

Re-Layout Tata Letak Bagian Percetakan Menggunakan Calullar Manufacturing System

Yohanes Anton Nugroho

Program Studi Teknik Industri, Universitas Teknologi Yogyakarta

Korespondensi penulis: yohanesanton@uty.ac.id

Abstract. *Material handling in the production division of publisher X encountered several obstacles, including the transfer of material between production processes having cross-movement flows. This condition occurs as a result of an irregular engine layout. The impact of the conditions in the transfer of material in the production process is the distance of the transfer to be 968.6 m/day. This condition causes some machines to be repositioned, so that material transfer can run faster and more efficiently. One of the efforts to reduce material transfer is to re-plan the placement of production facilities by adopting the concept of a cellular manufacturing system or cellular manufacturing system that is feasible to be applied to the production process of publisher X. The cellular manufacturing system was chosen because it is in accordance with the number of characteristics of the publishing industry that requires the ability to anticipate changes. This rapid demand suits a particular market. This article describes how the results of rearranging and minimizing the distance of moving raw materials in the production section of publisher X by adopting the concept of a cellular manufacturing system and rearranging the layout of production facilities by using sorting using Sorting Algorithms. The selection of the Sorting Algorithms is based on consideration of the order of the output which is not coherent, so it needs to be sorted. Efficient sorting is needed to determine the part-machine incidence matrix which is then used in the development of cellular manufacturing systems. Program development on Visual Studio 2012 software shows the results of facility layout planning by grouping 20 machines and 11 products with this layout change, the total material handling distance is reduced by 371.8 m or by 61.61%*

Keywords: *Facility layout, Material handling, Cellular manufacturing system, Sorting Based Algorithms*

Abstrak. Penanganan material di bagian percetakan penerbit X mengalami beberapa kendala, diantaranya pemindahan material antar proses produksi memiliki aliran pemindahan berpotongan (*cross movement*). Kondisi ini terjadi sebagai akibat tata letak mesin yang kurang teratur. Dampak dari kondisi dalam pemindahan material dalam proses produksi adalah jarak pemindahan menjadi sebesar 968.6 m/hari. Kondisi ini menyebabkan beberapa mesin perlu diatur ulang peletakannya, sehingga pemindahan material dapat berjalan dengan lebih cepat dan lebih efisien. Salah satu upaya mengurangi pemindahan material adalah melakukan perencanaan ulang penempatan fasilitas produksi dengan mengadopsi konsep *cellular manufacturing system* atau sistem manufaktur seluler yang feasible untuk diterapkan pada proses produksi penerbit X. Sistem manufaktur seluler dipilih karena sesuai dengan jumlah karakteristik industri penerbitan yang membutuhkan kemampuan untuk mengantisipasi perubahan permintaan yang cepat ini sesuai pasar tertentu. Artikel ini memaparkan bagaimana hasil pengaturan ulang dan minimasi jarak pemindahan bahan baku pada bagian produksi penerbit X dengan

Received September 07, 2022; Revised Oktober 2, 2022; November 22, 2022

* Yohanes Anton Nugroho, yohanesanton@uty.ac.id

mengadopsi konsep cellular manufacturing system dan melakukan pengaturan ulang tata letak fasilitas produksi dengan menggunakan pengurutan menggunakan Sorting Algorithms. Pemilihan Sorting Algorithms didasarkan pada pertimbangan pada urutan output yang tidak runtut, sehingga perlu untuk diurutkan. Sorting yang efisien sangat dibutuhkan menentukan part-machine incidence matrix yang selanjutnya digunakan dalam pengembangan sistem manufaktur selular. Pengembangan program pada software Visual Studio 2012 menunjukkan hasil perencanaan tata letak fasilitas dengan mengelompokkan 20 mesin dan 11 produk dengan perubahan layout ini didapatkan pengurangan total jarak material handling sebesar 371,8 m atau sebesar 61,61%..

