebagai seni dan ilmu yang meliputi penanganan (*handling*), pemindahan (*moving*), pengepakan (*packaging*), penyimpanan (*storing*) sekaligus pengendalian (*controlling*) dari bahan atau material dengan segala bentuknya (Wignjosubroto.S, 1996).

**Teknik Pengukuran Jarak**

Teknik pengukuran jarak yang ada sekarang ini adalah sebagai berikut (Turner, W.C,1993, Deni ,2004):

a. *Euclidean distance*

Merupakan ukuran jarak antara dua item X dan Y. Jarak diukur dengan lintasan garis lurus antara satu titik ke titik lain dan diaplikasikan pada beberapa masalah lokasi jaringan kerja atau rute proses produksi suatu produk, sehingga sesuai dengan mesin yang ada di perusahaan untuk mencapai hasil yang optimal.

$$D(X,Y) = \sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2} \dots\dots(7)$$

Keterangan :

D (X,Y) = jarak antar fasilitas baru dengan yang ada.

X (x,y) = lokasi fasilitas yang baru

Y (a,b) = lokasi fasilitas yang ada

1. *Rectiliner*

Merupakan ukuran jarak antara dua item X dan Y, jarak diukur dengan menjumlahkan perbedaan jarak yang baru dengan fasilitas yang ada dengan harga yang mutlak.

$$D(X,Y) = |x-a| + |y-b| \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan :

D (X,Y) = jarak antar fasilitas baru dengan yang ada.

X (x,y) = lokasi fasilitas yang baru

Y (a,b) = lokasi fasilitas yang ada

**Menghitung Waktu Siklus**

Data-data yang digunakan sebagai input dalam menghitung waktu siklus adalah waktu operasi, dan waktu *material handling*.

Untuk menghitung waktu *material handling* dan waktu operasi maka yang menjadi dasar perhitungan adalah *routing* (urutan proses produksi) *part*.

$$t_{\text{material}} = \frac{\text{jarak material handling (m)}}{\text{kecepatan (m / mnt)}}$$

$$W_{\text{siklus}} = \sum W_{\text{proses}} + \sum W_{\text{material handling}} \dots\dots(9)$$

**Menghitung Biaya Material Handling**

Adapun biaya *material handling* terdiri dari upah orang memindahkan bahan, biaya investasi dari berbagai alat pemindahan yang digunakan dan biaya-biaya yang tidak bisa dipisahkan dan termasuk dalam biaya produksi untuk mengerjakan produk hasilnya. Adapun persamaan yang digunakan dalam penentuan biaya *material handling* sebagai berikut :

$$\text{Kapasitas alat perpindahan} = \frac{\text{ukuran alat angkut}}{\text{ukuran unit yang dipindahkan}} \dots\dots(10)$$

$$\text{Frekuensi perpindahan} = \frac{\text{Jumlah unit yang akan dipindahkan}}{\text{kapasitas alat pemndah bahan}}$$

$$\text{OMH/meter} = \frac{\text{biaya operasional}}{\text{jarak total frekuensi perpindahan}}$$

$$\text{OMH} = (\text{OMH/meter}) \times \text{jarak perpindahan}$$

**PEMBAHASAN**

Pembahasan ini terdiri dari pengelompokan *part* mesin dengan metode SLC, CLC,dan ALC, *performance measure* masing-masing metode, menghitung waktu siklus dan menghitung biaya *material handling*.

**Pembahasan Hasil Pengelompokan Part Mesin**

a. Sesuai dengan perhitungan metode SLC didapat pengelompokan sebagai berikut :

- Sel I *Machine cell* : 1,10  
*Part family* : 5,6,7,8,3,2,4,1,12
- Sel II *Machine cell* : 2,5,6,7,8  
*Part family* : 14,15,16,17
- Sel III *Machine cell* : 3,9,4

Part family : 10,11,9,13

b. Sesuai dengan perhitungan metode CLC didapat pengelompokan sebagai berikut :

- Sel I Machine Cell : 1,10  
Part Family : 1,5,6,7,8,2,4,3  
Sel II Machine Cell : 3,9,4  
Part Family : 9,13,12,10,11  
Sel III Machine Cell : 7,8,5,6,2  
Part Family : 14,15,16,17

c. Sesuai dengan perhitungan metode ALC didapat pengelompokan sebagai berikut :

