

Minimasi *Slack Time* pada Penjadwalan *Make To Order Job Shop*

Ali Parkhan, Hermawan Adi Tanjung*

Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Abstract

In manufacturing Make to Order environment, order usually can be negotiated in order to satisfy customer need while it remains considering resources availability. Scheduling is utilized in a company to get higher efficiencies in production, minimize makespan and meet due date. There are some decisions related in scheduling activity i.e. sequencing, routing and determining starting time and finishing time of jobs. This paper will present application of Integer Linear Programming (ILP) and Critical Path Method (CPM) in scheduling. The methods are employed to determine due date that minimize slack time. This study resulted an optimal sequencing and routing of the jobs.

Keywords : *make to order, due date, slack time.*

1. Pendahuluan

Permasalahan optimasi pada lingkungan manufaktur biasanya berkenaan dengan pengalokasian sumber daya yang terbatas jumlahnya pada beberapa bidang pekerjaan. Salah satu bentuk optimasi pada sistem manufaktur adalah dengan menjadwalkan fasilitas-fasilitas produksi yang ada untuk menyelesaikan beberapa *job*, atau yang dikenal dengan penjadwalan atau *scheduling*. Permasalahan *scheduling* dapat diselesaikan dengan menggunakan algoritma atau model matematis. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai bagaimana meminimasi *slack time* pada penjadwalan *make to order job shop* dengan model matematis.

Prestige Garden, Jogjakarta merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang pembuatan produk kayu. Salah satu aliran produksinya bertipe *job shop* dimana perusahaan memproduksi berdasarkan pesanan (*job order*) dari konsumen. Pesanan tersebut biasanya mempunyai periode pesanan (siklus per periode) yang tidak menentu lamanya dan penentuannya dilakukan dengan kesepakatan antara perusahaan dengan konsumen, artinya perusahaan menawarkan waktu yang paling mungkin bagi perusahaan untuk menyelesaikan pesanan dari konsumen berdasarkan perkiraan awal atau perhitungan kemampuan perusahaan. Namun demikian, perusahaan masih perlu berupaya agar dapat mengurangi periode pemesanan menjadi lebih kecil dari waktu perkiraan awal berkaitan dengan tujuan perusahaan. Untuk mencapai hal tersebut, usaha yang dapat dilakukan perusahaan salah satunya adalah dengan meminimalkan *slack time*, karena waktu ini berpengaruh pada siklus per periode.

Jadi tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah menentukan urutan pengerjaan *job* pada tiap-tiap mesin sebagai dasar penentuan *due date* dengan *slack time* minimal.

* *Correspondence* : E-mail : aliparkhan@yahoo.com

2. Konsep-Konsep Kunci

2.1. Sistem Manufaktur

Manufaktur merupakan set dari operasi dan aktivitas yang memiliki korelasi, termasuk didalamnya desain produk, pemilihan material, perencanaan, produksi, inspeksi, manajemen, dan pemasaran produk. *Produksi Manufaktur* adalah rangkaian proses yang digunakan untuk aktivitas fabrikasi sebuah produk, dan proses lainnya, kecuali perancangan, perancangan, dan pengendalian produksi. *Proses Manufaktur* merupakan aktivitas manufaktur yang paling rendah untuk membuat sebuah produk, misalnya proses-proses permesinan umum. *Sistem Manufaktur* merupakan sebuah organisasi yang terdiri dari beberapa sub bagian manufaktur yang saling berhubungan.

2.2. Lingkungan *Make To Order* (MTO)

Pada lingkungan manufaktur MTO umumnya memiliki konfigurasi jenis produk yang relatif besar, dan permintaan konsumen untuk setiap spesifikasi produk atau karakteristik produk yang akan diproduksi sulit untuk diperkirakan. Kebanyakan produk akhir atau *sub-assemblies* yang dihasilkan bergantung pada jumlah bahan baku yang tersedia, karena pada umumnya produk yang dibuat berasal dari jenis bahan baku yang sama, namun dengan proses yang berbeda-beda. Beragamnya konfigurasi produk di lingkungan MTO ini pada umumnya menyebabkan perbedaan proses pengerjaan yang tinggi pula, sehingga jenis penjadwalan yang terjadi biasanya adalah berdasarkan *process layout* atau *job shop scheduling*.

