

Usulan Penjadwalan Proses Manufaktur Screw Conveyor dengan Menggunakan Metode *Simulated Annealing* untuk Meminimasi Makespan di PT Kerta Laksana

The Proposes Of Screw Conveyor Manufacturing Production Scheduling Using *Simulated Annealing* Method For Minimizing Makespan In PT Kerta Laksana

Gery Firman¹, Heru Susilo², Santoso³
Universitas Kristen Maranatha

E-mail : ¹firman.gery@yahoo.co.uk, ²lppm@maranatha.edu, ³santoso_ajiank@yahoo.com

Abstrak

PT Kerta Laksana merupakan perusahaan manufaktur berskala internasional yang membuat berbagai jenis mesin, dimana setiap pesanan dikerjakan sesuai dengan permintaan dan keinginan konsumen (job order). Permasalahan yang dihadapi perusahaan adalah tingkat utilisasi mesin masih rendah. Dari hasil penelitian, diduga metode penjadwalan yang diterapkan di perusahaan belum tepat karena tidak dapat diketahui urutan jadwal kerja yang optimal untuk menghasilkan makespan yang paling minimum, sehingga sering terjadi mesin-mesin produksi menunggu (delay).

Peneliti mengusulkan menggunakan dua buah alternatif metode, yaitu metode simulated annealing dan metode non-delay untuk meminimasi makespan proses pembuatan screw conveyor. Dari hasil pengujian lima buah contoh kasus, metode simulated annealing menghasilkan nilai makespan terkecil. Oleh karena itu penulis mengusulkan penerapan metode simulated annealing. Untuk mempercepat perhitungan dilakukan pengembangan metode menggunakan software Delphi metode simulated annealing untuk kasus jobshop.

Manfaat menerapkan metode simulated annealing, pihak perusahaan dapat menghemat waktu pengerjaan screw conveyor sebesar 386 menit (44.16%), penurunan delay sebesar 4,632 menit (55.18%), dan peningkatan rata-rata utilisasi penggunaan mesin sebesar 15.79%.

Kata kunci : Penjadwalan, Jobshop, Makespan, Simulated Annealing

Abstract

PT Kerta Laksana is a manufacture company on an international scale that produces various kind of machines, based on each order according to concumer's order and wish (job order). The problem faced by the company is the low level of machine utilization. The result of an observation is due to the company's method scheduling applied in the company is not yet as expected because the sequence of optimal work schedule to produce the lowest minimum level of makespan is not clear yet, it caused machines are delay.

The writer suggests to use two alternative methods, which are simulated annealing method and non-delay method to reduce the process of makespan screw conveyor. The result of five example case test simulated annealing method produces the lowest makespan. Finally the writer suggests the implementation of the simulated annealing calculation an expansion method is applied using Delphi software simulated annealing method for a jobshop case.

The benefit of using simulated annealing method:the company is able to reduce time producing a screw conveyor to 386 minutes (44.16%), delay reduction to 4,532 minutes (55.18%) and an increasing machine utilization rate of 15.76%.

Key word : Scheduling, Jobshop, Makespan, Simulated Annealing

1. Pendahuluan

Penjadwalan merupakan aspek penting dalam perencanaan dan pengendalian proses penyelesaian serangkaian pekerjaan dalam kurun waktu tertentu. PT Kerta Laksana yang merupakan perusahaan manufaktur berskala internasional yang membuat berbagai jenis mesin.

Berdasarkan hasil penelitian dan wawancara di area produksi, permasalahan yang terjadi di perusahaan adalah tingkat utilisasi mesin masih rendah. Dari pengamatan awal, diduga permasalahan yang dihadapi oleh perusahaan disebabkan oleh metode yang belum tepat. Penelitian dimaksudkan untuk mengusulkan metode penjadwalan menggunakan metode *simulated annealing*.

Dikarenakan permasalahan yang terjadi di perusahaan dalam mencakup ruang lingkup yang cukup luas, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

Penjadwalan yang dilakukan hanya sampai pada bagian produksi, tidak termasuk bagian perakitan.

