

Usulan Penjadwalan Produksi Baja Profil Menggunakan Metode *Nawaz Enscore And Ham* dan Algoritma *Simulated Annealing*

Evi Febianti^{1*}, Ade Irman Saeful M¹, Junies Fitra¹

¹Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,
Jalan Jend Sudirman KM.03 Cilegon, Banten 42435

*Corresponding Author : evi@untirta.ac.id

Abstrak

Penjadwalan adalah proses pengalokasian sumber daya untuk menjalankan sekumpulan job dalam jangka waktu tertentu. Penjadwalan merupakan sebuah fungsi pengambilan keputusan dalam menentukan jadwal yang tepat. PT. XYZ termasuk perusahaan manufaktur yang memiliki fasilitas pabrik baja profil dan pabrik baja tulangan. Pabrik baja profil menggunakan pola aliran flow shop dengan 6 stasiun kerja. Berdasarkan data history produksi baja profil, permintaan tertinggi yaitu pada bulan Mei 2018 dengan total 6.263,25 ton, terdapat 5 jenis produk yaitu L130, L150, WF150, WF200 dan U200. Selama ini, penjadwalan produksi eksisting perusahaan menerapkan aturan FCFS berarti pengerjaan job dilakukan sesuai dengan waktu kedatangannya. Pengurutan job dilakukan tanpa melihat banyaknya jumlah permintaan pada job, hal ini mengakibatkan besarnya nilai makespan. Dalam penelitian ini, dilakukan penjadwalan produksi usulan menggunakan metode *Nawaz Enscore and Ham* (NEH) sebagai insialisasi awal algoritma *Simulated Annealing* (SA). Algoritma SA dilakukan untuk mendapatkan jadwal optimal yang dapat menurunkan nilai makespan. Berdasarkan hasil dan analisa, penjadwalan produksi usulan menghasilkan makespan sebesar 727,60 jam dengan urutan job 4-3-5-1-2, sedangkan penjadwalan produksi eksisting menghasilkan makespan sebesar 804,85 jam dengan urutan job 1-2-3-4-5. Hasil tersebut dapat diketahui bahwa penjadwalan produksi usulan mendapatkan makespan yang lebih baik yang mampu mereduksi makespan sebesar 77,25 jam atau sebesar 9,598%.

Kata Kunci: *Flow Shop, Makespan, Nawaz Enscore and Ham, Penjadwalan Produksi, Simulated Annealing*

Abstract

Scheduling is defined as the allocation process of resources to run a set of tasks in a specific time period. Scheduling is a function of decision making in determining the right schedule. PT. XYZ is a manufacturing company that has section mill and bar mill. Section mill uses flow shop pattern with 6 work stations. Based on the section mill production data, the highest demand is in May 2018 total 6,263.25 tons, there are 5 types of products namely L130, L150, WF 150, WF200 and U200. During this time, the company's existing production scheduling applying FCFS rules, which means that job processing is carried out according to the arrival time. The job sequence is done without looking at the number of job requests, thus causing a large makespan value. Therefore in this research, the proposed production scheduling using the Nawaz Enscore and Ham (NEH) method as the initialization of the Simulated Annealing (SA) algorithm. The SA algorithm is performed to obtain an optimal schedule that can reduce makespan. Based on the results and analysis of the research, the proposed production scheduling obtained the makespan value for 727.60 hours in the 4-3-5-1-2 sequence, while the existing production scheduling of the company obtained the makespan value for 804.85 hours in the 1-2-3-4-5 sequence. This result is known that the proposed production scheduling gets a better makespan which is able to reduce makespan for 77.25 hours or 9.598%.

Keyword: *Flow Shop, Makespan, Nawaz Enscore and Ham, Production Scheduling, Simulated Annealing*

PENDAHULUAN

Menurut Baker (1974), penjadwalan didefinisikan sebagai proses untuk mengalokasikan sumber-sumber atau mesin-mesin yang ada untuk menjalankan sekumpulan *job* dalam jangka waktu tertentu. Sedangkan Morton (1993), juga mendefinisikan penjadwalan sebagai pengambilan keputusan tentang penyesuaian aktivitas dan sumber daya dalam rangka menyelesaikan sekumpulan pekerjaan agar tepat pada waktunya dan mempunyai kualitas seperti yang diinginkan. Keputusan yang dibuat dalam penjadwalan meliputi pengurutan pekerjaan (*sequencing*), waktu mulai dan selesai pekerjaan (*timing*), dan urutan operasi untuk suatu pekerjaan (*routing*).

Tujuan dari penjadwalan produksi ini yaitu meningkatkan produktivitas, mengurangi *makespan*, mengurangi persediaan barang setengah jadi (*work in process*), mengurangi keterlambatan dan meminimasi ongkos produksi (Baker, 1974).

Berdasarkan pola aliran produksi, ada dua jenis penjadwalan produksi yaitu penjadwalan *job shop* dan penjadwalan *flow shop*. Penjadwalan *job shop* adalah pola alir dari *n job* melalui *m* mesin dengan pola alir sembarang. Sedangkan penjadwalan *flow shop* pola alir dari *n job* yang melalui proses yang sama (searah) (Uttari, 2008).