Pada saat konsumen melakukan pemesanan untuk suatu produk, *due date* atau waktu paling akhir produk tersebut harus diterima oleh pelanggan dikonfirmasi bersama antara pihak perusahaan dengan pelanggan, sesuai dengan kebutuhan pelanggan tentang item produk tersebut maupun waktu yang diperlukan perusahaan untuk menyelesaikan produk tersebut. Untuk struktur produk yang selalu berubah-ubah sesuai dengan permintaan konsumen, pada umumnya penetapan *due date* disesuaikan dengan kesamaan pola atau tipe produk yang dibuat sehingga besarnya penyimpangan tidak terlalu berpengaruh pada jadwal penyerahan barang untuk konsumen. Permasalahan *due date* pada perusahaan dengan lingkungan manufaktur MTO menjadi hal yang sangat penting karena akan sangat mempengaruhi keseimbangan produksi perusahaan.

2.3. Optimasi *Due Date*

Secara umum, optimasi *due date* membutuhkan informasi seperti *Bill Of Material* (BOM), rencana proses setiap *part*, waktu desain dan perakitan, kapasitas aktual, dan sebagainya. Secara umum, penentuan *due date* bergantung pada penjadwalan operasi yang harus memperhitungkan faktor-faktor waktu proses dan beban sumber daya yang dimiliki. Aturan penetapan *due date* dan penjadwalan *job* akan mempengaruhi performansi rantai pabrik. Performansi aturan *dispatching* bergantung pada karakteristik *job* dan konfigurasi *shop*.

3. Membangun Model Penjadwalan

Pada lingkungan manufaktur MTO, kriteria performansi untuk mencapai *lead time* manufaktur adalah minimasi *slack part* terhadap *due date*-nya. Tujuan ini dapat dicapai dengan membangun model berikut :

Fungsi tujuan :

$$\min Z = \sum X_{jkm} \quad \text{atau} \quad \min Z = X_{\text{akhir}} \quad (1)$$

a. Batasan pengerjaan *job* berdasar *routing*

$$X_{jkm} - X_{jk-1m} \geq t_{jkm}$$

untuk $j = 1, \dots$, jumlah *job*, $k = 2, \dots$, jumlah operasi *job* j ,
 $m = 1, \dots$, jumlah mesin (2)

b. Batasan penggunaan mesin dalam mengerjakan *job*

$$X_{okm} - X_{jkm} - MY_{jom} \geq t_{okm} - M \quad (3)$$

$$X_{jkm} - X_{okm} + MY_{jom} \geq t_{jkm} \quad (4)$$

Untuk $j = 1, \dots$, jumlah *job* - 1, $o = j + a$, dengan $a = 1, \dots$, jumlah *job* - j ,
 $m = 1, \dots$, jumlah mesin, $k =$ indeks operasi *job* o atau *job* j di mesin m .

Hasil yang didapat adalah waktu akhir pengerjaan. Untuk mendapatkan waktu mulai pekerjaan bisa didapat dari

$$ST_{jkm} = FT_{jkm} - t_{jkm}$$

dengan

$$\begin{aligned} X_{jk} &= \text{waktu selesai operasi ke } k \text{ } job \text{ } j, \\ X_{jkm} &= \text{waktu selesai operasi ke } k \text{ } job \text{ } j \text{ di mesin } m, \\ t_{jkm} &= \text{waktu proses operasi ke } job \text{ } j \text{ di mesin } m, \\ Y_{jom} &\begin{cases} 1, \text{ jika } job \text{ } j \text{ mendahului } job \text{ } o \text{ di mesin } m \\ 0, \text{ untuk yang lainnya} \end{cases} \\ M &= \text{sebuah bilangan yang besar} \end{aligned}$$

Penggunaan bilangan besar berfungsi sebagai batasan yang akan memberikan hasil yang lebih banyak (*feasible*) dari permasalahan yang diselesaikan. Besarnya M diestimasi dan harus lebih besar dari total waktu mulai pekerjaan (*job*) sampai waktu akhir pengerjaan.