Sedangkan asumsi yang dilakukan guna memenuhi syarat batas yang dimiliki oleh metode yang diusulkan adalah :

1. Operator bekerja secara normal dan wajar.
2. Material yang digunakan sudah tersedia, sehingga tidak terjadi waktu menunggu kedatangan material.
3. Seluruh mesin dalam keadaan baik sehingga tidak ada waktu yang terbuang untuk menunggu perbaikan mesin.
4. Tidak terdapat *job* sisipan.
5. Waktu perpindahan material selama proses produksi berlangsung diabaikan.
6. Penggunaan mesin-mesin dapat diatur sehingga tidak mengganggu proses produksi pesanan yang lain.

2. Pendekatan Pemecahan Masalah

Data yang diperoleh dari perusahaan, kemudian dilakukan pengolahan data menggunakan metode *non-delay* dan metode *simulated annealing*. Penentuan metode terbaik dapat dilihat dari performansi kedua metode yang menghasilkan nilai *makespan* terkecil.

2.1. Metode Non-Delay

Kumpulan jadwal *feasible* dimana tidak satupun mesin dibiarkan menganggur jika pada saat yang sama terdapat operasi yang memerlukan mesin tersebut.

Langkah 1 : Set $t=0$ dan $Pst=0$ (yaitu jadwal parsial yang mengandung t operasi terjadwal). Set St (yaitu kumpulan operasi yang siap dijadwalkan) sama dengan seluruh operasi tanpa pendahulu.

Langkah 2 : Tentukan $c^* = \min(c_j)$ dimana r_j ialah saat paling awal operasi j dapat diselesaikan ($r_j = c_j + t_{ij}$). Tentukan m^* , yaitu mesin dimana r^* dapat direalisasikan.

Langkah 3 : Untuk setiap operasi dalam Pst yang memerlukan mesin m^* dan memiliki $c_j = c^*$ buat suatu aturan prioritas tertentu. Tambahkan operasi yang prioritasnya paling besar ke dalam Pst sehingga terbentuk suatu jadwal parsial untuk tahap berikutnya.

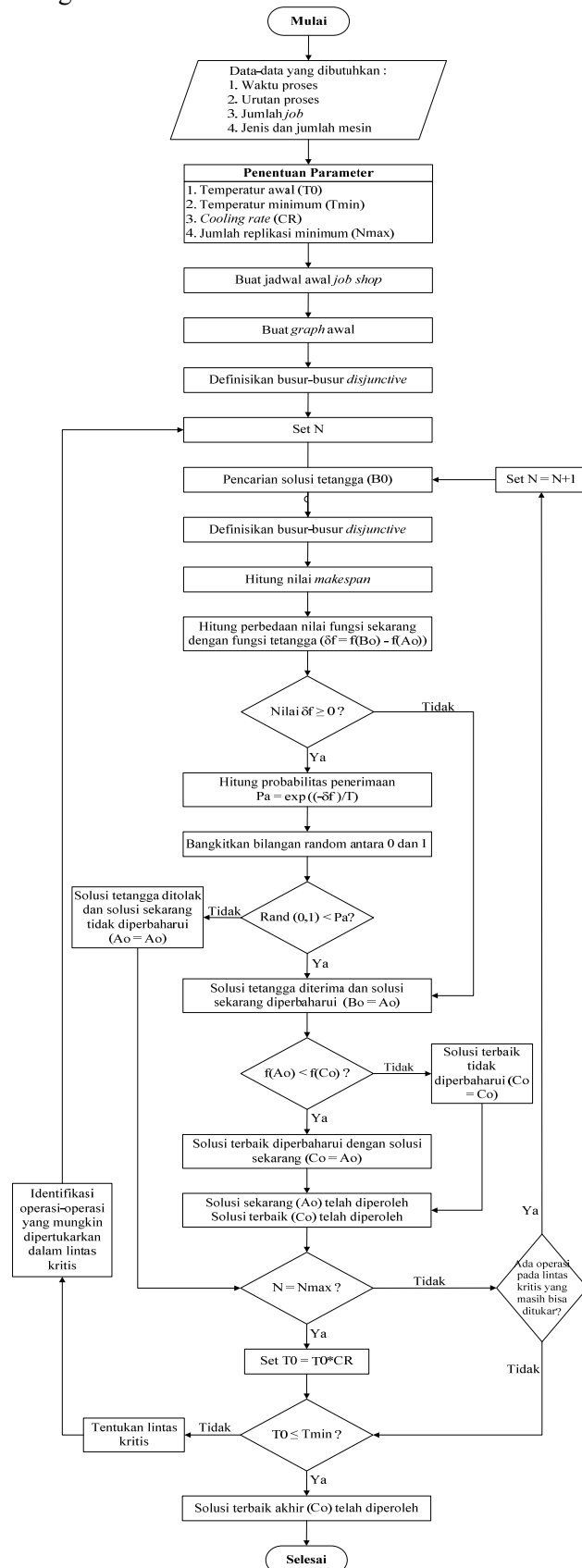
Langkah 4 : Buat suatu jadwal parsial baru P_{t+1} dan perbaikan kumpulan data dengan cara :