- Sel I Machine Cell : 1,10  
Part Family : 1,3,5,6,7,8,2,4  
Sel II Machine Cell : 2,5,6,7,8  
Part Family : 9,13,12,10,11  
Sel III Machine Cell : 3,9,4  
Part Family : 14,15,16,17

### Pembahasan Hasil Perbandingan *performance measure* masing masing metode

Perbandingan *performance measure* masing masing metode dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 4. Perbandingan *performance measure* masing masing metode

Kriteria	SLC	CLC	ALC
Grouping Efficiency	0.86	0.85	0.85
Grouping Afficacy	0.63	0.62	0.62
Grouping Measure	0.59	0.57	0.57

Dari tabel di atas terlihat bahwa metode *Single Linkage Clustering* (SLC) menghasilkan solusi yang lebih baik karena memiliki nilai *performance measure* yang paling tinggi untuk pembentukan sel manufaktur dengan mengelompokkan 10 mesin dan 17 part kedalam 3 sel manufaktur hasil pengelompokan sebagai berikut :

- Sel I Machine cell : 1,10  
Part family : 5,6,7,8,3,2,4,1,12  
Sel II Machine cell : 2,5,6,7,8  
Part family : 14,15,16,17  
Sel III Machine cell : 3,9,4  
Part family : 10,11,9,13

Dari solusi tersebut teridentifikasi adanya 4 void (nilai 0 di dalam sel) dan 23 *exceptional element* (nilai 1 di luar sel). Setelah itu hasil dari pembentukan sel manufaktur dibandingkan dengan sel pada *lay out* awal sebagai berikut :

Tabel 5. Perbandingan *performance measure* SLC dengan *lay out* awal

Kriteria	SLC	lay out awal	selisih
Grouping Efficiency	0.86	0.21	0.65 atau 65%
Grouping Afficacy	0.63	0.41	0.22 atau 22%
Grouping Measure	0.59	0.41	0.18 atau 18%

Dari tabel di atas, terlihat selisih *performance measure* antara pengelompokan metode SLC dengan *lay out* awal cukup besar, maka untuk perhitungan waktu siklus dan biaya *material handling* bisa dilakukan dengan berpedoman pada pengelompokan part mesin metode SLC.

Berikut pergantian posisi mesin berdasarkan metode SLC.

- Mesin 1 posisinya tetap
- Mesin 2 diganti mesin 10
- Mesin 3 diganti mesin 2
- Mesin 4 diganti mesin 5
- Mesin 5 diganti mesin 6
- Mesin 6 diganti mesin 7
- Mesin 7 diganti mesin 8
- Mesin 8 diganti mesin 3
- Mesin 9 posisinya tetap
- Mesin 10 diganti mesin 4

Keterangan:

- Mesin 1 adalah mesin Bubut Mitchell (sedang)
- Mesin 2 adalah mesin Bubut Guang Zhou (kecil)
- Mesin 3 adalah mesin Bubut Dalian (besar)
- Mesin 4 adalah mesin Boor Webo (besar)
- Mesin 5 adalah mesin Boor Ixion (kecil)
- Mesin 6 adalah mesin Taping
- Mesin 7 adalah mesin Frais Reiden
- Mesin 8 adalah mesin Skrap
- Mesin 9 adalah mesin Las
- Mesin 10 adalah mesin Gerinda

Dengan adanya perpindahan mesin maka jarak *material handling* dapat dikurangi sebesar 71.48 meter/produk dari 450.17 meter/produk untuk *lay out* awal menjadi 378.69 meter/produk untuk pengelompokan SLC.