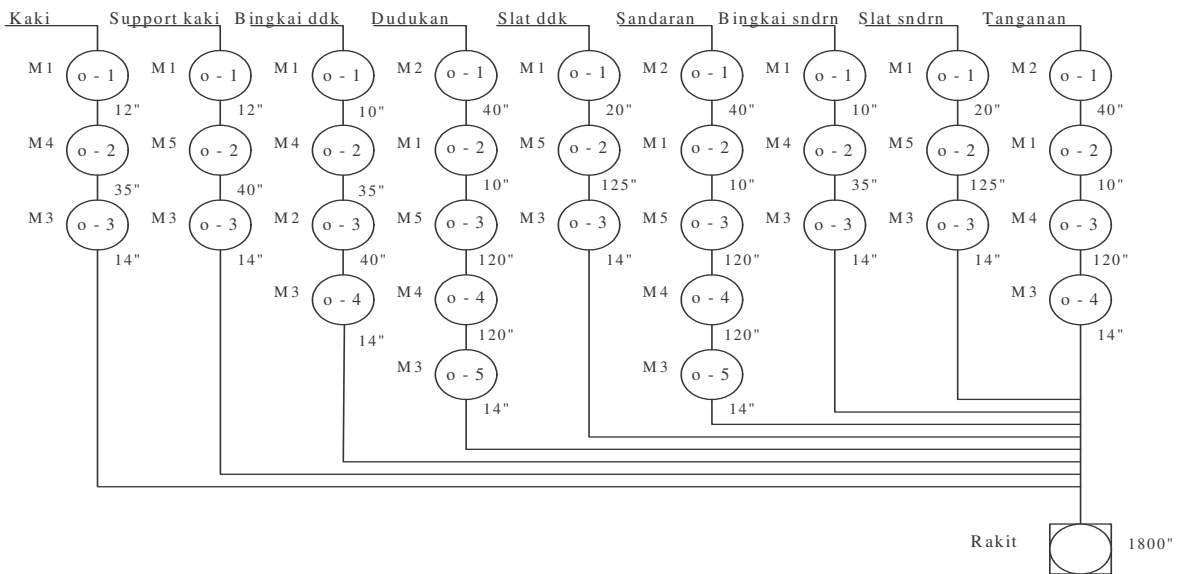
4. Metodologi Penelitian

Objek dari penelitian ini adalah bagian produksi perusahaan yang menghasilkan produk-produk dari kayu (*wood working product*) dan dikerjakan dengan proses mesin. Pada penelitian ini data-data yang dibutuhkan diambil dari proses pembuatan produk yang dibuat. Penjadwalan produksi menggunakan *Integer Linear Programming*.

Waktu siaga mesin dan *slack time* diminimalkan dengan pendekatan *Critical Path Method* (CPM) serta *Linear Programming*. Batasan-batasan yang digunakan dalam penentuan minimasi waktu siaga mesin dan *slack time* sama dengan batasan sebelumnya, yaitu batasan pengerjaan *job* berdasarkan *routing* dan batasan pengerjaan yang sama (berdasarkan hasil *dispatching* sebelumnya).

5. Hasil Penelitian

Proses produksi yang akan dianalisis, digambarkan sebagai berikut :



Ket : M1 = Mesin 1 (*Circle Potong*), M2 = Mesin 2 (*Spindel*), M3 = Mesin 3 (*Sending*), M4 = Mesin 4 (*Bor*), M5 = Mesin 5 (*Tenon*)

Gambar 1. Peta Operasi

Berdasarkan model penjadwalan sebagaimana rumus 1-4 di atas, didapatkan saat mulai, waktu proses, dan saat selesai tiap-tiap proses. Hasil tersebut dapat dituangkan dalam “*dispatching-1*”, dari hasil “*dispatching-1*”, jadwal produksi yang didapat untuk urutan pekerjaan atau *job* pada tiap-tiap mesin adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Urutan proses operasi hasil *Dispatching-1*

Mesin 1 (<i>Circle Potong</i>)				
	Operasi	Saat Mulai	Waktu Proses	Saat Selesai
1	X811	0	20	20
	IDLE	20	42	62
2	X921	62	10	72
3	X711	72	10	82
4	X511	82	20	102
5	X421	102	10	112
6	X211	112	12	124
7	X311	124	10	134
	IDLE	134	41	175
8	X621	175	10	185
	IDLE	185	92	277
9	X111	277	12	289

Lanjutan Tabel 1.

