

Usulan Tata Letak Sel Manufaktur untuk Meminimasi Perpindahan Antar Sel; Studi Kasus di Area Pemesinan PT. X

Marco Makmur, Anas Ma'ruf*

Fakultas Teknologi Industri - ITB; email: marcomakmur@gmail.com, maruf@itb.ac.id

* Corresponding author

Abstrak

PT. X merupakan industri berbasis pesanan untuk produksi aneka komponen pesawat. Produktivitas area pemesinan saat ini dievaluasi rendah dengan ditandai waktu perpindahan antar mesin mencapai 138 jam dari total waktu permesinan sebesar 257 jam per produk. Penelitian ini bertujuan untuk meminimasi perpindahan antar mesin dengan mengusulkan perubahan tata letak job shop menjadi tata letak sel manufaktur. Suatu algoritma pembentukan sel manufaktur diimplementasikan dengan penyesuaian agar sesuai dengan karakteristik area pemesinan, urutan proses komponen, volume produksi, dan kapasitas stasiun kerja di PT. X. Studi kasus yang diteliti mencakup 95 komponen pesawat dan 14 stasiun kerja. Rancangan solusi menghasilkan 2 sel manufaktur dengan jumlah stasiun kerja di masing-masing sel sebanyak 7 mesin. Usulan solusi berhasil mengurangi jumlah perpindahan antar sel manufaktur dengan dari 828 kali per bulan menjadi 138 kali per bulan.

Kata Kunci: sel manufaktur, perpindahan antar sel, koefisien kemiripan

Abstract

[A Manufacturing Cell Layout Plan to Minimize Movement Between Cells; Case Study in the Machining Area of PT. X] PT. X is a make to order industry to produce various aircraft components. The productivity of the machining area is currently evaluated as low, with the transfer time between machines reaching 138 hours out of a total machining time of 257 hours per product. This research aims to minimize movement between machines by proposing changing the job shop layout to a manufacturing cell layout. A manufacturing cell formation algorithm is implemented with adjustments to suit the characteristics of the machining area, operation sequence, production volume, and work station capacity at PT. X. The case studied cover 95 aircraft components and 14 work stations. The solution design produces 2 manufacturing cells with a total of 7 work stations in each cell. The solution design reduced the number of cell-to-cell transfers from 828 times per month to 138 times per month.

Keywords: manufacturing cell, intracell movement, similarity coefficient

Kelompok BoK yang bersesuaian dengan artikel: *Facilities Engineering & Energy Management*

Saran format untuk mensitasi artikel ini:

Makmur, M., dan Ma'ruf, A. (2023). Usulan Tata Letak Sel Manufaktur Untuk Meminimasi Perpindahan Antar Sel; Studi Kasus di Area Pemesinan PT. X. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Industri (SENASTI) 2023*, 165-174.

1. Pendahuluan

PT. X memiliki kompetensi utama dalam perancangan pesawat, pembuatan sebagian atau keseluruhan pesawat, dan pelayanan pesawat seperti perawatan dan kustomisasi pesawat sesuai pesanan konsumen. Salah satu program yang sedang dijalankan adalah pembuatan pesanan sayap pesawat dari perusahaan di Eropa. Pada saat ini, permintaan pesanan sayap adalah 6 unit per bulan. Namun, permintaan tersebut pada akhirnya akan meningkat menjadi 36 unit per bulan dalam beberapa tahun mendatang. Total komponen unik untuk membuat satu unit sayap adalah 95 komponen dan melibatkan 14 Stasiun Kerja (SK). Hasil diskusi dengan pihak manajemen PT. X menunjukkan bahwa produktivitas di area pemesinan tidak mampu menerima beban permintaan sebanyak 36 unit per bulan. Salah satu akar masalah rendahnya produktivitas di area pemesinan dikarenakan banyaknya perpindahan komponen antar mesin. Pada saat ini, tata letak lantai produksi area pemesinan PT. X berbentuk job shop dimana SK dikelompokkan berdasarkan jenis dan fungsinya. Untuk membuat 1 sayap, dibutuhkan perpindahan antar mesin sebanyak 138 kali.