### Pembahasan Perhitungan Waktu Siklus

a Waktu siklus untuk *lay out* awal

Untuk menghitung waktu siklus diperlukan data perhitungan waktu *material handling*, diasumsikan kecepatan rata rata perpindahan tiap part sebesar 3 Km/Jam atau 50 m/menit.

$$t_{mh} = \frac{\text{jarak material handling (m)}}{\text{kecepatan (m / mnt)}}$$

Untuk *part* 1,  $t_{mh} = \frac{33.8}{50} = 0.68$  menit, sehingga waktu siklus *part* 1 adalah

$W_{siklus\ awal} = \sum W_{proses} + \sum W_{material\ handling}$   
 $= 55.4 + 0.68 = 56.08$  menit Kemudian jumlah total waktu siklus/produk dapat dihitung dengan menjumlahkan semua waktu siklus masing-masing *part*, hasil perhitungannya sebagai berikut:

$$W_{siklus\ awal} = \sum W_{proses} + \sum W_{material\ handling} = 1788.2 + 9.02 = 1797.22 \text{ menit/produk}$$

b Waktu siklus untuk *relay out* (SLC)

Untuk menghitung waktu siklus diperlukan data perhitungan waktu *material handling*, diasumsikan kecepatan rata-rata perpindahan tiap *part* sebesar 3 Km/Jam atau 50 m/menit.

$$t_{mh} = \frac{\text{jarak material handling}(m)}{\text{kecepatan}(m/mnt)}$$

Untuk *part* 1,  $t_{mh} = \frac{26.7}{50} = 0.53$  menit, sehingga waktu siklus *part* 1 adalah

$$W_{relay\ out} = \sum W_{proses} + \sum W_{material\ handling} = 55.4 + 0.53 = 55.93 \text{ menit}$$

Kemudian jumlah total waktu siklus/produk dapat dihitung dengan menjumlahkan semua waktu siklus masing-masing *part*, hasil perhitungannya sebagai berikut:

$$W_{relay\ out} = \sum W_{proses} + \sum W_{material\ handling} = 1788.2 + 7.51 = 1795.71 \text{ menit/produk}$$

#### 4. Pembahasan Perhitungan Biaya *Material handling*

Data yang diperlukan dalam menghitung ongkos *material handling* adalah sebagai berikut :

- Jumlah tenaga kerja/operator sebanyak 15 orang
- Upah tenaga kerja sebesar Rp. 400.000/bulan
- Alat angkut berupa kereta dorong berjumlah 1 buah dengan harga Rp. 500.000 dengan umur ekonomis 10 tahun.
- Jam kerja per minggu 42 jam

a. Penentuan Kapasitas Alat Angkut

Perusda Pabrik Logam Batur dalam aktifitas pemindahan bahannya menggunakan kereta dorong dengan ukuran 1.2 x 0.5 x 0.2 meter. Dengan diketahuinya ukuran masing-masing *part*, maka dapat diketahui pula kapasitas alat pemindahan bahan.

Kapasitas alat pemindahan bahan =  $\frac{\text{ukuran alat angkut}(m^3)}{\text{ukuran unit yang dipindahkan}(m^3)}$

Perhitungan kapasitas *part* IMPELER

$$\text{Kapasitas} = \frac{1.2 \times 0.5 \times 0.2}{0.27 \times 0.106 \times 0.106} = 40 \text{ unit.}$$

b. Penentuan Frekuensi Pemindahan Bahan

Frekuensi pemindahan bahan ditentukan oleh jumlah unit yang dipindahkan dan kapasitas alat angkut, dengan persamaan sebagai berikut  
 Frekuensi perpindahan =

$$\frac{\text{jumlah unit yang akan dipindahkan}}{\text{kapasitas alat pemindahan bahan}}$$

Perhitungan *part* IMPELER

$$\text{Frekuensi perpindahan} = \frac{38}{40} = 0.95 = 1 \text{ kali.}$$

c. Penentuan Biaya Pemindahan Bahan

Besarnya biaya pemindahan bahan per meter adalah sebagai berikut :

- Depresiasi /bulan =  $\frac{1 \times 500.000}{10 \times 12} =$

Rp 4.166/bulan

- Biaya operasional/bulan = biaya depresiasi + biaya operator

$$= \text{Rp } 4.166 + (15 \times 400.000)$$

$$= \text{Rp } 6.004.166/30 \text{ produk}$$

- Biaya pemindahan bahan /meter =

$$\text{Rp } 6.004.166/2062.64$$

$$= \text{Rp } 2.910,9/\text{meter}$$

d. Biaya Pemindahan Bahan *Lay Out* Awal

Berdasarkan jarak antar stasiun kerja dan frekwensi aliran bahan maka dapat ditentukan jarak total yang ditempuh selama kegiatan proses produksi. Perhitungan jarak total untuk *part* IMPELER = Frekuensi x Jarak = 3 x 9.41 = 28.23 meter dan seterusnya.