Kata kunci: Material handling, Sistem Manufaktur Selular, Sorting Algorithms, Tata letak fasilitas

LATAR BELAKANG

Proses penanganan bahan (*material handling*) yang kurang sistematis menjadi masalah dan mengganggu kelancaran proses produksi sehingga mempengaruhi sistem manufaktur secara keseluruhan. Kondisi demikian terjadi di penerbit X mengalami kendala dalam hal jarak pemindahan bahan baku (*material handling*) yang kurang efisien. Pada proses pemindahan bahan terjadi aliran pemindahan bahan yang berpotongan (*cross movement*) dikarenakan tata letak mesin yang kurang teratur sehingga dapat mengakibatkan proses produksi kurang efektif dikarenakan terdapat jarak pemindahan barang antar mesin-mesin produksi mencapai 968.6 m/hari sehingga dapat menimbulkan biaya pemindahan bahan yang cukup besar.

Diperlukan pertimbangan bagaimana membuat atau mengubah tata letak fasilitas agar mendapatkan jarak yang lebih pendek. Penerapan model untuk menentukan diharapkan dapat membantu manajemen dalam melakukan analisis terhadap rencana-rencana penataan ulang (*re-layout*) fasilitas produksi di masa yang akan datang. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah menggunakan pendekatan sistem manufaktur seluler atau *cellular manufacturing system (CMS)*, dikarenakan menawarkan beberapa keuntungan. Beberapa keuntungan yang paling penting dari menggunakan CMS menurut Rabiei Hosseinabad, Adib, & Zaman (2020) adalah meningkatkan aliran material dan jadwal operasi, mengurangi jumlah mesin, pengurangan waktu setup, penurunan WIP, ruang produksi tabungan, dan peningkatan fleksibilitas dalam memenuhi permintaan pasar

Langkah penting dalam desain CMS adalah mengidentifikasi bagian *family* dan kelompok mesin dan akibatnya membentuk sel manufaktur (Hachicha, Masmoudi, & Haddar, 2008). Penggunaan sorting based algorithm digunakan karena output merupakan urutan yang tidak runtut (*nondecreasing*) dan merupakan permutasi (pengurutan kembali) dari inputan yang diberikan.

Beberapa penelitian yang mencoba membahas penggunaan sistem manufaktur seluler (*cellular manufacturing system*) antara lain adalah (Aiham Kadhimi Alshakarchi & Salman azeez, 2017; Alimian, Ghezavati, & Tavakkoli-Moghaddam, 2020; Bao, Kong, & Che, 2016; Bhangale & Mahalle, 2014; Bortolini, Galizia, Mora, & Pilati, 2019; Goyal, Jain, & Jain, 2013; Hachicha et al., 2008; Hamza & Jihad, 2019; Hooshyar Telegraphi & Bulgak, 2021; Khaksar-Haghani, Kia, Mahdavi, & Kazemi, 2013; Kia et al., 2012; Kia, Khaksar-Haghani, Javadian, & Tavakkoli-Moghaddam, 2014; Potdar, Sapkal, & Shivade, 2021; Saxena & Jain, 2011; Shafiee-Gol, Kia, Kazemi, Tavakkoli-Moghaddam, & Mostafayi Darmian, 2021; Su & Hsiao, 2021; Tavakkoli-Moghaddam, Rabbani, & Iman-Eini, 2004). Beberapa penelitian yang mencoba untuk mengembangkan penataan ulang dengan menggunakan pendekatan matematis adalah (Aiham Kadhimi Alshakarchi & Salman azeez, 2017; Bao et al., 2016; Potdar et al., 2021; Saxena & Jain, 2011)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kondisi tata letak fasilitas pabrik dengan pendekatan sistem manufaktur seluler, sehingga diharapkan dapat dicapai suatu tingkat efisiensi dan fleksibilitas yang tinggi. Salah satu alternatif yang digunakan untuk mendukung sistem perancangan fasilitas produksi adalah Sorting Based Algorithms pada bagian produksi penerbit X..

KAJIAN TEORITIS

Menurut Kia et al. (2014), manufaktur seluler (*cellular manufacturing*), merupakan strategi manufaktur inovatif yang berasal dari konsep *group technology* (GT), yang dapat digunakan untuk meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi di lingkungan manufaktur kompetitif modern saat ini, seperti *flexible manufacturing systems* (FMS) dan *produksi just-in-time* (JIT). Beberapa manfaat penerapan manufaktur seluler adalah pengurangan waktu setup, pengurangan persediaan barang dalam proses, pengurangan biaya penanganan material, peningkatan utilisasi mesin dan peningkatan kualitas.

