

Manual Penggunaan Algoritma Tabu Search untuk Mengoptimasikan Penjadwalan Job Shop

Akhmad Hidayatno

Armand Omar Moeis

Komarudin

Zulkarnain

Aziiz Sutrisno



Laboratorium Rekayasa, Simulasi dan Pemodelan Sistem

Departemen Teknik Industri

Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus UI Depok

Depok 16424

Indonesia

1. Daftar Isi

1. Daftar Isi	1
2. Pendahuluan.....	2
3. Dasar Teori.....	2
3.1 Teori Dasar Permasalahan Penjadwalan Job Shop dengan (JSSP).....	2
4. Tujuan Instruksional	4
5. Deskripsi Algoritma.....	4
6. Tahapan Penggunaan Algoritma.....	9
6.1 Membuka file template excel.....	9
6.2 Menginput dan Meng-edit Data	9
6.3 Menjalankan iterasi	10
6.4 Menginterpretasi hasil.....	10

2. Pendahuluan

Manual ini terbagi menjadi beberapa bagian yang perlu untuk dijelaskan sehingga memudahkan bagi pengguna (*user*) untuk menuju ke bagian yang dibutuhkan dalam menggunakan algoritma ini. Bagian-bagian dalam manual ini adalah bagian Dasar Teori, bagian Tujuan Instruksional, bagian Deskripsi Algoritma, dan bagian Tahapan Penggunaan Algoritma.

Bagian Dasar Teori menjelaskan tentang permasalahan yang dapat diselesaikan dengan algoritma ini. Istilah untuk permasalahan ini adalah *Job Shop Scheduling Problem* (JSSP) yang dikenal dengan Permasalahan Penjadwalan Job Shop. Bagian ini akan menjelaskan karakteristik dari permasalahan dan model-model yang umum digunakan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.

Pada bagian Tujuan Instruksional Umum dijelaskan tentang harapan dari pengembangan algoritma ini. Selain itu, bagian ini juga menjelaskan tipe-tipe pengguna yang dapat memanfaatkan algoritma ini.

Pada bagian deskripsi algoritma, pengguna disajikan tentang tampilan Microsoft Excel sebagai antarmuka pengguna. Pengguna juga diharapkan dapat memahami bagian-bagian algoritma secara umum.

Pada bagian tahapan penggunaan algoritma dijelaskan tentang tahapan-tahapan yang harus dilakukan untuk menggunakan algoritma ini. Tahapan-tahapan ini disertai dengan langkah-langkah teknis maupun penggambaran (*screenshot*) yang dirasa perlu.

3. Dasar Teori

3.1 Teori Dasar Permasalahan Penjadwalan Job Shop dengan (JSSP)

Penjadwalan produksi makin bertambah penting untuk pabrik yang menggunakan sistem made-to-order, yakni sistem produksi yang menggunakan acuan bahwa produk/barang baru dibuat jika ada order masuk. Sistem ini biasanya untuk produk/barang yang sangat unik (*highly customized*), yang jika perusahaan menyimpannya dalam inventory akan menimbulkan kerugian. Permasalahan dengan kedua sifat ini, biasanya dapat dimodelkan sebagai penjadwalan job shop.

Pada permasalahan penjadwalan job shop, ada sejumlah job dan sejumlah mesin dengan setiap job dapat memiliki urutan proses yang berbeda dengan job yang lainnya. Hal inilah yang membuat permasalahan ini lebih rumit dibandingkan dengan permasalahan penjadwalan flow shop. Sebagaimana permasalahan penjadwalan flow shop, permasalahan job shop dapat ditujukan untuk meminimumkan makespan, meminimumkan keterlambatan, meminimumkan total biaya (termasuk biaya penalti), dan lain sebagainya.

Dengan keleluasaan ini, banyak permasalahan penjadwalan dapat dimodelkan sebagai job shop scheduling problem. Model ini terutama dapat diaplikasikan untuk perusahaan manufaktur yang menganut sistem make to order, seperti pencetakan mold, bengkel bubut, dsb. Selain itu, sebagaimana disebutkan di atas, model ini juga dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan pada bidang jasa.