Yang (2023) melakukan evaluasi terhadap 5 jenis layout. Berdasarkan hasil simulasi dan optimasi dari berbagai kriteria, disimpulkan bahwa tata letak sel manufaktur memiliki keunggulan output produksi jika industri tersebut memiliki varian produk yang beragam dan bukan untuk memproduksi produk masal (Hassan, 1995) (Voit et al., 2023). Oleh karena itu, implementasi sel manufaktur merupakan upaya untuk menurunkan kompleksitas produksi melalui evaluasi kemiripan proses sehingga waktu setup dan transportasi antar mesin dapat dikurangi (Greene & Sadowski, 1984) (Jana & Tiwari, 2021) (Sakran et al., 2019). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi efektivitas peningkatan produktivitas produksi melalui perubahan tata letak dari tata letak job shop menjadi sel manufaktur. Metode yang dipilih dalam memecahkan akar masalah tersebut adalah merancang pengelompokan SK untuk mengurangi perpindahan antar sel dengan memperhatikan urutan proses, volume produksi, dan kapasitas SK.

Dalam melakukan proses produksi pesawat beberapa persyaratan teknis perlu dipenuhi secara mutlak (Li & Lockett, 2017)(Formentini et al., 2021)(Zhao et al., 2019). Berdasarkan investigasi tersebut, persyaratan kritis terletak pada fase perakitan pesawat sehingga tidak ada kendala praktis khusus untuk area pemesinan komponen pesawat kecuali spesifikasi pemesinan pada umumnya. Oleh karena itu, penyusunan sel manufaktur area pemesinan dapat didekati menggunakan algoritma umum pembentukan sel manufaktur.

Perancangan sel manufaktur dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan baik secara analitik, algoritmik maupun simulasi. Pendekatan analitik memiliki kelemahan untuk merancang tata letak sel manufaktur karena permasalahan yang bersifat kombinatorial. Oleh karena itu pendekatan algoritmik maupun simulasi lebih banyak dipakai sebagai pendekatan studi kasus (Chang & Lee, 2000)(Srinivasan et al., 1990)(Wanner et al., 2022). Dengan demikian, perancangan tata letak sel manufaktur untuk studi kasus di PT. X akan dilakukan menggunakan pendekatan algoritmik.

2. Metode

Perancangan tata letak sel manufaktur dilakukan menggunakan kriteria tertentu sesuai dengan kasus yang dihadapi. Won & Kim (1997) mengembangkan pembentukan sel manufaktur dengan mempertimbangkan urutan operasi dan rute operasi alternatif. Algoritma ini dikembangkan lebih lanjut oleh Sofianoppoulou (1999) dengan menambahkan kriteria adanya duplikasi SK. Selanjutnya, penambahan kriteria volume produksi

dikembangkan oleh Gupta (1993) dan Yin & Yasuda (2002). Pengembangan terakhir atas model pembentukan sel manufaktur dilakukan oleh Alhourani (2013) dengan menambahkan kriteria kapasitas SK. Dengan demikian, model Alhourani merupakan model pembentukan sel manufaktur dengan mempertimbangkan multi-kriteria yang cukup komprehensif dan dijadikan sebagai algoritma utama dalam penyelesaian studi kasus PT. X.

Model Alhourani menggunakan koefisien kemiripan dalam penyusunan sel manufaktur. Adapun beberapa penyesuaian dilakukan agar algoritma penyusunan sel manufaktur sesuai dengan kondisi aktual di PT. X. Produk sayap yang diproduksi merupakan produk baru dan belum memiliki opsi rute alternatif. Penyesuaian model referensi pertama dilakukan pada rumus matematis koefisien kemiripan. Penyesuaian dilakukan dengan menghilangkan indeks r yang menunjukkan rute alternatif. Model matematis hasil penyesuaian adalah sebagai berikut.