Desain sistem manufaktur seluler (CMS) melibatkan sejumlah tahapan, menurut Wemmerlöv & Hyer (1986) pembentukan sel dengan mengelompokkan bagian-bagian dengan persyaratan pemrosesan yang sama ke dalam bagian *family* dan mesin yang sesuai ke dalam sel mesin, penataan tata letak kelompok dengan meletakkan mesin di dalam setiap sel (yang disebut tata letak intra-sel, dan sel-sel yang berkaitan satu sama lain, disebut tata letak antar-sel), melakukan penjadwalan kelompok dan mengalokasikan sumber daya (alat, sumber daya manusia dan material). Sementara menurut Dimopoulos & Zalzal (2000) pengembangan CMS dapat dilakukan melalui penugasan pekerjaan memilih mesin untuk setiap operasi, pembentukan sel dan pengelompokan mesin ke dalam sel, penataan letak sel di dalam rantai produksi, penataan tata letak mesin di dalam sel dan melakukan desain sistem transportasi.

METODE PENELITIAN

Proses penelitian dilakukan melalui sejumlah tahapan, diantaranya dimulai dari melakukan observasi awal di lokasi percetakan X. Pengumpulan data dilakukan menggunakan sumber data primer dan data sekunder. Adapun data yang diolah adalah layout dan ukuran ruang percetakan, jumlah fasilitas dan mesin, ukuran fasilitas pendukung, jumlah produk yang dihasilkan, ukuran produk yang diproduksi.

Pengolahan Data yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain adalah menentukan matriks awal, melakukan pengukuran performansi, menentukan matrik akhir, menentukan matriks jarak-jarak antar mesin, dan menentukan jarak material handling. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan metode *Sorting Based Algorithms*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengolahan data dilakukan melalui sejumlah tahapan dalam *Sorting Based Algorithms*. Adapun tahapan-tahapan dalam melakukan pengolahan data adalah sebagai berikut:

1. Menentukan Matriks Awal
2. Melakukan Pengukuran Performansi
3. Menentukan Matrik Akhir
4. Menentukan Matriks jarak-jarak antar mesin

Setelah dilakukan penentuan matriks awal dan pengukuran performansi, maka dapat dilakukan penentuan matriks akhir untuk menempatkan part atau komponen pada posisi yang tepat. Pengolahan matriks akhir dalam metode *Sorting Based Algorithms* dilakukan dengan menggunakan bantuan software Microsoft Visual Studio 2012. Hasil pengolahannya ditunjukkan pada Gambar 2.

```

E:\Shut down\Error\Tabu Search\Tabu Search Algoritm v01.exe
PERHITUNGAN MATRIKS BAGIAN COLOM (KOMPONEN)
perubahan biner ke Decimal >
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
046528 : 1
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
-1047552 : 2
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
-1047552 : 3
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
046528 : 4
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
0 -1048064 : 5
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
-1046784 : 6
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
-1046784 : 7
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
-1047040 : 8
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
046528 : 9
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
046528 : 10
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
046528 : 11
pengurutan Data dari besar ke kecil >
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
0 -1048064 : 1
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
-1047552 : 2
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
-1047552 : 3
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
-1047040 : 4
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
-1046784 : 5
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
-1046784 : 6
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
046528 : 7
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
046528 : 8
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
046528 : 9
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
046528 : 10
524288 262144 131072 65536 32768 16384 8192 4096 2048 1024 512 256 128 64 32 16 8 4 2 1
046528 : 11

```

Gambar 2. Pengolahan *Parthmechine Matriks*

Setelah melakukan pengolahan data *Parthmechine Matrix* maka selanjutnya dilakukan pengolahan menggunakan metode *Sorting Based Algorithms*. Adapun hasil dari pengolahannya ditunjukkan Gambar 3.

```

E:\Shut down\Error\Tabu Search\Tabu Search Algoritm v01.exe
HASIL INTERMEDIATE MATRIKS COLOM >
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

```

Gambar 3. Hasil *Parthmechine Matrix*

Dari Pengolahan data dengan metode Sortir Based Algorithms di atas maka didapat urutan terbaik. Dari hasil pengolahan *parthmechine matrix* tidak mengalami perubahan, yang artinya part atau komponen sudah berada pada posisi yang tepat. Kemudian untuk hasil Matriks Akhir dengan menggunakan metode *Sortir Based Algorithms* adalah sebagai berikut pada Gambar 4.

```

MATRIKS AKHIR >
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 : 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 : 2
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 : 4
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 : 7
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 : 8
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 : 9
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 : 12
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 : 19
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 : 20
1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 : 5
1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 : 15
0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 : 14
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 : 3
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 : 6
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 : 10
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 : 11
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 : 13
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 : 16
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 : 17
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 : 18
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