- a. Menghilangkan operasi j dari St ;
- b. Buat $St+1$ dengan cara menambah pengikut langsung operasi j yang telah dihilangkan ; serta
- c. Menambahkan satu pada t

Langkah 5 : Kembali ke langkah 2 sampai seluruh pekerjaan terjadwalkan.

2.2. Metode *Simulated Annealing*

Langkah-langkah pengolahan data dengan menggunakan metode *simulated annealing* adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Langkah-langkah Pengolahan Data Menggunakan Metode *Simulated Annealing*

3. Pendekatan Pemecahan Masalah

3.1. Metode *Simulated Annealing*

Metode penjadwalan yang dilakukan oleh perusahaan saat ini hanya meliputi penjadwalan kapan pesanan akan mulai dikerjakan dan kapan pesanan tersebut selesai dikerjakan, beserta urutan pengerjaan yang dilakukan berdasarkan skala prioritas pengerjaan.

3.2. Matriks *Routing* dan Waktu Proses

Tabel1. Matriks Routing Proses

Job	Operasi							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	3	8	10	11			
2	4	6	9					
3	1	3	8	10	11			
4	4	6	9					
5	3	6	9					
6	3	6						
7	1	3	9	8	10	11		
8	1	3	9	8	10	11		
9	3	8	6	3	3	9	12	11
10	3	6						
11	3	8	6	11				
12	2	7	9					
13	3	7	2					
14	2	7	5	9				
15	2	7	9	12				
16	2	7	9					
17	3	7	2					
18	2	7	9					
19	4	6	4	9	12			
20	4	6	4	9				
21	4	6	4	9				
22	4	6						
23	4	6						
24	1	3	8	11	11	11		
25	1	3	8	3	11			

Tabel 2. Matriks Waktu Proses

Job	Operasi							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	3	15	60	90	40			
2	20	2	44					
3	2	10	40	60	20			
4	10	1	22					
5	26	13	13					
6	6	3						
7	3	15	2	15	90	40		
8	2	10	2	10	60	20		
9	4	20	2	10	5	4	5	5
10	2	1						
11	4	20	2	5				
12	10	20	30					
13	60	120	24					
14	10	60	10	50				
15	10	120	100	2				
16	10	20	30					
17	45	90	18					
18	10	30	50					
19	10	1	10	30	5			
20	5	1	10	24				
21	10	1	5	22				
22	5	1						
23	10	2						
24	6	15	30	15	5	30		
25	4	10	20	2	18			

4. Pengolahan Data

4.1. Pengolahan Data Menggunakan Metode Perusahaan

Penjadwalan yang dilakukan perusahaan saat ini adalah mengutamakan pengerjaan komponen-komponen secara berurut berdasarkan pengalaman dalam menyelesaikan proses produksi *screw conveyor*. Dimulai dengan pengerjaan komponen *job 1* kemudian dilanjutkan dengan pengerjaan komponen *job 2* dan seterusnya hingga keseluruhan *job* selesai dikerjakan. *Makespan* yang dihasilkan adalah sebesar 874 menit.