Indeks

- j : indeks komponen
- i, l : indeks untuk SK
- k : indeks perpindahan di dalam SK i dan l
- a : indeks perpindahan di luar SK i dan l

Koefisien kemiripan

$$S_{il} = \frac{SM_{il}}{SM_{il} + NM_{il}} \quad (1)$$

$$SM_{il} = \sum_{j=1}^n (\sum_{k=1}^{n_j} Z_{iljk}) V_j \quad (2)$$

$$NM_{il} = \sum_{j=1}^n (\sum_{a=1}^{a_j} A_{ilja}) V_j \quad (3)$$

sehingga

$$S_{il} = \frac{\sum_{j=1}^n (\sum_{k=1}^{n_j} Z_{iljk}) V_j}{\sum_{j=1}^n (\sum_{k=1}^{n_j} Z_{iljk} + \sum_{a=1}^{a_j} A_{ilja}) V_j} \quad (4)$$

dimana

$$Z_{iljk} \begin{cases} 1 & \text{jika komponen } j \text{ mengunjungi kedua SK } i \text{ dan } l \text{ saat } k \\ 0 & \text{sebaliknya} \end{cases}$$

$$A_{ilja} \begin{cases} 1 & \text{jika komponen } j \text{ berpindah dari atau menuju ke salah satu antara} \\ & \text{SK } i \text{ dan } l \text{ ke SK lain saat } a \\ 0 & \text{sebaliknya} \end{cases}$$

a_j jumlah perpindahan yang dilakukan komponen j dari atau menuju ke SK i dan l ke SK lain

n_j jumlah perpindahan dimana SK j mengunjungi kedua SK i dan l

Seluruh fasilitas pemesinan yang tersedia di PT. X bersifat unik sehingga penugasan operasi pada suatu mesin tidak dapat dilakukan pada mesin yang lain. Apabila ada suatu proses pada SK melebihi kapasitas, maka beban proses tersebut tidak dapat dialihkan ke SK lainnya. Solusi praktis yang dilakukan di PT. X adalah dengan menambahkan jam kerja operator untuk SK tersebut. Penyesuaian kedua pada model utama adalah menghilangkan

tahapan pemilihan rute alternatif dan penentuan duplikasi SK pada algoritma penyusunan sel manufaktur dengan penyesuaian sebagai berikut.

Tahap 1

Solusi inisial didapatkan melalui perhitungan koefisien kemiripan (1)-(4). Dengan mempertimbangkan data urutan operasi, volume produksi, ukuran batch, ukuran sel dan batasan mesin, maka:

- Langkah 1: Hitung koefisien kemiripan untuk semua SK. Sel pertama dibentuk oleh dua SK dengan nilai koefisien kemiripan terbesar.
- Langkah 2: Selanjutnya lakukan perhitungan koefisien kemiripan SK antara sel yang terbentuk pada langkah 1 dengan SK lainnya hingga membentuk matrik koefisien kemiripan.
- Langkah 3: SK yang memiliki koefisien kemiripan terbesar pada matrik koefisien kemiripan yang dihasilkan pada langkah 2 digabung membentuk satu sel SK yang baru. Ulangi perhitungan nilai koefisien kemiripan antara cell SK yang baru terbentuk dengan SK (atau sel) yang lain. Iterasi ini dilakukan hingga memenuhi batasan ukuran sel maupun jumlah sel yang diinginkan.
- Langkah 4: Setelah terbentuk sel SK terbentuk, selanjutnya dilakukan identifikasi komponen family. Komponen dikelompokkan ke dalam sel SK berdasarkan jumlah perpindahan di dalam sel terbanyak di dalam sel SK. Hal ini dilakukan untuk menghindari dikelompokkannya komponen ke dalam sel yang tidak dikunjunginya.

Tahap 2

Setelah didapatkan solusi inisial pada tahap 1, dilakukan pemeriksaan terhadap kebutuhan kapasitas tiap SK berdasarkan pada waktu operasi komponen. Apabila kapasitas SK melebihi 100% maka akan dilakukan penambahan shift pada SK tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

Sebagai ilustrasi, contoh perhitungan dilakukan dengan menggunakan data hipotetik pada Tabel 1.