```

Gambar 4. Hasil Matriks Akhir

Berdasarkan hasil pengolahan metode *Sortir Based Algorithms* telah didapatkan urutan mesin terbaik. Selanjutnya urutan mesin pada *layout* awal diganti dengan urutan mesin usulan. Karena posisinya tetap dan hanya urutan mesinnya saja yang berubah maka matriks jarak *Material Handling* antara mesin pada proses produksi akan diganti dengan urutan yang terbaik, sehingga dapat diketahui ada atau tidaknya nilai pengurangan jarak. Adapun pergantian mesin yang harus diganti dan juga jarak antar mesin yang optimal *layout* usulan ditunjukkan pada

Tabel 1. Usuloh Perubahan Urutan Mesin

Mesin	Urutan	
	Awal	Usulan
Mesin A	1	1
Mesin B	2	2
Mesin C	3	4
Mesin D	4	7
Mesin E	5	8
Mesin F	6	9
Mesin G	7	12
Mesin H	8	19
Mesin I	9	20
Mesin J	10	5
Mesin K	11	15
Mesin L	12	14
Mesin M	13	3
Mesin N	14	6
Mesin O	15	10
Mesin P	16	11
Mesin Q	17	13
Mesin R	18	16
Mesin S	19	17
Mesin T	20	18

Berdasarkan hasil hasil usulan layout berdasarkan hasil running dari program seperti dditunjukkan pada Gambar 4, maka dapat ditentukan susunan layout seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Usulan layout bagian percetakan

Berdasarkan hasil usulan layout dengan layout awal, dapat dilakukan perbandingan jumlah jarak antara layout awal dan layout usulan mendapatkan selisih seperti Tabel 2.

Tabel 2. Selisih Jarak *Layout* Awal dan Usulan

No	Produk	Jarak (m)		
		Awal	Usulan	Selisih
1	Buku Pendidikan	87.2	52.3	34.9
2	Novel	87.6	55.0	32.6
3	Buku Bacaan Umum	87.6	55.0	32.6
4	Buku Sejarah	87.2	52.3	34.9
5	Buku Religi	87.6	55.0	32.6
6	Buku Ilmu Pengetahuan	88.7	52.1	36.6
7	Buku Cerita Anak	88.8	59.2	29.6
8	Buku Komik	88.8	59.2	29.6
9	Buku Pemerintahan	88.7	52.1	36.6
10	Buku Motivasi	87.2	52.3	34.9
11	Buku Teknologi	87.2	52.3	34.9
Jumlah		968.6	596.8	371.8

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dari analisa dan pembahasan dengan menggunakan metode Sorting Based Algorithms maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut jarak pada layout awal pada bagian produksi penerbit X adalah 968.6 meter per hari. kemudian Susunan mesin terbaik adalah mesin A, mesin B, mesin D, mesin G, mesin H, mesin L, mesin T, mesin U, mesin E, mesin O mesin N, mesin C, mesin F, mesin J, mesin K, mesin M, mesin P, mesin Q, mesin R, mesin S yaitu urutan terbaik mesin. Setelah urutan terbaik mesin urutan terbaik komponen yaitu buku Pendidikan, novel, bacaan umum, sejarah, religi, ilmu pengetahuan, cerita anak, komik, pemerintahan, motivasi dan teknologi. Jumlah jarak usulan adalah 596.8 meter perhari maka selisih antara jarak awal dan usulan adalah 371.8 meter.