Mengacu pada definisi dan karakteristik JSSP, maka secara umum permasalahan tersebut dapat dimodelkan untuk meminimumkan makespan (C_{max}). Kita dapat mengasumsikan:

J_j = himpunan n pekerjaan $\{j = 1, 2, \dots, n\}$

M_r = himpunan m mesin $\{r = 1, 2, \dots, m\}$

P_{jir} = Durasi pengerjaan operasi O_{jir}

S_{jir} = Waktu mulai operasi O_{jir}

O_{jir} = Operasi ke- i yang memproses pekerjaan J_j pada mesin $M_r, \{i = 1, 2, \dots\}$

$O_{j_1,r} \rightarrow O_{j_2,r}$ atau $O_{i_1,r} \rightarrow O_{i_2,r}$ = relasi biner antara operasi $O_{j_1,r}$ dan $O_{i_2,r}$

Untuk itu, permasalahan ini dapat dituliskan dalam formula matematis sebagai berikut:

$$\text{Fungsi tujuan: Min } C_{max} \quad (1)$$

Dengan kendala:

$$S_{j1r} \geq 0 \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$S_{j_{i+1}r} \geq S_{jir} + P_{jir}, \quad \forall j = 1, 2, \dots, n; r = 1, \dots, m-1 \quad (3)$$

$$S_{jir} \geq S_{jhr} + P_{jhr} \quad \forall (O_{jir}, O_{jhr} \in (M_r), r = 1, \dots, m) \quad (4)$$

$$C_{max} \geq S_{jim} + P_{jim}, \quad j = 1, \dots, n \quad (5)$$

Penjelasan terhadap model matematis diatas adalah sebagai berikut: persamaan (1) merupakan fungsi tujuan yaitu untuk meminimalisasi makespan. Persamaan (2) sampai dengan (5) merupakan batasan-batasan yang harus diperhatikan. Batasan (2) memastikan waktu mulai operasi awal harus lebih besar sama dengan 0, batasan (3)

memastikan pengerjaan operasi dalam setiap job harus berurutan, batasan (4) memastikan tidak ada dua operasi yang dilakukan secara bersamaan pada satu mesin di waktu yang sama, dan batasan (5) memastikan total makespan dihitung dari pengerjaan operasi terakhir.

4. Tujuan Instruksional

Algoritma ini bertujuan untuk membantu para pengambil keputusan dalam menyelesaikan Penjadwalan Job Shop secara efisien. Selain itu, algoritma ini dapat digunakan oleh para peneliti maupun mahasiswa sebagai salah satu perbandingan metode penyelesaian JSSP.

Target pengguna adalah para praktisi yang bergelut di perusahaan dengan sifat make-to-order dan produk yang highly customized. Algoritma ini juga bisa dijadikan objek pembanding bagi peneliti yang berlatar belakang bidang ilmu Teknik Industri, Manajemen Operasi, dan atau yang sejenisnya.

5. Deskripsi Algoritma

Algoritma TS ini dikembangkan sebagai kode pemrograman yang menyatu di dalam sebuah file template Microsoft Excel. File tersebut diatur sedemikian rupa sehingga seorang pengguna dapat memasukkan parameter TS dan data spesifikasi permasalahan penjadwalan job shop dengan mudah. File template tersebut memiliki beberapa worksheet sebagai berikut:

1. Worksheet “DataUmum” yang memungkinkan pengguna mengeset parameter algoritma TS
2. Worksheet “DataMesin” yang memungkinkan pengguna mengeset spesifikasi mesin
3. Worksheet “DataUrutanProses” yang memungkinkan pengguna mengeset urutan proses untuk tiap pekerjaan
4. Worksheet “DataWaktuProses” yang memungkinkan pengguna mengeset durasi proses untuk tiap pekerjaan
5. Worksheet “DataChangeOver” yang memungkinkan pengguna mengeset waktu yang dibutuhkan untuk mengganti jig (changeover time)

6. Worksheet “DataJumlahJig” yang memungkinkan pengguna mengeset spesifikasi dan jumlah jig
7. Worksheet “DataBiaya” yang memungkinkan pengguna mengeset parameter biaya produksi, biaya penalty keterlambatan dan batas waktu penyelesaian pekerjaan (due date)

Tampilan dari masing-masing worksheet ditunjukkan oleh gambar 1-7.