4.2. Pengolahan Data Menggunakan Metode *Simulated Annealing*

Langkah-langkah pengolahan data menggunakan metode *simulated annealing* sebagai berikut :

Langkah 1 : Penentuan Parameter

Input parameter yang dibutuhkan, pada kasus ini parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

- $T_0 = 100^{\circ}\text{C}$
- $T_{\min} = 30^{\circ}\text{C}$
- $N_{\max} = 3$
- CR (*cooling rate*) = 0.8

Langkah 2 : Pembuatan Solusi Awal *Job Shop*

Solusi awal *job shop* pada kasus ini diperoleh berdasarkan perhitungan dengan menggunakan metode jadwal aktif, dengan prioritas :

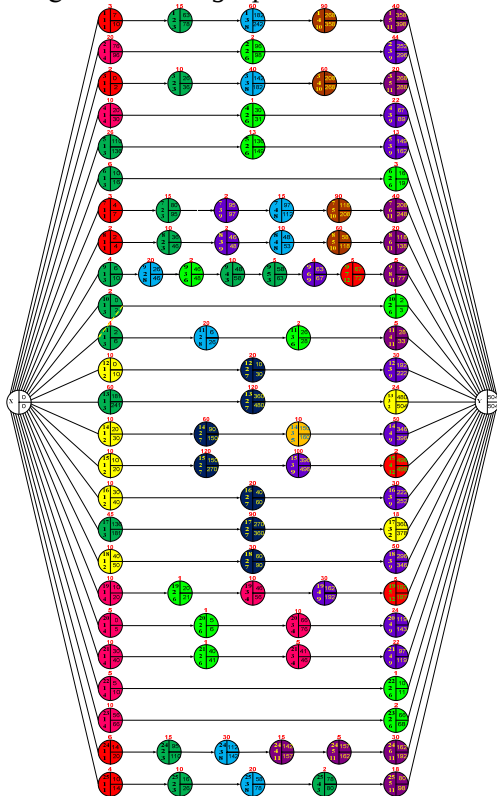
- Untuk operasi pada mesin yang sama :
 - FCFS (*First Come First Serve*)
 - SPT (*Short Processing Time*)
- Random

- Untuk operasi pada mesin yang berbeda : Random

Hasil penjadwalan metode jadwal aktif :