Tabel 1. Data hipotetik

Parts	Volume	Stasiun kerja					
		SK1	SK2	SK3	SK4	SK5	SK6
P1	50	1	3		2		
P2	30			1		3	2
P3	20			1		2	3
P4	30	1			2		
P5	20		3	2		4	1
P6	10	1	2	3			
P7	15		3			1	2
P8	40		2		1		

Dari matrik SK-komponen, dilakukan perhitungan koefisien kemiripan untuk mendapatkan matrik similaritas awal yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Matrik similaritas data hipotetik

	SK1	SK2	SK3	SK4	SK5	SK6
SK1		0,040816	0	0,444444	0	0
SK2			0,12766	0,367347	0,08	0,053571
SK3				0	0,108108	0,30303
SK4					0	0
SK5						0,382353
SK6						

Pengelompokkan sel manufaktur dimulai dengan mengelompokkan 2 SK dengan koefisien kemiripan terbesar, yaitu SK1 dan SK4. Selanjutnya dilakukan iterasi hingga terbentuk sel yang diinginkan. Batasan pada jumlah SK pada satu *sel* adalah 3. Iterasi perhitungan pembentukan sel manufaktur ditunjukkan pada Tabel 3 s/d Tabel 6.

Tabel 3. Matrik similaritas data hipotetik iterasi 1

	SK1 SK4	SK2	SK3	SK5	SK6
SK1 SK4		0,606061	0	0	0
SK2			0,12766	0,08	0,053571
SK3				0,108108	0,30303
SK5					0,382353
SK6					

Tabel 4. Matrik similaritas data hipotetik iterasi 2

	SK1 SK2 SK4	SK3	SK5	SK6
SK1 SK2 SK4		0,222222	0,133333	0,083333
SK3			0,108108	0,30303
SK5				0,382353
SK6				

Tabel 5. Matrik similaritas data hipotetik iterasi 3

	SK1 SK2 SK4	SK3	SK5 SK6
SK1 SK2 SK4		0,222222	0,259259
SK3			<u>0,583333</u>
SK5 SK6			

Tabel 6. Matrik similaritas data hipotetik iterasi 4

	SK1 SK2 SK4	SK3 SK5 SK6
SK1 SK2 SK4		
SK3 SK5 SK6		

Dengan merujuk pada Tabel 6, terbentuk dua sel manufaktur. Sel 1 berisikan SK1, SK2, dan SK4 sedangkan sel 2 berisi SK3, SK5, dan SK6. Dengan mengasumsikan bawah tata letak awal adalah job shop dan setiap SK merupakan representasi dari kelompok mesin maka jumlah perpindahan antar sel pada kondisi awal adalah sebanyak 410 kali dan setelah melakukan pengelompokan dari sel manufaktur mak perpindahan antar sel terjadi sebanyak 65 kali. Dengan menggunakan metode yang sama, rancangan sel manufaktur dilakukan pada PT. X. Adapun cuplikan matrik SK – komponen dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Cuplikan matrik SK – komponen

Komponen	SK1	SK2	SK3	SK4	SK5	SK6	SK7	SK8	SK9	SK10	SK11	SK12	SK13	SK14
D575-73014-200	2									1				
D57P 76552 210 00	2				1	4	3							
D57P 76552 212 00	2				1	4	3							
D57P 76552 214 00	2				1	4	3							
D57P 76552 220 00	2				1	4	3							
D57P 76561 204 00	2				1	4	3							
D57P 76561 206 00	2				1	4	3							
D57P 76561 208 00	2				1	4	3							
D57P 76710 222 00	2				1	4	3							
D57P 76710 224 00	2				1	4	3							
D57P 76710 226 00	2				1	4	3							
D57P 76710 228 00	2				1	4	3							
D57P 76555 274 00	2				1	3								
D57P 76810 202 00	2					4	3				1			
D57P 76880 202 00	2					4	3				1			
D575-73121-204	2					4	3	1						

Tabel 7. Cuplikan matrik SK – komponen (lanjutan)