No	Data	Nilai
Data Problem		
1	Jumlah Job	86
2	Jumlah Mesin	3
3	Jumlah Tipe	3
Data Algoritma		
4	Jumlah Solusi Tetangga	20
5	Panjang tabu list	10
Data Terminasi		
6	Jumlah Iterasi Maksimum	1000
RUN ALGORITHM		

Gambar 1. Tampilan Worksheet DataUmum

No	Nama Mesin	Jumlah
1	A	3
2	B	5
3	C	3

Gambar 2. Tampilan Worksheet DataMesin

No	Tipe produk	Total	URUTAN		
1	1	3	1	2	3
2	1	3	1	2	3
3	1	3	1	2	3
4	1	3	1	2	3
5	1	3	1	2	3
6	1	3	1	2	3
7	2	3	1	2	3
8	2	3	1	2	3
9	2	3	1	2	3
10	2	3	1	2	3
11	2	3	1	2	3
12	2	3	1	2	3
13	3	3	1	2	3
14	3	3	1	2	3

Gambar 3. Tampilan Worksheet DataUrutanProses

No	Total	WAKTU		
1	5.49	0.87	2.22	2.40
2	5.49	0.87	2.22	2.40
3	5.49	0.87	2.22	2.40
4	5.49	0.87	2.22	2.40
5	5.49	0.87	2.22	2.40
6	5.49	0.87	2.22	2.40
7	5.92	1.20	2.32	2.40
8	5.92	1.20	2.32	2.40
9	5.92	1.20	2.32	2.40
10	5.92	1.20	2.32	2.40
11	5.92	1.20	2.32	2.40
12	5.92	1.20	2.32	2.40
13	5.98	1.30	2.35	2.33
14	5.98	1.30	2.35	2.33

Gambar 4. Tampilan Worksheet DataWaktuProses

	Mesin								
	1			2			3		
Tipe Produk	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	0	0.17	0.17	0	0	0	0	0.67	0.67
2	0.17	0	0.17	0	0	0	0.67	0	0.67
3	0.17	0.17	0	0	0	0	0.67	0.67	0

Gambar 5. Tampilan Worksheet DataChangeOver

	Mesin		
Tipe Produk	1	2	3
1	1	0	1
2	1	0	1
3	1	0	1

Gambar 6. Tampilan Worksheet DataJumlahJig

No	Biaya Produksi	Biaya Penalti	Due date
1	0.00	0.00	137.97
2	0.00	0.00	137.97
3	0.00	0.00	137.97
4	0.00	0.00	137.97
5	0.00	0.00	337.04
6	0.00	0.00	337.04
7	0.00	0.00	337.04
8	0.00	0.00	337.04
9	0.00	0.00	536.2
10	0.00	0.00	536.2
11	0.00	0.00	536.2
12	0.00	0.00	536.2
13	0.00	0.00	199.29
14	0.00	0.00	199.29
15	0.00	0.00	643.44
16	0.00	0.00	643.44
17	0.00	0.00	137.97

Gambar 7. Tampilan Worksheet DataBiaya

Selain itu, setelah optimasi penjadwalan dijalankan, ada dua buah worksheet tambahan yakni worksheet “SolusiAwal” dan “SolusiAkhir”. Sesuai namanya, worksheet SolusiAwal berisi solusi awal terbaik yang diperoleh dari pembangkitan solusi secara random, sementara solusi akhir adalah solusi terbaik yang diperoleh setelah proses iterasi TS dijalankan. Kedua worksheet tersebut memuat nilai fungsi tujuan, urutan mesin tiap pekerjaan, detail waktu jadwal proses untuk tiap pekerjaan, detail waktu jadwal pekerjaan tiap mesin dan perhitungan biaya. Contoh output dari solusi awal atau solusi akhir ditunjukkan oleh Gambar 8-11.

Nomor Job	Mesin Ke			
1	1	5	2	
2	3	1	3	
3	3	1	2	
4	1	4	2	
5	3	2	2	
6	3	4	2	

Gambar 8. Tampilan output urutan mesin untuk tiap pekerjaan

Nomor Job	Item	Time		
1	Start Time	0.87	49.75	72.02
	End Time	1.74	51.97	74.42
2	Start Time	3.48	54.44	56.66
	End Time	4.35	56.66	59.06
3	Start Time	1.74	46.98	74.42
	End Time	2.61	49.2	76.82
4	Start Time	0	49.42	76.82
	End Time	0.87	51.64	79.22
5	Start Time	4.35	67.4	69.62
	End Time	5.22	69.62	72.02
6	Start Time	2.61	51.64	79.22
	End Time	3.48	53.86	81.62