Sehingga dapat diketahui total jarak untuk *lay out* awal sebesar 2062.64 meter, dengan demikian dapat dihitung biaya *material handling* per 30 produk sebagai berikut:

$$\text{Biaya pemindahan bahan awal} = \text{Rp } 2.910,9 \times 2062.64$$

$$= \text{Rp } 6.004.166/30 \text{ produk}$$

e. Biaya Pemindahan Bahan *ReLay Out* (SLC)

Seperti halnya perhitungan total jarak awal, perhitungan total jarak *relay out* juga hanya mengalikan frekwensi dengan jarak. Sehingga dapat diketahui total jarak untuk *lay out* awal sebesar



1777.52meter, dengan demikian dapat dihitung biaya *material handling* per 30 produk sebagai berikut :

$$\begin{aligned} & \text{Biaya pemindahan bahan } relay \text{ out} \\ & = \text{Rp } 2.910,9 \times 1777.52 \\ & = \text{Rp } 5.174.182,97/30 \text{ produk} \end{aligned}$$

## KESIMPULAN

kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dari ketiga metode *heuristic* yaitu metode *Single Linkage Clustering* (SLC), *Complete Linkage clustering* (CLC), dan *Average Linkage Clustering* (ALC), metode *Single Linkage Clustering* (SLC) yang dipilih karena memiliki nilai *performance measure* yang paling besar
2. Metode *Single Linkage Clustering* (SLC) menghasilkan solusi yang lebih baik untuk pembentukan sel manufaktur dengan mengelompokkan 10 mesin dan 17 *part* ke dalam 3 sel manufaktur. Rincian hasil pengelompokan sebagai berikut :  
Sel I *Machine cell* : 1,10  
*Part family* : 5,6,7,8,3,2,4,1,12  
Sel II *Machine cell* : 2,5,6,7,8  
*Part family* : 14,15,16,17  
Sel III *Machine cell* : 3,9,4  
*Part family* : 10,11,9,13  
Dari solusi tersebut teridentifikasi adanya 4 *void* (nilai 0 di dalam sel) dan 23 *exceptional element* (nilai 1 di luar sel) dan terjadi pengurangan *grouping efficiency* sebesar 65 %
3. Dengan menerapkan metode *Single Linkage Clustering* (SLC) terjadi pengurangan-pengurangan sebagai berikut:
  - a. Pengurangan jarak *material handling* sebesar  $450.17 - 378.69 = 71.48$  meter/produk
  - b. Pengurangan waktu siklus sebesar  $1797.22 - 1795.71 = 1.51$  menit/produk
4. Dengan menerapkan metode *Single Linkage Clustering* (SLC) terjadi pengurangan biaya *material handling* sebesar  $\text{Rp } 6.004.166 - \text{Rp } 5.174.182,97 = \text{Rp } 829.983,03/30$  produk atau sebesar  $\text{Rp } 27.666,1/\text{produk}$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- Dani Hendarto (2002), *Penerapan Cellular Manufacturing System Untuk Meminimasi Waktu Siklus Dengan Menggunakan Enhanced Algoritma*, Skripsi UII.
- Deni Triana, (2004), *Penetapan Ongkos Material Handling Berdasarkan Pada Analisis Part dan Mesin Dengan Menggunakan Konsep Group Teknologi*, Skripsi IST AKPRIND.
- James M. Apple, (1990), *Tata Letak Pabrik dan Pemindahan Bahan*, Bandung: ITB Bandung.
- Kusiak, Andrew (1990), *Intelligent Manufacturing System*, New Jersey: Prentice Hall.

Sandra, Rio (2000), *Pengelompokan Mesin dan Part Dalam Group Teknologi dengan Menggunakan Metode SLC*, Skripsi Atma Jaya.

Singh, Nanua, and Divakar Rajamani (1996), *Cellular Manufacturing System, Design Planning and Controll*, London: Chapman & Hall.

Wignjosoebroto, Sritomo (1996), *Tata Letak Pabrik dan Pemindahan Bahan*, Jakarta: Guna Widya.