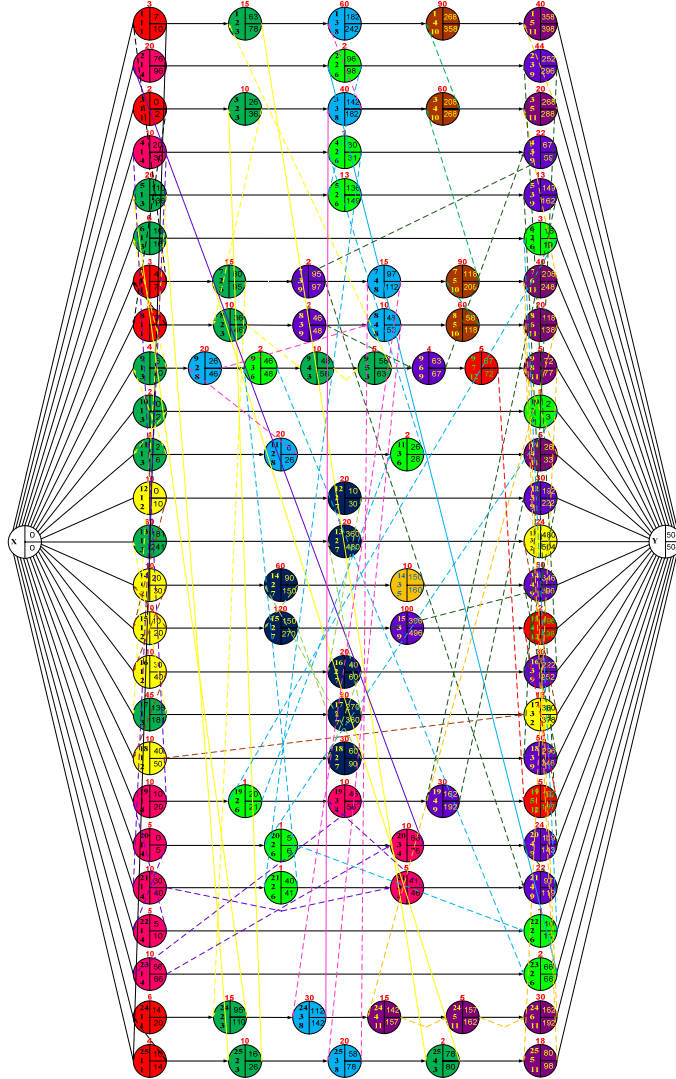
Makespan = 504 menit

Langkah 3 : Buat *graph* awal



Gambar 2. *Graph* Awal

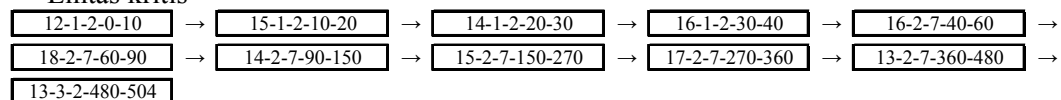
Langkah 4 : Definisikan busur-busur *disjunctive* jadwal awal *job shop*



Gambar 3. *Graph* Jadwal Aktif

Langkah 5 : Tentukan lintasan kritis untuk $T=100^{\circ}\text{C}$ yang didapat dari solusi awal *job shop* menggunakan metode jadwal aktif. (Hitung nilai *makespan*)

- Lintas kritis



Gambar 4. Lintas Kritis untuk $T=100^{\circ}\text{C}$

- *Makespan* ($A_0 = C_0$) = 504 menit

Langkah 6 : Identifikasi operasi-operasi yang mungkin ditukar dalam lintas kritis

- 12 1 2 dengan 15 1 2
- 15 1 2 dengan 14 1 2
- 14 1 2 dengan 16 1 2
- 16 2 7 dengan 18 2 7
- 18 2 7 dengan 14 2 7
- 14 2 7 dengan 15 2 7
- 15 2 7 dengan 17 2 7
- 17 2 7 dengan 13 2 7

Langkah 7 : Simpan solusi awal menjadi solusi sekarang dan solusi terbaik

Solusi awal = solusi sekarang (A_0)

Solusi awal = solusi terbaik (C_0)