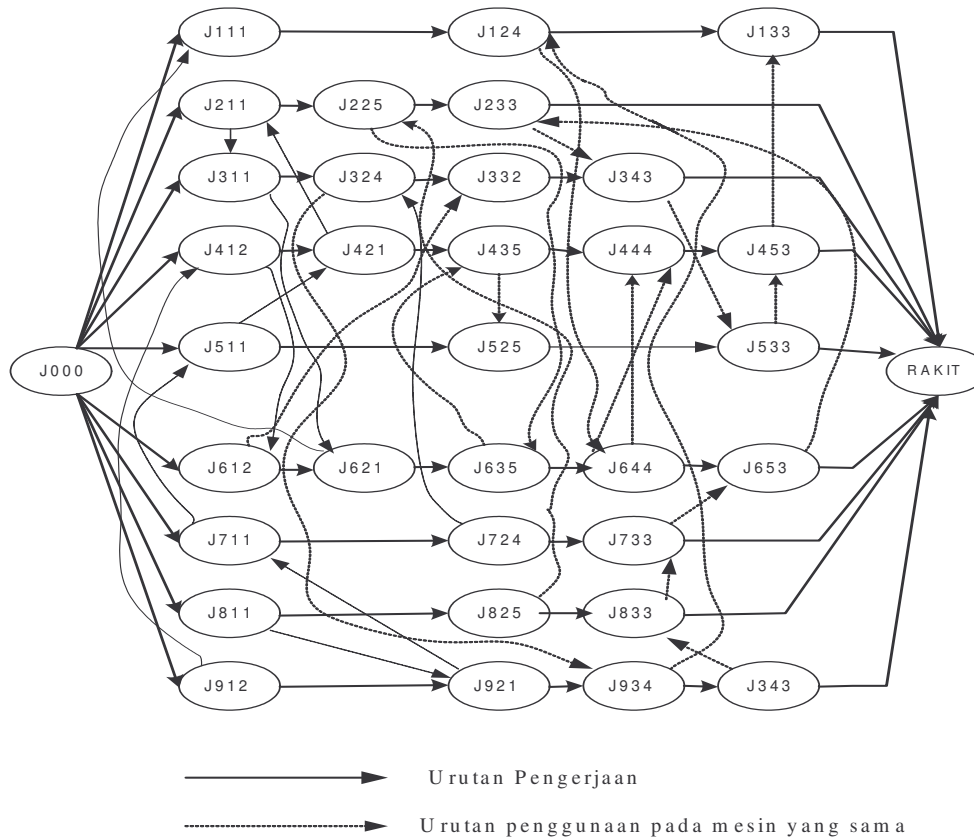
Mesin 2 (Spindel)				
	Operasi	Saat Mulai	Waktu Proses	Saat Selesai
	IDLE	0	22	22
1	X912	22	40	62
2	X412	62	40	102
	IDLE	102	33	135
3	X612	135	40	175
	IDLE	175	321	496
4	X332	496	40	536
Mesin 3 (Sending)				
	Operasi	Saat Mulai	Waktu Proses	Saat Selesai
	IDLE	0	289	289
1	X943	289	14	303
2	X833	303	14	317
3	X733	317	14	331
	IDLE	331	133	444
4	X653	444	14	458
5	X233	458	14	472
	IDLE	472	64	536
6	X343	536	14	550
7	X533	550	14	564
8	X453	564	14	578
9	X133	578	14	592
Mesin 4 (Bor)				
	Operasi	Saat Mulai	Waktu Proses	Saat Selesai
	IDLE	0	99	99
1	X724	99	35	134
2	X324	134	35	169
3	X934	169	120	289
4	X124	289	35	324
5	X644	324	120	444
6	X444	444	120	564
Mesin 5 (Tenon)				
	Operasi	Saat Mulai	Waktu Proses	Saat Selesai
	IDLE	0	20	20
1	X825	20	125	145
2	X225	145	40	185
3	X635	185	120	305
4	X435	305	120	425
5	X525	425	125	550
RAKIT				
	Operasi	Saat Mulai	Waktu Proses	Saat Selesai
	IDLE	0	592	592
1	RAKIT	592	1800	2392

