

Pengembangan Model Robust Cellular Manufacturing System yang Mempertimbangkan Kapasitas Mesin, Fleksibilitas Urutan Proses dan Perubahan Demand

Muhammad Shodiq Abdul Khannan[†]

Program Studi Teknik Industri, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa
Jalan Kusumanegara 157 Yogyakarta
Tel: 0274-562265, Fax: 022-547042
Email: mshodiqak@gmail.com

Anas Maruf

Jalan Ganesha 10, Bandung, 40132
Tel: 022-2506449, Fax: 022-2506449
Email: maruf@itb.ac.id

Abstrak. Pengaturan konfigurasi tata letak mesin penting untuk dilakukan untuk merespon dengan cepat pada perubahan pasar dan kebutuhan konsumen. Dalam merancang Cellular Manufacturing System (CMS) banyak kondisi nyata yang kompleks yang harus diperhatikan. Perancangan CMS harus mempertimbangkan kapasitas mesin agar bisa memastikan demand yang datang bisa diselesaikan dengan sumber daya mesin yang dimiliki. Faktor yang ditemui di industri menunjukkan proses produksi dari suatu komponen bisa mempunyai urutan proses alternatif. Penelitian ini mengembangkan model Robust CMS yaitu model yang konfigurasi mesin-cell tetap selama periode perancangan. Model dikembangkan untuk mengetahui pengaruh faktor kapasitas mesin dan perencanaan pada level operasi, mengetahui pengaruh biaya intracell dan intercell material handling, ukuran cell maksimum dan urutan proses alternatif terhadap total biaya. Metode yang digunakan untuk memecahkan masalah dalam penelitian ini adalah Integer Linear Programming. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perancangan CMS perlu memperhatikan faktor kapasitas dan perencanaan pada level operasi. Nilai perubahan parameter biaya intracell dan intercell material handling dan ukuran cell maksimum tidak terlalu berpengaruh pada total biaya. Sedangkan Urutan proses alternatif mempengaruhi total biaya. Urutan proses alternatif memberikan penghematan sebesar 21,52%.

Kata kunci: Robust CMS, Fleksibilitas Urutan Proses, Perubahan Demand

1. PENDAHULUAN

Kemampuan kompetitif dari sebuah perusahaan manufaktur tidak hanya tergantung dari produktivitas tinggi dari sistem manufaktur tetapi juga kemampuan merespon dengan cepat pada perubahan pasar dan kebutuhan konsumen (Renna, 2010). Perusahaan manufaktur harus memperhatikan perancangan konfigurasi dalam sistem manufaktur yang dimiliki. Pengaturan konfigurasi menjadi penting karena set yang sama dari kumpulan mesin dengan konfigurasi yang berbeda menyebabkan throughput sistem yang berbeda, dan untuk tata letak yang sama penentuan jenis dan jumlah mesin akan mempengaruhi efisiensi sistem manufaktur (Malhotra, 2009).

Perancangan Cellular Manufacturing System (CMS) memerlukan pertimbangan yang lebih kompleks dibandingkan perancangan flow shop maupun job shop manufacturing. Masalah utama yang dihadapi adalah sifat CMS yang kurang fleksibel terhadap perubahan pada demand. Ebara (2006) mengusulkan 2 model perancangan CMS yang mempunyai kapabilitas terhadap perubahan demand, model pertama adalah fleksibel design yang konfigurasi statik namun sudah