Gambar 9. Tampilan output jadwal pelaksanaan proses untuk tiap-tiap pekerjaan

Nomor Mesin	Mesin Ke	Item									
1	1	Job numb	4	1	14	32	21	66	82	79	62
		Tipe	1	1	3	3	3	3	3	3	3
		Start Time	0	0.87	1.9	3.2	4.7	6	7.1	8	8.9
		End Time	0.87	1.74	3.2	4.7	6	7.1	8	8.9	9.72
1	2	Job numb	41	49	64	8	9	11	10	12	
		Tipe	3	3	3	2	2	2	2	2	
		Start Time	0	0.54	1.08	1.9	3.1	4.3	5.5	6.7	
		End Time	0.54	1.08	1.9	3.1	4.3	5.5	6.7	7.9	
1	3	Job numb	7	3	6	2	5				
		Tipe	2	1	1	1	1				
		Start Time	0	1.74	2.61	3.48	4.35				
		End Time	1.2	2.61	3.48	4.35	5.22				
2	1	Job numb	79	18	25	21	27	63	3	73	50
		Tipe	3	3	3	3	3	3	1	3	3
		Start Time	8.9	12.32	24.03	26.44	36.67	45.05	46.98	49.2	51.1
		End Time	11	14.67	26.44	28.79	38.97	46.98	49.2	51.1	52.77
2	2	Job numb	22	77	86	49	7	8	55	11	28
		Tipe	3	3	3	3	2	2	3	2	3
		Start Time	11.02	30.93	32.83	34.93	36.34	38.66	40.98	42.65	44.97
		End Time	13.37	32.83	34.93	36.34	38.66	40.98	42.65	44.97	47.27

Gambar 10. Tampilan output jadwal pemakaian tiap mesin

Nomor Job	Biaya Produksi	DueDate	EndTime	Jumlah Waktu Keterlambatan	Biaya Penalty persatuan waktu	Biaya Penalty	Total Biaya
1	0	137.97	74.42	0	0	0	0
2	0	137.97	59.06	0	0	0	0
3	0	137.97	76.82	0	0	0	0
4	0	137.97	79.22	0	0	0	0
5	0	337.04	72.02	0	0	0	0
6	0	337.04	81.62	0	0	0	0
7	0	337.04	63.86	0	0	0	0
8	0	337.04	43.38	0	0	0	0
9	0	536.2	50.4	0	0	0	0
10	0	536.2	80.5	0	0	0	0
11	0	536.2	61.46	0	0	0	0
12	0	536.2	82.9	0	0	0	0
13	0	199.29	163.61	0	0	0	0
14	0	199.29	46.16	0	0	0	0
15	0	643.44	116.1	0	0	0	0
16	0	643.44	48.49	0	0	0	0
17	0	137.97	150.76	12.79	0	0	0
18	0	137.97	56.19	0	0	0	0

Gambar 11. Tampilan output perhitungan fungsi tujuan

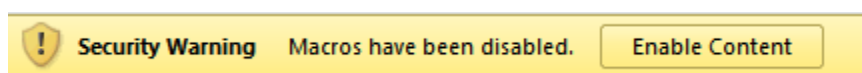
6. Tahapan Penggunaan Algoritma

Secara umum, tahapan penggunaan algoritma adalah sebagai berikut:

1. Membuka file template excel.
2. Menginput Data.
3. Menjalankan iterasi.
4. Menginterpretasi hasil

6.1 Membuka file template excel

File template excel dapat dibuka dengan mengklik dua kali file tersebut di windows explorer. File ini juga bisa dibuka dengan menggunakan fasilitas File > Open yang terdapat pada Microsoft Excel kemudian memilih file yang diinginkan. Selain itu, jika pengguna ingin menggunakan template ini, penggunaan macro di excel harus dibolehkan. Bisa jadi ketika membuka file template ini, notifikasi pematian fasilitas macro muncul seperti ditunjukkan pada Gambar 12. Pada keadaan ini, pengguna harus memilih untuk meng-‘enable content’ karena algoritma TS ini merupakan macro dalam excel.



Gambar 12. Pemberitahuan bahwa fasilitas macro telah dimatikan

6.2 Menginput dan Meng-edit Data

Untuk menginput data, bisa langsung dilakukan melalui template excel seperti telah ditunjukkan pada Gambar 1-7. Tabel 1 mendaftarkan parameter dan data yang harus diinput oleh pengguna. Tabel 1 juga menyediakan batasan-batasan nilai yang bisa diinput ke algoritma.