DAFTAR REFERENSI

- Aiham Kadhim Alshakarchi, D., & Salman azeez, M. (2017). Plant layout design and assessment consideration of cellular manufacturing system via G.A. *Journal of Al-Qadisiyah for Computer Science and Mathematics*, 9(2). doi:10.29304/jqcm.2017.9.2.315
- Alimian, M., Ghezavati, V., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2020). New integration of preventive maintenance and production planning with cell formation and group scheduling for dynamic cellular manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 56. doi:10.1016/j.jmsy.2020.06.011
- Bao, W., Kong, F., & Che, H. (2016). Design model of cellular manufacturing system under the constraint of cost and delivery reliability. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, 2016(E10).
- Bhangale, J. H., & Mahalle, A. M. (2014). Reengineering the Layout: A CMS Methodological Approach. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 7(3). doi:10.4271/2014-01-9100
- Bortolini, M., Galizia, F. G., Mora, C., & Pilati, F. (2019). Reconfigurability in cellular manufacturing systems: a design model and multi-scenario analysis. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104(9–12). doi:10.1007/s00170-019-04179-y
- Dimopoulos, C., & Zalzal, A. M. S. (2000). Recent developments in evolutionary computation for manufacturing optimization: Problems, solutions, and comparisons. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 4(2). doi:10.1109/4235.850651
- Goyal, K. K., Jain, P. K., & Jain, M. (2013). A comprehensive approach to operation sequence similarity based part family formation in the reconfigurable manufacturing system. *International Journal of Production Research*, 51(6). doi:10.1080/00207543.2012.701771
- Hachicha, W., Masmoudi, F., & Haddar, M. (2008). Formation of machine groups and part families in cellular manufacturing systems using a correlation analysis approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(11–12). doi:10.1007/s00170-007-0928-9
- Hamza, S. A., & Jehad, A. (2019). HEURISTIC METHOD FOR SOLVING CELL FORMATION PROBLEM IN CELLULAR MANUFACTURING SYSTEM BASED ON HAMMING DISTANCE. *THE IRAQI JOURNAL FOR MECHANICAL AND MATERIALS ENGINEERING*, 19(1). doi:10.32852/ijqfmme.v19i1.267
- Hooshyar Telegraphi, A., & Bulgak, A. A. (2021). A mathematical model for designing a reliable cellular hybrid manufacturing-remanufacturing system considering alternative and contingency process routings. *SN Applied Sciences*, 3(3). doi:10.1007/s42452-021-04315-y
- Khaksar-Haghani, F., Kia, R., Mahdavi, I., & Kazemi, M. (2013). A genetic algorithm for solving a multi-floor layout design model of a cellular manufacturing system with alternative process

- routings and flexible configuration. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66(5–8). doi:10.1007/s00170-012-4370-2
- Kia, R., Baboli, A., Javadian, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Kazemi, M., & Khorrami, J. (2012). Solving a group layout design model of a dynamic cellular manufacturing system with alternative process routings, lot splitting and flexible reconfiguration by simulated annealing. *Computers and Operations Research*, 39(11). doi:10.1016/j.cor.2012.01.012
- Kia, R., Khaksar-Haghani, F., Javadian, N., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2014). Solving a multi-floor layout design model of a dynamic cellular manufacturing system by an efficient genetic algorithm. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(1). doi:10.1016/j.jmsy.2013.12.005
- Potdar, G. C., Sapkal, S. U., & Shivade, A. S. (2021). Modified direct clustering algorithm for group formation in cellular manufacturing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1049(1). doi:10.1088/1757-899x/1049/1/012019
- Rabiei Hosseinabad, E., Adib, M., & Zaman, U. (2020). A Brief Review on Cellular Manufacturing and Group Technology. *Research Journal of Management Reviews*, 5(1).
- Saxena, L. K., & Jain, P. K. (2011). Dynamic cellular manufacturing systems design - A comprehensive model. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53(1–4). doi:10.1007/s00170-010-2842-9
- Shafiee-Gol, S., Kia, R., Kazemi, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Mostafayi Darmian, S. (2021). A mathematical model to design dynamic cellular manufacturing systems in multiple plants with production planning and location–allocation decisions. *Soft Computing*, 25(5). doi:10.1007/s00500-020-05417-2
- Su, T. S., & Hsiao, H. H. (2021). Developing a fuzzy-set-based shortcut layout approach for a semiconductor inter-bay handling system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 115(3). doi:10.1007/s00170-020-06150-8
- Tavakkoli-Moghaddam, R., Rabbani, M., & Iman-Eini, M. (2004). Solving manufacturing cell formation problems in dynamic and stochastic states by a hybrid method. *Amirkabir (Journal of Science and Technology)*, 15(58 D).
- Wemmerlöv, U., & Hyer, N. L. (1986). Procedures for the part family/machine group identification problem in cellular manufacturing. *Journal of Operations Management*, 6(2). doi:10.1016/0272-6963(86)90021-5