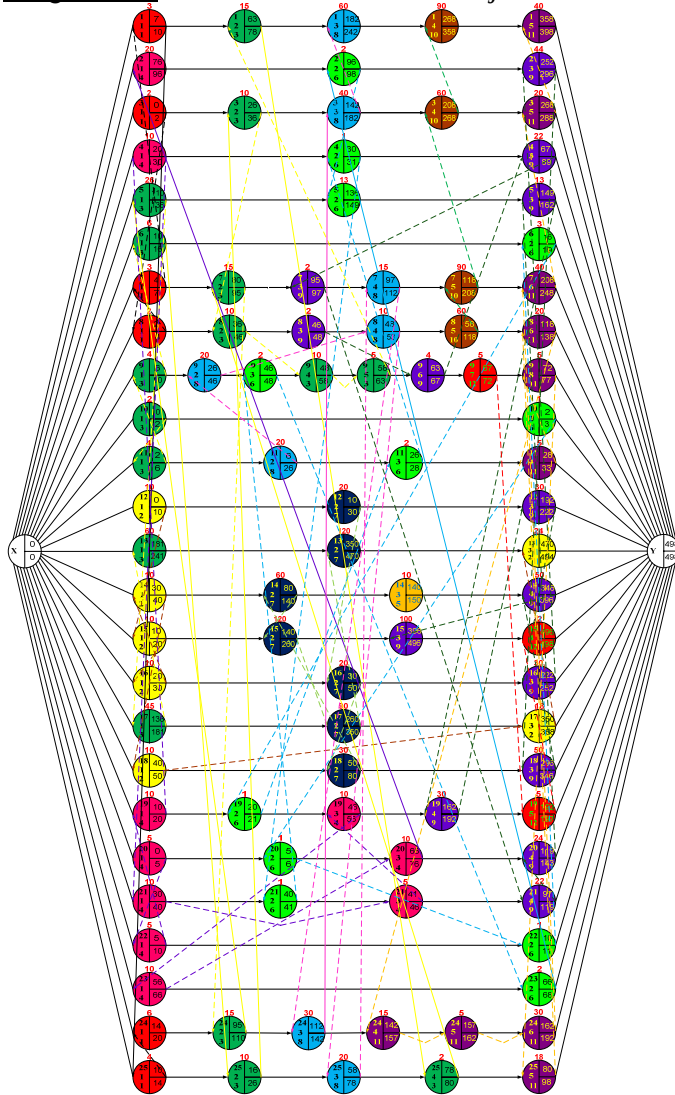
→ solusi awal = $A_0 = C_0 = 498$ menit

Langkah 8 : Set $T=T_0=100^{\circ}\text{C}$

Langkah 9 : Set $N=1$

Langkah 10 : Pencarian solusi tetangga dilakukan dengan pertukaran operasi 14 1 2 dengan 16 1 2

Langkah 11 : Definisikan busur-busur *disjunctive* $T=100^{\circ}\text{C}$; $N=1$



Gambar 5. Graph Simulated Annealing $T=100^{\circ}\text{C}$; $N=1$

Langkah 12 : Hitung nilai *makespan*

Makespan solusi tetangga (B_0) = 498 menit

Langkah 13 : Hitung δf

$\delta f = B_0 - A_0 = 504 - 498 = -6 \text{ menit} \rightarrow \delta f < 0$, maka **A_0 diperbaharui oleh B_0**

Langkah 14 : Cek apakah $A_0 < C_0$

$A_0 = 498 \text{ menit}$; $C_0 = 504 \text{ menit} \rightarrow A_0 < C_0$, maka C_0 diperbaharui oleh A_0

Langkah 15 : Solusi sekarang (A_0) dan solusi terbaik (C_0) telah diperoleh

$A_0 = 498 \text{ menit}$; $C_0 = 498 \text{ menit}$

Langkah 16 : Cek apakah $N=N_{\max}$
Tidak, karena $N=1$ sedangkan $N_{\max}=3$

Langkah 17 : Cek apakah $T \leq T_{\min}$
Tidak, karena $T=100^{\circ}\text{C}$ sedangkan $T_{\min}=30^{\circ}\text{C}$

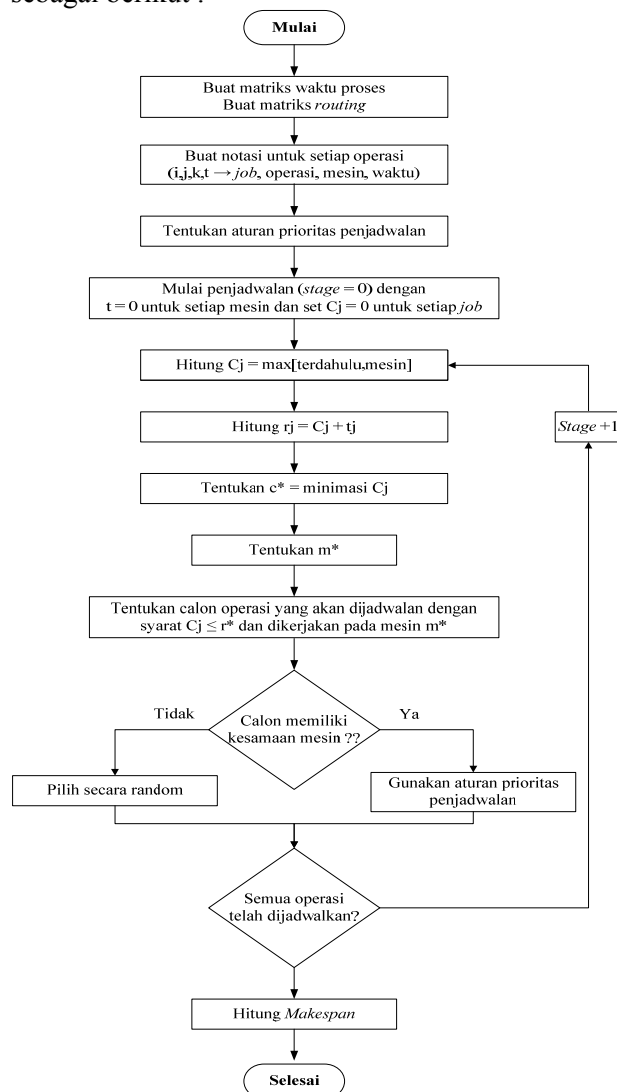
Langkah 18 : Set $N=2$

Langkah 19 : Pencarian solusi tetangga
Pertukarkan operasi **17 2 7** dengan **13 2 7**