D57P 76552 216 00	2	4	3	1									
D57P 76552 222 00	2	4	3	1									
D57P 76552 228 00	2	4	3	1									
D57P 76555 232 00	2	4	3	1									
D57P 76555 270 00	2	4	3	1									
D57P 76555 284 00	2	4	3	1									
D57P 76740 202 00	2	4	3	1									
D57P 76750 202 00	2	4	3	1									
D575-70358-200	2	4	3							1			
D575-73161-200-00	2	4	3									1	
D575-73161-202-00	2	4	3									1	
D575-70314-200	2	4	3					1					

Setelah pemetaan matrik SK – *komponen*, selanjutnya dilakukan pemetaan matrik similaritas menggunakan model *koefisien kemiripan* hasil penyesuaian. Matrik similaritas inisial dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Matrik similaritas inisial

	SK1	SK2	SK3	SK4	SK5	SK6	SK7	SK8	SK9	SK10	SK11	SK12	SK13	SK14
SK1		0,066	0,026	0,108	0,130	0,008	0,250	0,078	0,070	0,009	0,019	0,009	0,019	0
SK2			0,451	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK3				0,370	0,009	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK4					0,013	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK5						0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK6							0,433	0	0	0	0	0	0	0
SK7								0	0	0	0	0	0	0
SK8									0	0	0	0	0	0
SK9										0	0	0	0	0
SK10											0	0	0	0
SK11												0	0	0
SK12													0	0
SK13														<u>0,667</u>
SK14														

Dari matrik similaritas inisial, terlihat bahwa nilai koefisien kemiripan terbesar dimiliki oleh pasangan SK13 dan SK14, sehingga kedua SK dikelompokkan menjadi satu sel. Lakukan kembali perhitungan koefisien kemiripan pada matrik yang baru dan pengelompokkan

menggunakan algoritma pengelompokan sel manufaktur yang telah disesuaikan. Hasil rancangan sel manufaktur PT. X dapat dilihat pada Tabel 9. Sel 1 yang terdiri dari SK 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 dan sel 2 terdiri dari SK 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14. Dengan mengacu pada tingkat permintaan sebesar 6 unit per bulan (kondisi eksisting), rancangan pengelompokan SK yang baru berhasil mengurangi perpindahan antar sel dari 828 kali menjadi 138 kali per bulan.

Tabel 9. Solusi matrik similaritas

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14
M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7														
M8 M9 M10 M11 M12 M13 M14														

Implementasi perubahan tata letak kondisi saat ini menjadi menjadi sel manufaktur dapat dilakukan dengan memindahkan SK sesuai dengan sel manufaktur pada Tabel 10. Estimasi biaya pemindahan mesin sebesar Rp. 446.470.477 seperti yang diperlihatkan pada Tabel 10. Biaya pemindahan mesin tersebut dapat dikompensasi dengan penghematan biaya akibat berkurangnya frekuensi pemindahan material (Shtub, 1989).

Tabel 10. Biaya pemindahan mesin menjadi sel manufaktur

Sel 1	Mesin terpakai	1	2	1	1	1	1	1
	WC	1	2	3	4	5	6	7
Sel 2	Mesin terpakai	1	1	1	1	1	1	1
	WC	8	9	10	11	12	13	14
Keterangan		Biaya		Jumlah Mesin		Harga		
SDM	1 maintenance	Rp	994.545	13		Rp	12.929.091	
	2 helper	Rp	2.195.491			Rp	28.541.386	
	Pasak	Rp	80.000.000	2		Rp	160.000.000	
	Sekat Fitter machining	Rp	245.000.000	1		Rp	245.000.000	
Total Harga						Rp 446.470.477		

4. Kesimpulan

Penelitian ini merupakan studi kasus untuk meningkatkan produktivitas produksi melalui penurunan waktu transportasi pada area pemesinan di PT X. Objek studi mencakup 95 komponen sayap pesawat yang memiliki 14 stasiun kerja dengan tata letak job shop. Usulan perbaikan dilakukan dengan mengusulkan tata letak sel manufaktur. Algoritma pengelompokan sel manufaktur menghasilkan 2 sel manufaktur dengan manfaat mengurangi frekuensi perpindahan antar sel manufaktur. Usulan tata letak sel manufaktur pada PT. X mampu mengurangi jumlah perpindahan antar sel dengan dari 828 kali per bulan menjadi 138 kali per bulan.