mempertimbangkan terjadinya perubahan demand pada periode perencanaan. Model kedua adalah redesign model yaitu manufacturing cell yang konfigurasinya bisa berubah pada periode tertentu selama periode perencanaan. Perbandingan hasil yang didapatkan menunjukkan model redesigning cell memberikan total biaya konfigurasi yang lebih kecil. Model yang dikembangkan Ebara (2006) belum mempertimbangkan perencanaan kapasitas. Kapasitas mesin memegang peranan penting dalam proses penyelesaian order yang datang. Jika kapasitas mesin lebih rendah dibandingkan dengan demand maka ada sebagian demand yang tidak bisa dikerjakan. Perancangan CMS harus mempertimbangkan kapasitas mesin agar bisa memastikan demand yang datang bisa diselesaikan dengan sumber daya mesin yang dimiliki. Faktor yang ditemui di lapangan menunjukkan proses produksi dari suatu komponen bisa dikerjakan di mesin yang berbeda/mempunyai urutan proses alternatif. Biaya *intracell* dan *intercell material handling* juga merupakan faktor yang ditemui di lapangan yang memerlukan perhatian dalam perancangan CMS. Oleh karena itu penelitian ini mengembangkan model Robust CMS yang mempertimbangkan kapasitas mesin dan urutan proses alternatif dan melakukan uji numerik untuk model tersebut. Metode penelitian yang digunakan adalah pengembangan model matematis. Metode yang dipakai untuk menyelesaikan masalah adalah metode *Integer Linear Programming*.

2. PENGEMBANGAN MODEL

Pengembangan model didasarkan pada dua model acuan yaitu model Ebara (2006) dan model Jayakumar (2010). Model yang dikembangkan adalah model Robust CMS. Fungsi tujuan dari model matematis adalah sama dengan model Ebara yaitu minimasi total biaya material handling dengan perencanaan berada pada level operasi dan mempertimbangkan kapasitas mesin.

2.1 Asumsi

Asumsi yang diambil:

1. Waktu operasi untuk pemrosesan semua tipe part dalam mesin yang berbeda diketahui dan deterministik.
2. Setiap part harus diproses berdasarkan urutan pemrosesan yang diketahui
3. Kapabilitas dan kapasitas mesin untuk setiap tipe diketahui dan dianggap konstan selama periode perencanaan.
4. Permintaan untuk setiap tipe part di setiap periode diketahui dan deterministik.
5. Biaya penyusutan untuk setiap tipe mesin untuk setiap periode diketahui.
6. Part dipindahkan dalam *batch*. Biaya *intercell material handling* diketahui dan konstan (independen terhadap jumlah *cell*)
7. Biaya operasi untuk setiap tipe mesin konstan dan diketahui.
8. Biaya variabel untuk setiap mesin diketahui. Biaya variabel tergantung/dependen terhadap beban kerja yang dialokasikan ke mesin.
9. Biaya relokasi setiap mesin dari satu *cell* ke *cell* yang lain dalam periode perencanaan diketahui.
10. Waktu yang dibutuhkan untuk relokasi diasumsikan sama dengan nol.
11. Jumlah *cell* maksimum sudah ditentukan dan selalu konstan selama periode perencanaan.
12. Jumlah mesin maksimum dalam satu *cell* sudah ditentukan, jumlah mesin minimum dalam satu *cell* tidak ditentukan
13. Setiap mesin bisa melaksanakan satu atau lebih operasi (fleksibilitas mesin) tanpa biaya modifikasi
14. Setiap operasi bisa dilaksanakan di tipe mesin yang berbeda (Fleksibilitas urutan proses)
15. Backorder tidak diijinkan
16. Tidak ada antrian produksi
17. Tidak mempertimbangkan inventori.
18. Mesin selalu siap dan tersedia selama periode waktu perencanaan
19. Nilai waktu-uang tidak dipertimbangkan
20. Ukuran *batch* konstan untuk semua produk dan seluruh periode.

2.2 Perancangan Fungsi Tujuan

Tujuan dalam perancangan *Cellular Manufacturing System* adalah meminimalkan biaya yang terkait, namun karena masalah kompleksitas dan keterbatasan waktu komputasional tidak semua biaya yang terkait bisa dipertimbangkan. Biaya-biaya yang terkait dalam perancangan CMS yang akan dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

1. Biaya *intercell material handling*
2. Biaya *intracell material handling*

2.3 Perancangan Fungsi Tujuan

Keputusan yang akan diambil dalam perancangan *CMS* ini adalah:

1. Penugasan pemrosesan setiap tipe part ke mesin dalam setiap periode
2. Penugasan setiap tipe mesin ke *cell* dalam setiap periode

2.4 Parameter Input

Parameter input yang harus tersedia selama periode perencanaan adalah:

1. *Product mix*: kumpulan tipe part yang harus diproduksi
2. *Product demand*: : kuantitas dari setiap tipe part yang harus diproduksi di setiap periode
3. Urutan operasi: daftar perintah operasi yang harus dikerjakan untuk setiap periode
4. Waktu operasi: waktu yang diperlukan untuk memproses untuk setiap part
5. Kapabilitas mesin: kemampuan setiap jenis mesin untuk melakukan operasi
6. Kapasitas mesin: jumlah waktu mesin yang tersedia untuk produksi dalam setiap periode
7. Mesin yang tersedia: kumpulan mesin yang akan digunakan untuk membentuk *manufacturing cell*

2.5 Fungsi Batasan

Constraint/Batasan yang harus ada/dipertimbangkan adalah:

1. Kapasitas mesin harus cukup untuk memproduksi *product mix* tertentu dalam level *demand* tertentu untuk setiap periode
2. Ukuran *cell* harus ditentukan
3. Jumlah *cell* dalam sistem dalam sistem harus ditentukan

Notasi

Indeks

- c : indeks untuk *manufacturing cell* ($c=1, \dots, C$)
 m : indeks untuk tipe mesin ($m=1, \dots, M$)
 p : indeks untuk jenis part ($p=1, \dots, P$)
 j : indeks untuk operasi yang dibutuhkan oleh part p ($j=1, \dots, Op$)
 h : indeks untuk periode waktu ($h=1, \dots, H$)

Parameter input

- P = jumlah tipe part
 O_p = jumlah operasi untuk tipe part p
 M = jumlah tipe mesin
 C = jumlah maksimum *cell* yang bisa dibentuk
 H = jumlah periode
- O_{mp} = $\begin{cases} 1 & \text{jika part } p \text{ memerlukan proses di mesin } m \\ 0 & \text{sebaliknya} \end{cases}$
- B_p^{inter} = ukuran *batch* untuk perpindahan *intercell* dari part tipe p
 B_p^{intra} = ukuran *batch* untuk perpindahan *intracell* dari part tipe p
 C^{inter} = Biaya *intercell material handling* (per *batch*)
 C^{intra} = Biaya *intracell material handling* (per *batch*)
 F^{inter} = Biaya *intercell material handling* (robust)
 F^{intra} = Biaya *intracell material handling* (robust)
 UB = maksimal ukuran *cell*, maksimum jumlah mesin per *cell*
 Dav_p = rata-rata *demand* untuk part tipe p

t_{jpm} = waktu pemrosesan yang dibutuhkan untuk memproses operasi j dari part tipe p di mesin tipe m dalam satuan waktu (jam)

a_{jpm} = $\begin{cases} 1 & \text{jika operasi } j \text{ untuk part tipe } p \text{ memerlukan proses di mesin } m \\ 0 & \text{sebaliknya} \end{cases}$

T_m = kapasitas waktu dari mesin m dalam satuan waktu (jam)

Model Robust CMS

Fungsi Tujuan

Minimasi

$$Z^f = F^{intra} + F^{inter} \quad (1)$$

Fungsi Batasan

$$\sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^M a_{jpm} \cdot x_{jpmc} = 1 \quad \forall j, p \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^P \sum_{p=1}^{O_p} D_p \cdot t_{jp} x_{jpmc} \leq T_m N_{mc} \quad \forall m, c \quad (3)$$

$$\sum_{m=1}^M N_{mc} \leq UB \quad \forall m, c \quad (4)$$

Sub Fungsi Tujuan

(i) Biaya intracell material handling (F^{intra})

$$F^{intra} = H \sum_{n=1}^P \sum_{i=1}^{O_p-1} \sum_{c=1}^C \left[\frac{D_p}{B_p^{intra}} \right] C^{inter} x \left(\sum_{m=1}^M |x_{j+1pmc} - x_{jpmc}| - \left| \sum_{m=1}^M x_{j+1pmc} - \sum_{m=1}^M x_{jpmc} \right| \right) \quad (5)$$