Berikut waktu siaga tiap mesin beserta *slack time*

Tabel 2. Waktu siaga dan *slack time*

	Waktu Siaga	Slack Time
Mesin 1	289	175
Mesin 2	514	354
Mesin 3	303	177
Mesin 4	465	0
Mesin 5	530	0
RAKIT	1800	0
TOTAL	3901	706

Berdasarkan *dispatching-1*, waktu siaga mesin dapat diminimalkan dengan pendekatan CPM, berikut gambar jaringan yang didalamnya terdapat urutan pekerjaan dan urutan operasi dalam mesin yang sama :



Gambar2. Jaringan Produk

Hasil tersebut dapat dituangkan dalam "*dispatching-2*". Dari hasil "*dispatching-2*", jadwal produksi yang diperoleh untuk urutan pekerjaan atau *job* pada tiap-tiap mesin adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Urutan proses operasi hasil *Dispatching-2*

Mesin 1 (Circle Potong)				
	Operasi	Saat Mulai	Waktu Proses	Saat Selesai
1	X811	0	20	20
	IDLE	20	20	40
2	X921	40	10	50
3	X711	50	10	60
4	X511	60	20	80
5	X421	80	10	90
	IDLE	90	22	112
6	X211	112	12	124
7	X311	124	10	134
	IDLE	134	41	175
8	X621	175	10	185
	IDLE	185	92	277
9	X111	277	12	289
Mesin 2 (Spindel)				
	Operasi	Saat Mulai	Waktu Proses	Saat Selesai
1	X912	0	40	40
2	X412	40	40	80
3	X612	80	40	120
	IDLE	120	49	169
4	X332	169	40	209
Mesin 3 (Sending)				
	Operasi	Saat Mulai	Waktu Proses	Saat Selesai
	IDLE	0	466	466
1	X943	466	14	480
2	X833	480	14	494
3	X733	494	14	508
4	X653	508	14	522
5	X233	522	14	536
6	X343	536	14	550
7	X533	550	14	564
8	X453	564	14	578
9	X133	578	14	592
Mesin 4 (Bor)				
	Operasi	Saat Mulai	Waktu Proses	Saat Selesai
	IDLE	0	99	99
1	X724	99	35	134
2	X324	134	35	169
3	X934	169	120	289
4	X124	289	35	324
5	X644	324	120	444
6	X444	444	120	564

Lanjutan Tabel 3.

Mesin 5 (Tenon)				
	Operasi	Saat Mulai	Waktu Proses	Saat Selesai
	IDLE	0	20	20
1	X825	20	125	145
2	X225	145	40	185
3	X635	185	120	305
4	X435	305	120	425
5	X525	425	125	550
RAKIT				
	Operasi	Saat Mulai	Waktu Proses	Saat Selesai
	IDLE	0	592	592
1	RAKIT	592	1800	2392

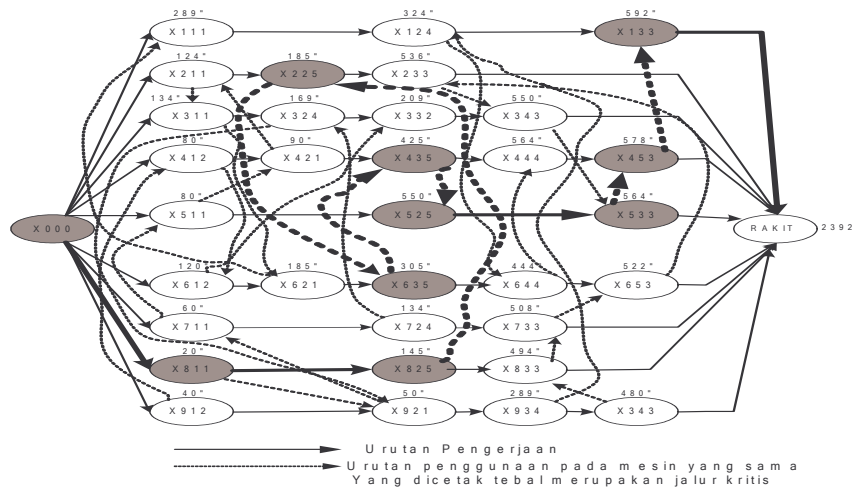
Hasil penghitungan waktu siaga mesin dan *slack time* dengan menggunakan pendekatan CPM adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Waktu siaga dan *slack time* dengan menggunakan pendekatan CPM