Langkah 20 : Lanjutkan Pengolahan Data Hingga selesai
Kemudian lanjutkan pengolahan data untuk $T=100^{\circ}\text{C}$, $N=2$ dan $N=3$, lalu dilanjutkan dengan turunkan suhu. Proses dilakukan berulang-ulang hingga temperatur mencapai atau lebih kecil dari $T_{\min}$.

4.3. Pengolahan Data Menggunakan Metode *Non-Delay*

Metode *non-delay* adalah metode yang dijadikan metode pembanding bagi metode *simulated annealing*, langkah-langkah pengolahan data dengan menggunakan metode *non-delay* adalah sebagai berikut :



Gambar 6. Langkah-langkah Pengolahan Data Menggunakan Metode *Non-Delay*

4.4. Perbandingan Metode *Simulated Annealing*

Perbandingan metode terbaik adalah membandingkan *makespan* yang dihasilkan oleh metode-metode yang digunakan pada lima buah contoh kasus yang sama digunakan pada pengujian parameter.

Makespan yang dihasilkan dari pengujian kelima contoh kasus tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Perbandingan *Makespan* Contoh Kasus untuk Seluruh Metode

Metode	Makespan (Menit)				
	Kasus A	Kasus B	Kasus C	Kasus D	Kasus E
Metode penjadwalan perusahaan	320	360	470	410	790
Metode <i>simulated annealing</i>	220	230	210	260	420
Metode <i>non-delay</i>	250	250	235	300	520

Hasil pengujian lima buah contoh kasus tersebut membuktikan bahwa pengolahan data dengan menggunakan metode *simulated annealing* dapat menghasilkan *makespan* yang lebih mendekati kondisi yang diharapkan yaitu kondisi dimana solusi dengan *makespan* minimum tercapai, dibandingkan metode-metode lainnya.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa metode *simulated annealing* dapat menghasilkan solusi terkecil daripada metode-metode lainnya.

5. Analisis

5.1. Kelemahan Metode Perusahaan

Berdasarkan hasil pengujian keempat metode terhadap kasus pembuatan *screw conveyor* di PT Kerta Laksana bahwa metode penjadwalan yang diterapkan oleh perusahaan saat ini memiliki kelemahan jika dibandingkan tiga metode lainnya, yaitu menghasilkan *makespan* dan total *delay* yang besar sehingga mengakibatkan rata-rata tingkat utilisasi penggunaan mesin yang kecil. Hal tersebut menyebabkan terhambatnya pengerjaan pesanan-pesanan berikutnya karena pengerjaan pesanan yang memakan waktu lama, secara otomatis hal tersebut meningkatkan resiko terjadinya keterlambatan menyelesaikan pesanan konsumen. Dilihat dari aspek finansial, maka hal tersebut pun memberi dampak kerugian lainnya yaitu semakin berkurang pula keuntungan yang didapat oleh perusahaan akibat lambatnya penyelesaian pesanan konsumen.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa metode yang diterapkan di perusahaan saat ini dinilai memiliki kelemahan dengan melihat hasil yang didapat dari pengolahan data terhadap kasus pembuatan *screw conveyor* di PT Kerta Laksana, terlihat dari nilai *makespan* dan total *delay* yang dihasilkan besar sehingga mengakibatkan rata-rata tingkat utilisasi penggunaan mesin yang kecil.

5.2. Analisis Manfaat Metode Penjadwalan Usulan

Metode *simulated annealing* menghasilkan *makespan* sekaligus *delay* paling minimum diantara ketiga metode yang diperbandingkan dan secara otomatis tingkat utilisasi penggunaan mesin yang dihasilkan pun meningkat. Penulis memberi manfaat yang didapat dari penggunaan metode *simulated annealing*.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa manfaat yang diperoleh dengan menggunakan metode *simulated annealing*, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Resiko keterlambatan menurun,
2. Memenangkan kepercayaan konsumen, dan
3. Keuntungan perusahaan meningkat.

6. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut :

1. Kelemahan metode penjadwalan perusahaan adalah :
 - Metode perusahaan menghasilkan nilai *makespan* yang besar (874 menit)
 - *Delay* yang besar (8,394 menit)
 - Rata-rata tingkat utilisasi mesin rendah (19.97%).
2. Hasil dari usulan penjadwalan *screw conveyor* adalah sebagai berikut :
 - Metode *simulated annealing* menghasilkan *makespan* yang lebih kecil 386 menit atau 44.16% lebih kecil daripada metode perusahaan.
 - Metode *simulated annealing* menghasilkan *delay* yang lebih kecil 4,632 menit atau 55.18% lebih kecil daripada metode perusahaan.
 - Metode *simulated annealing* menghasilkan tingkat utilisasi penggunaan mesin yang lebih tinggi 15.79% dari pada metode perusahaan
3. Kelebihan yang didapat dari hasil metode penjadwalan yang diusulkan :
 - Metode *simulated annealing* menghasilkan *makespan* yang paling kecil bila dibandingkan dengan metode *non-delay*.
 - *Makespan* menurun, secara otomatis menurunkan *delay* dan meningkatkan utilisasi mesin.
 - Dengan *makespan* dan *delay* yang kecil, serta tingkat utilisasi penggunaan mesin yang tinggi, maka resiko keterlambatan penyelesaian pesanan menurun, keuntungan yang dapat diperoleh perusahaan meningkat, dan perusahaan memenangkan kepercayaan konsumen.
 - Pengolahan data menjadi lebih mudah, cepat, dan akurat karena dilengkapi dengan *software*.

7. Saran

Saran bagi perusahaan terkait adalah sebagai berikut :

1. Demi meningkatkan kecepatan pembuatan jadwal perusahaan, ada baiknya *software* yang diusulkan dapat diterapkan untuk menyelesaikan kasus perusahaan.
2. Sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan mengenai kasus penjadwalan di PT Kerta Laksana dengan menggunakan metode *simulated annealing* yang mencakup mesin paralel dan bagian perakitan.

8. Daftar Pustaka

Buku-buku dan Jurna yang melandasi teori-teori yang digunakan adalah sebagai berikut :

Baker, Kenneth R. (1974), *Introduction to Sequencing and Scheduling*, John Wiley and Sons Inc., New York,.

Bedworth, David D. dan James E. (1987), *Integrated Production Control System*, John Wiley and Sons Inc., Canada.

Conway, Richard W., et al. (1976), *Theory of Scheduling*, Addison Wesley Publishing Company, Massachusetts,.

Elsayed A. Elsayed. Dan Thomas (1985), *Analysis and Control of Production System*, Prentice Hall, New Jersey,.

Kusuma, Hendra, Ir. (1992), *Perencanaan dan Pengendalian Prodksi I*, Universitas Kristen Maranatha, Bandung,.

Kusumadewi, Sri. (2005), *Penyelesaian Masalah Optimasi dengan Teknik-teknik Heuristik*, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta,.

Morton, Thomas E. (1993), *Heuristic Scheduling System*, John Wiley and Sons Inc., Canada.

Panggabean, Henry Pantas (2002), "Penjadwalan Job Shop Statik dengan Algoritma Simulated Annealing",

<http://home.unpar.ac.id/integral/Volume%207/Integral%207%20No%202/Penjadwalan%20Job%20Shop%20Statik.PDF>, access date: 5 July 2008 at 9.35.

Parker Gary R. (1995), *Deterministic Scheduling Theory*, Chapman & Hall, London.

Pham, D.T. (1952), *Intelegent Optimisation Techniques*, Sringer, New York,.

Sutalaksana, IZ., AnggawisastraR.,Tjakraatmadja, J.H. (1979), *Teknik Tata Cara Kerja*, Jurusan Teknik Industri ITB, Bandung,.