(ii) Biaya intercell material handling (F^{inter})

$$F^{inter} = H \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^{O_p-1} \sum_{c=1}^C \left[\frac{D_p}{B_p^{inter}} \right] C^{inter} x \left| \sum_{m=1}^M x_{(j+1)pmc} - \sum_{m=1}^M x_{jpmc} \right| \quad (6)$$

Fungsi tujuan *nonlinear* pada persamaan (1) adalah minimasi total penjumlahan biaya *intracell material handling* (F^{intra}) dan biaya *intercell material handling* (F^{inter}). Biaya *intracell material handling* (F^{intra}) pada persamaan (5) adalah penjumlahan perkalian (sum product) antara jumlah transfer *intracell* (Demand dibagi jumlah batch $[D_p/B_p]$) untuk semua operasi part tipe p dan biaya transfer *intracell* batch dari setiap part (C^{intra}). Biaya *intercell material handling* (F^{inter}) pada persamaan (6) adalah penjumlahan perkalian (sum product) antara jumlah transfer *intercell* transfer (Demand dibagi jumlah batch $[D_p/B_p]$) untuk semua operasi part tipe p dan biaya transfer *intercell*/batch dari setiap part (C^{inter}).

Persamaan fungsi pembatas (2) memastikan setiap operasi part diproses hanya 1 mesin diantara beberapa alternatif mesin yang bisa memproses. Pertidaksamaan (3) adalah fungsi pembatas kapasitas yang memastikan kapasitas mesin tidak terlampaui dan bisa memproses demand. Pertidaksamaan (3) juga menentukan jumlah dari setiap tipe mesin di setiap *cell* termasuk

duplikasi mesin (N_{mc}). Pertidaksamaan (4) memastikan ukuran maksimal *cell* tidak terlampaui/ menjamin jumlah mesin yang dialokasikan ke setiap *cell* tidak melebihi ukuran maksimum *cell*.

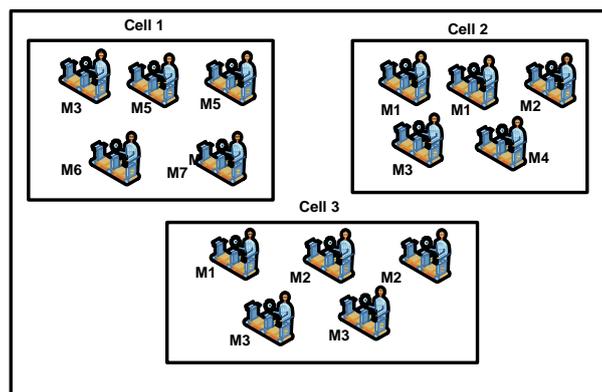
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data untuk contoh analisis numerik (diambil dari model Jayakumar, 2010). Data yang dipakai merupakan permasalahan perancangan Cellular Manufacturing System dengan 12 komponen dan 8 mesin (Lampiran A dan Lampiran B). Hasil uji numerik model Robust CMS berupa total biaya material handling disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 : Perbandingan Solusi Model Robust CMS
Dengan urutan proses alternatif vs tanpa Urutan proses alternatif

Dengan urutan proses alternative	tanpa Urutan proses alternative
$Z = F^{inter} + F^{intra}$	$Z = F^{inter} + F^{intra}$
$Z = \$ 13610$	$Z = \$ 17341$
$F^{inter} = \$ 974$	$F^{inter} = \$ 1884$
$F^{intra} = \$ 12636$	$F^{intra} = \$ 15456$

Dari Tabel 1. di atas dapat dilihat bahwa Urutan proses alternatif mempengaruhi total biaya *material handling* yang harus dikeluarkan. Total biaya untuk perancangan *CMS* yang mempertimbangkan Urutan proses alternatif memberikan total biaya yang lebih kecil. Dari data di atas ada penghematan sebesar \$ 3731 (21,52%). Variabel keputusan model ini adalah konfigurasi *machine-cell* (Gambar 1) dan Urutan proses permesinan (Tabel 2).