Tabel 1. Input data yang diperlukan

No	Input	Worksheet	Keterangan	Batasan
1	Data Umum dan parameter algoritma			
	Jumlah Job	DataUmum	Jumlah pekerjaan yang akan dijadwalkan	
	Jumlah Mesin	DataUmum	Jumlah (jenis) mesin yang akan digunakan untuk melaksanakan job	
	Jumlah Tipe	DataUmum	Jumlah tipe tiap-tiap pekerjaan	
	Jumlah Solusi Tetangga	DataUmum	Jumlah solusi tetangga yang akan dibangkitkan pada satu iterasi local search pada Tabu Search	
	Panjang tabu list	DataUmum	Jumlah item/move yang memuat operasi tabu	
	Jumlah Iterasi Maksimum	DataUmum	Jumlah maksimum iterasi	
2	Spesifikasi mesin			
	- No	DataMesin	Nomor identitas mesin	mengacu pada data di nomor 1
	- Nama Mesin	DataMesin		
	- Jumlah	DataMesin	Jumlah item untuk tiap mesin yang sama	
3	Spesifikasi urutan proses			
	- No	DataUrutanProses	Nomor identitas pekerjaan	
	- Tipe	DataUrutanProses	Jenis pekerjaan yang akan dipakai sebagai pengenalan changeover pada data nomor 5	mengacu pada data di nomor 1
	- Total	DataUrutanProses	Jumlah proses yang ada pada pekerjaan ini	
	- Urutan	DataUrutanProses	Urutan identitas mesin yang digunakan untuk mengerjakan proses ini	
4	Spesifikasi durasi waktu proses			
	- No	DataWaktuProses	Nomor identitas pekerjaan	
	- Total	DataWaktuProses	Total waktu keseluruhan	
	- Waktu	DataWaktuProses	Durasi waktu proses untuk tiap-tiap proses	
5	Spesifikasi waktu change over			
	- Mesin	DataChangeOver	Untuk tiap mesin (perkolom), dibuat matriks durasi waktu changeover antar proses	mengacu pada data di nomor 1
	- Tipe Produk	DataChangeOver		mengacu pada data di nomor 1
6	Spesifikasi jumlah jig			
	- Mesin	DataJumlahJig	Matriks yang berisi data jumlah jig yang tersedia untuk masing-masing tipe produk tiap mesin	
	- Tipe Produk	DataJumlahJig		
7	Spesifikasi Biaya produksi, biaya penalti dan tenggat waktu			
	- No	DataBiaya		
	- Biaya Produksi	DataBiaya		
	- Biaya Penalti	DataBiaya	Biaya keterlambatan jika waktu penyelesaian pekerjaan melewati due date	
	- Due date	DataBiaya	Tenggat waktu penyelesaian pekerjaan	

6.3 Menjalankan iterasi

Sebelum menjalankan iterasi, pastikan fasilitas macro telah diaktifkan sebagaimana telah dibahas pada bagian 6.1. Untuk memulai iterasi, pengguna dapat menekan tombol “Run Algorithm” yang terdapat di worksheet “DataUmum” sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

6.4 Menginterpretasi hasil

Sebagaimana disebutkan pada bagian 5, template excel ini akan menghasilkan dua buah worksheet yakni worksheet “SolusiAwal” dan “SolusiAkhir” setelah iterasi TS selesai dijalankan. Kedua worksheet tersebut memuat nilai fungsi tujuan, urutan mesin tiap pekerjaan, detail waktu jadwal proses untuk tiap pekerjaan, detail waktu jadwal pekerjaan tiap mesin dan perhitungan biaya.

Gambar 8 menunjukkan urutan mesin yang digunakan untuk tiap pekerjaan. Hal ini perlu karena sebuah perusahaan dapat memiliki beberapa buah mesin untuk tipe mesin yang sama. Data ini merujuk pada worksheet “DataMesin”. Untuk mengidentifikasi mesin mana yang digunakan, maka Gambar 8 menunjukkan mesin yang digunakan.

Gambar 9 menunjukkan jadwal pemrosesan tiap-tiap job. Gambar ini menunjukkan data waktu mulai dan akhir tiap-tiap job sehingga kita dapat mengamati waktu penyelesaian tiap-tiap job. Selain itu, kita juga dapat mengamati apakah ada jeda yang terjadi antara satu proses dengan proses berikutnya pada job yang sama,

Gambar 10 menunjukkan data jadwal penggunaan tiap mesin. Data ini menunjukkan penggunaan mesin untuk mengerjakan job apa dan tipe apa. Dari pergantian tipe ini, kita harus mengenakan waktu changeover yang sudah diperhitungkan oleh algoritma TS. Selain itu, data ini juga menunjukkan waktu idle tiap mesin sehingga bisa digunakan untuk menghitung utilisasi mesin.

Gambar 11 merangkum perhitungan fungsi objektif untuk tiap-tiap job. Pada data ini, kita dapat membandingkan data tenggat waktu penyelesaian dan jadwal penyelesaian tiap-tiap job. Dari sini kita dapat menghitung total biaya penalty yang dikenakan dan akhirnya kita dapat menghitung total biaya.