Daftar Pustaka

- Alhourani, F. (2013). Clustering algorithm for solving group technology problem with multiple process routings. *Computers & Industrial Engineering*, 66(4), 781–790. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2013.09.002>
- Chang, P.-T., & Lee, E. S. (2000). A multiresolution method for cell formation—Exploring practical alternatives in group technology manufacturing. *Computers & Mathematics with Applications*, 40(10–11), 1285–1296. [https://doi.org/10.1016/S0898-1221\(00\)00239-X](https://doi.org/10.1016/S0898-1221(00)00239-X)
- Formentini, G., Cuiller, C., Dereux, P. E., Bouissiere, F., & Favi, C. (2021). Impact assessment of design guidelines in the conceptual development of aircraft product architectures. *Procedia CIRP*, 100, 223–228. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2021.05.059>
- Greene, T. J., & Sadowski, R. P. (1984). A review of cellular manufacturing assumptions, advantages and design techniques. *Journal of Operations Management*, 4(2), 85–97. [https://doi.org/10.1016/0272-6963\(84\)90025-1](https://doi.org/10.1016/0272-6963(84)90025-1)
- Gupta, T. (1993). Design of manufacturing cells for flexible environment considering alternative routing. *International Journal of Production Research*, 31(6), 1259–1273. <https://doi.org/10.1080/00207549308956790>
- Hassan, M. M. D. (1995). Layout design in group technology manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 38(2–3), 173–188. [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(94\)00090-W](https://doi.org/10.1016/0925-5273(94)00090-W)
- Jana, P., & Tiwari, M. (2021). *Lean Tools in Apparel Manufacturing*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-04124-9>
- Li, T., & Lockett, H. (2017). An Investigation into the Interrelationship between Aircraft Systems and Final Assembly Process Design. *Procedia CIRP*, 60, 62–67. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2017.01.056>
- Sakran, H. K., Mahbuba, H. M., & Jafer, A. S. (2019). A Review of a Basic Concept of Cellular Manufacturing. *International Journal of Design and Manufacturing Technology*, 8(1), 30–37.
- Shtub, A. (1989). Estimating the effect of conversion to a group technology layout on the cost of material handling. *Engineering Costs and Production Economics*, 16(2), 103–109. [https://doi.org/10.1016/0167-188X\(89\)90004-9](https://doi.org/10.1016/0167-188X(89)90004-9)
- Sofianopoulou, S. (1999). Manufacturing cells design with alternative process plans and/or replicate machines. *International Journal of Production Research*, 37(3), 707–720. <https://doi.org/10.1080/002075499191742>
- Srinivasan, G., Narendran, T. T., & Mahdevan, B. (1990). An assignment model for the part-families problem in group technology. *International Journal of Production Research*, 28(1), 145–152. <https://doi.org/10.1080/00207549008942689>

- Voit, P., Schnell, L., & Hohmann, A. (2023). A conceptual methodology for the planning of modular and scalable manufacturing cells in the context of Cyber-physical production systems. *Procedia CIRP*, 118, 276–281. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.06.048>
- Wanner, J., Weeber, M., Birke, K. P., & Sauer, A. (2022). Production planning and process optimization of a cell finishing process in battery cell manufacturing. *Procedia CIRP*, 112, 507–512. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.09.056>
- Won, Y., & Kim, S. (1997). Multiple criteria clustering algorithm for solving the group technology problem with multiple process routings. *Computers & Industrial Engineering*, 32(1), 207–220. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(96\)00209-4](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(96)00209-4)
- Yang, Z., & Lu, W. (2023). Facility layout design for modular construction manufacturing: A comparison based on simulation and optimization. *Automation in Construction*, 147, 104713. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104713>