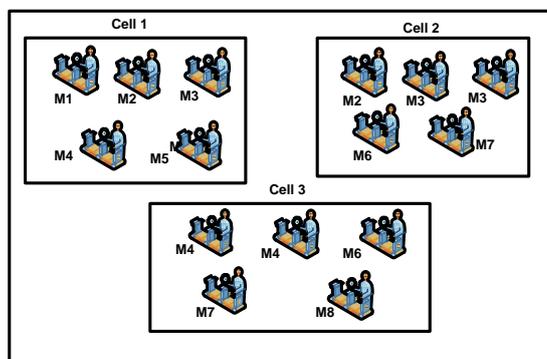
Gambar 1 : Konfigurasi Mesin-*cell* untuk Robust CMS (tanpa Urutan proses alternatif)

Dari Gambar 1. di atas Konfigurasi Mesin-*cell* untuk Robust CMS dapat dilihat mesin M3, M5, M6 dan M7 ditugaskan di *Cell* 1 dengan M5 ada 2 buah. Di *Cell* 2 ditugaskan mesin M1, M2, M3 dan M4 dengan M1 sebanyak 2 buah. Mesin M1, M2, M3 ditugaskan di *Cell* 3, dengan mesin M2 dan M3 ada sebanyak 2 buah.

Tabel 2 : Urutan proses untuk *Robust CMS*
Data tanpa Urutan proses alternatif, $x_{(i,p,m,c)}$

Tipe komponen	Urutan pemrosesan, <i>Machine(Cell)</i>
P1	7(1) – 5(1) – 5(1)
P2	2(3) – 2(3) – 3(3)
P3	2(2) – 4(2) – 5(1)
P4	1(2) – 4(2) – 1(2)
P5	3(1) – 3(1) – 2(3)
P6	2(2) – 2(2) – 3(2)
P7	1(2) – 1(2) – 2(2)
P8	5(1) – 5(1) – 3(1)
P9	4(2) – 3(2) – 4(2)
P10	3(3) – 3(3) – 2(3)
P11	6(1) – 7(1) – 7(1)
P12	1(3) – 1(3) – 1(3)

Tabel 2 menunjukkan routing pemrosesan untuk setiap komponen. Komponen P1 operasi pertama di proses di mesin 7 cell 1 kemudian operasi kedua diproses di mesin 5 cell 1 dan operasi ke 3 di mesin 5 cell 1. Demikian sama halnya untuk part P2 sampai P12. Konfigurasi mesin-cell untuk Robust CMS dengan Urutan proses alternatif disajikan di Gambar 2:



Gambar 2 : Konfigurasi mesin-cell Robust CMS (dengan Urutan proses alternatif).

Konfigurasi mesin model usulan Tahap I Robust CMS dengan urutan proses alternatif disajikan dalam Gambar 2. Mesin M1, M2, M3, M4, M5 ditugaskan di *Cell 1* masing-masing sebanyak 1 buah. 2 buah mesin M3 dan satu buah mesin M2, M6, M7 ditempatkan di *Cell 2*. 1 buah mesin M6, M7, M8 dan dua buah mesin M3 ditempatkan di *Cell 3*.

Tabel 3 : Urutan proses untuk Robust CMS
(data dengan urutan proses alternatif), $x_{(i,p,m,c)}$

Tipe komponen	Urutan proses, Mesin(Cell)
P1	7(3) – 7(3) – 8(3)
P2	2(2) – 2(2) – 3(2)
P3	5(1) – 4(1) – 5(1)
P4	4(3) – 4(3) – 7(3)
P5	3(2) – 3(2) – 2(2)
P6	2(1) – 2(1) – 3(1)
P7	4(3) – 6(3) – 6(3)
P8	5(1) – 5(1) – 4(1)
P9	4(1) – 3(1) – 4(1)
P10	7(2) – 6(2) – 6(2)
P11	8(3) – 8(3) – 8(3)
P12	1(1) – 1(1) – 1(1)

Tabel 2 menunjukkan Urutan pemrosesan untuk setiap komponen. Komponen P1 operasi pertama di proses di mesin 7 cell 3 kemudian operasi kedua diproses di mesin 7 cell 3 dan operasi ke 3 di mesin 8 cell 3. Demikian sama halnya untuk part P2 sampai P12. Dari Tabel 2 di atas menunjukkan untuk data menggunakan Urutan proses alternatif, proses permesinan lebih banyak dilakukan intracell dan jika ditinjau dari segi biaya *intracell material handling* lebih besar (Tabel1).