	Waktu Siaga	Slack Time
Mesin 1	289	175
Mesin 2	209	49
Mesin 3	126	0
Mesin 4	465	0
Mesin 5	530	0
RAKIT	1800	0
TOTAL	3419	224

Terjadi penurunan waktu siaga mesin dari 3901 detik menjadi 3419 detik dan penurunan *slack time* dari 706 detik menjadi 224 detik.

Jika lintasan kritis diasumsikan sebagai lintasan alur proses pada stasiun kerja atau mesin, dimana waktu selesai *job* sebelumnya sama dengan waktu mulai *job* berikutnya, maka lintasan kritis terjadi pada X811, X825, X225, X635, X435, X525, X533, X453, X133, dan RAKIT.



Gambar 3. Jalur kritis

Operasi yang ada pada lintasan kritis adalah X000, X811, X825, X225, X635, X435, X525.

6. Kesimpulan

Dari penghitungan dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Urutan pekerjaan atau *job* pada tiap-tiap mesin adalah sebagai berikut :
 - a. Mesin 1 (*Circle* Potong) : X811, X921, X711, X511, X421, X211, X311, X621, X111.
 - b. Mesin 2 (*Spindle*) : X912, X412, X612, X332.
 - c. Mesin 3 (*Sending*) : X943, X833, X733, X653, X233, X343, X533, X453, X133.
 - d. Mesin 4 (*Bor*) : X724, X324, X934, X124, X644, X444.
 - e. Mesin 5 (*Tenon*) : X825, X255, X635, X435, X525.
 - f. RAKIT

Urutan pekerjaan atau *job* pada tiap-tiap mesin tidak berubah baik pada *dispatching-1* ataupun saat *dispatching-2*, yang berubah hanya *timing* dari tiap pekerjaan atau *job*, terutama pada mesin yang terdapat *slack*.

2. Total waktu siaga mesin sebesar 3901 detik turun menjadi 3419 detik (turun sebesar 482 detik), dan *slack time* juga turun dari 706 detik ke 224 detik (turun 482 detik).

Daftar Pustaka

- Aldowaisan, T. and Allahverdi, A. (1998), “*Total flowtime in no-wait flowshops with separated setup times*”, *Comp. Ops. Res.*, 25(9), pp.757-763.
- Baker, K. R., (1974), *Introduction to Sequencing and Scheduling*, John Wiley & Sons, New York.
- Bazaraa, M., J. Jarvis, and H. Sherali, (1990), *Linear Programming and Network Flows*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.
- Bedworth, D. D., & Bailey, J.E., (1987), *Integrated Production Control System – Management, Analysis, Design*, John Wiley & Sons Inc, 2nd ed., New York.
- Fogarty, Blackstone, and Hoffman, (1991), *Production and Inventory Management*, South Western Publishing Co., 2nd ed., Cincinnati, Ohio.
- Isa Setiasyah Toha, & Abdul Hakim Halim, Algoritma Penjadwalan Produksi Berbasis Jaringan untuk Penggunaan Sumber Tunggal dan Simultan, *Jurnal Teknik dan Manajemen Industri*, Volume 19, Nomor 2, Agustus 1999.
- Morton, E. Thomas, Pentico, David W., (1993), *Heuristic Scheduling Systems with Applications to Production Systems and Project Management*, John Wiley & Sons, New York.
- M. Ridwan A. P, ST, & Ali Parkhan, Penjadwalan Make To Order Job Shop menggunakan Mix Integer Linear Programming, *Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Sistem Manufaktur Dalam Era Teknologi Informasi*, Jogjakarta, 26 Januari 2002, Teknik dan Manajemen Industri, Universitas Islam Indonesia.