4. SIMPULAN

Penelitian ini telah mengembangkan model Robust *Cellular Manufacturing System* yang mempertimbangkan kapasitas mesin dan perencanaan pada level operasi. Model yang dikembangkan menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk memproses operasi dari semua part di satu mesin di suatu cell tidak melebihi kapasitas mesin jenis tertentu yang dimiliki. Parameter perubahan nilai biaya intercell relatif terhadap biaya intracell material handling tidak banyak berpengaruh pada total biaya namun menyebabkan perbedaan sedikit di konfigurasi tata letak mesin. Parameter ukuran maksimum cell tidak banyak berpengaruh pada total biaya namun menyebabkan operasi cenderung dikerjakan di dalam satu cell sampai selesai. Model ini juga menunjukkan bahwa urutan proses alternatif memberikan penghematan biaya sebesar \$ 3731 (21,52%).

LAMPIRAN

Lampiran A. Data yang digunakan untuk uji numerik untuk setiap tipe part diambil dari Jayakumar (2010)

tipe part, p	Ukuran batch inter-cell, B^{intra}	Biaya Inter-cell material handling per batch, C^{inter}	Ukuran batch Intra-cell, B^{intra}	Biaya Intra-cell material handling per batch, C^{intra}	Demand di setiap period, D_{ph} ,			Demand rata-rata, D_{av}
					Period 1	Period 2	Period 3	
P1	25	40	5	6	400	650	0	350
P2	30	40	6	6	650	0	400	350
P3	45	40	9	6	0	450	0	150
P4	25	40	5	6	750	500	600	617
P5	35	40	7	6	550	0	750	433
P6	25	40	5	6	0	500	350	283
P7	30	40	6	6	450	0	300	250
P8	25	40	5	6	650	0	350	333
P9	35	40	7	6	750	350	0	367
P10	40	40	8	6	900	450	700	683
P11	35	40	7	6	0	0	700	233
P12	30	40	6	6	350	600	0	317

REFERENSI

Ebara, H., Hirotsu, D., Takahashi, K., dan Morikawa, K. (2006), Cellular Manufacturing System Capable of Responding to Changes in Demand, Reconfigurable Manufacturing System and Transformable Factories, III, Pages 341-353, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Jayakumar, V. dan Raju, R. (2010), An Adaptive Cellular Manufacturing System Design with Routing Flexibility and Dynamic System Reconfiguration, European Journal of Scientific Research Vol. 47 No.4, pp. 595-611

Malhotra, V., Raj, T., dan Arora, A. (2009), Reconfigurable Manufacturing System: an overview, International Journal of Machine Intelligence, Vol. 1, Issue 2, pp.38-46

Renna, J. (2010), Capacity Reconfiguration Management In Reconfigurable Manufacturing Systems, I International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol 46, pp 395-404.

RIWAYAT HIDUP PENULIS

Muhammad Shodiq Abdul Khannan is adalah staf pengajar di Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa, Yogyakarta, Indonesia. Ia mendapatkan gelar ST dari Program Studi Teknik Industri Universitas Gadjah Mada dan mendapatkan gelar M.T. dari Program Studi Teknik Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung pada tahun 2012. Topik penelitian yang digeluti Cellular Manufacturing System dan Collaborative Production Planning. Alamat emailnya adalah mshodiqak@gmail.com

Anas Ma'ruf mendapatkan gelar Doktor dari program studi Mechanical and Structural Engineering from Toyohashi University of Technology, Jepang pada tahun 2000. Mulai tahun 2007 Ia menjadi Associate Professor pada Manufacturing System Research Group, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung. Topik penelitian yang digelutinya adalah CAD/CAM, intelligent manufacturing system dan production planning dan control for MTO industry. Alamat email beliau maruf@ti.itb.ac.id