Latar Belakang

PT. XYZ merupakan salah satu perusahaan manufaktur yang memproduksi berbagai produk baja. Perusahaan ini memiliki dua fasilitas produksi yaitu pabrik baja profil (*section mill*) dan pabrik baja tulangan (*bar mill*), namun pada penelitian ini difokuskan pada pabrik baja profil. Pabrik baja profil menggunakan pola aliran *flow shop* dengan 6 stasiun kerja yaitu *reheating furnace*, *rolling mill*, *cooling bed*, *straightener*, *cold saw* dan *stacking machine*.

Berdasarkan data *history* produksi baja profil, permintaan tertinggi yaitu pada bulan Mei 2018 dengan total 6.263,25 ton, terdapat 5 jenis produk yaitu L130, L150, WF150, WF200 dan U200. Produk-produk tersebut memiliki spesifikasi bentuk dan ukuran yang berbeda, namun dalam produksinya kelima produk tersebut menggunakan lintasan dan stasiun yang sama.

Perusahaan menggunakan tipe produksi *make to order* (MTO) dimana pengerjaan *job* dilakukan sesuai dengan permintaan dari

konsumen. Selama ini, penjadwalan produksi eksiting perusahaan menerapkan aturan *first come first serve* (FCFS) berarti pengerjaan *job* dilakukan sesuai dengan waktu kedatangannya. *Job* yang datang lebih dahulu akan menjadi prioritas dalam proses produksinya. Pengurutan *job* dilakukan tanpa melihat banyaknya jumlah permintaan pada *job* tersebut, hal ini mengakibatkan waktu penyelesaian untuk seluruh *job* menjadi lama.

Penjadwalan produksi dilakukan guna menentukan efisiensi urutan *job* yang akan dikerjakan agar menghasilkan nilai *makespan* yang kecil. Nilai *makespan* harus seminimum mungkin karena semakin kecil nilai *makespan* berarti semakin cepat seluruh pekerjaan dapat terselesaikan, sehingga tidak terjadi keterlambatan pengiriman kepada konsumen dan perusahaan dapat terhindar dari adanya *penalty cost*.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk minimasi *makespan* atau total waktu penyelesaian seluruh *job* yaitu dengan menganalisa dan mengaplikasikan metode penjadwalan produksi yaitu metode *Nawaz Enscore and Ham* (NEH) sebagai insialisasi awal algoritma *Simulated Annealing* (SA).

Metode NEH dipilih dikarenakan menurut Sule, D.R. (2008), metode NEH merupakan metode heuristik yang mudah digunakan dan memberikan hasil yang baik dalam banyak kasus. Selain itu metode NEH telah mendapatkan penghargaan sebagai metode *heuristic* terbaik dalam *flow shop problem*, sehingga diharapkan mampu memberikan suatu bantuan berupa alat atau metode dalam menyelesaikan permasalahan keterlambatan pengerjaan pekerjaan (Nawaz, dkk., 1983). Hasil dari metode NEH ini kemudian dijadikan sebagai inialisasi awal algoritma *Simulated Annealing*.

Algoritma *Simulated Annealing* merupakan algoritma yang digunakan untuk optimasi yang bersifat umum. Algoritma ini dapat diaplikasikan untuk mencari pendekatan terhadap solusi optimum global dari suatu permasalahan optimasi kombinatorial (Thiang, 2009 dalam penelitian Shiddiq, 2015), seperti pada masalah penjadwalan ini dengan 5 *job* dan 6 stasiun kerja. Kelebihan algoritma SA adalah kemampuannya untuk menghindari jebakan optimal lokal (Basuki, dkk, 2004). Penjadwalan produksi usulan dilakukan untuk mencari jadwal terbaik dengan nilai *makespan* terkecil

dan diharapkan dapat memberikan solusi optimal.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab tujuan-tujuan, sebagai berikut:

1. Menentukan urutan *job* terbaik yang dihasilkan pada penjadwalan produksi dengan menggunakan metode NEH.
2. Menentukan urutan *job* terbaik yang dihasilkan pada penjadwalan produksi dengan menggunakan algoritma SA.
3. Menentukan perbandingan *makespan* dari hasil penjadwalan produksi eksisting dengan penjadwalan produksi usulan serta menentukan urutan produksi penjadwalan terbaik.

TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Penjadwalan

Menurut Kenneth R. Baker (2009:4), penjadwalan didefinisikan sebagai proses pengalokasian sumber-sumber atau mesin-mesin yang ada untuk menjalankan sekumpulan tugas dalam jangka waktu tertentu. Definisi lain, menurut Conway (2001:56), penjadwalan adalah proses pengurutan pembuatan produk secara menyeluruh pada sejumlah mesin tertentu dan pengurutan didefinisikan sebagai proses pembuatan produk pada satu mesin dalam jangka waktu tertentu. Input untuk suatu penjadwalan mencakup urutan ketergantungan antar operasi, waktu proses untuk masing-masing operasi, serta fasilitas yang dibutuhkan oleh setiap operasi.

Metode Nawaz Enscore and Ham

Metode *nawaz enscore ham* merupakan *incremental construction algorithms* yang telah mendapatkan penghargaan sebagai metode *heuristic* terbaik dalam *flow shop problem* (Taillard, 1989), sehingga diharapkan mampu memberikan suatu bantuan berupa alat atau metode dalam menyelesaikan permasalahan di perusahaan keterlambatan pengerjaan pekerjaan yang dapat mempengaruhi biaya pengerjaan. Metode NEH ini dikembangkan oleh Muhammad Nawaz, E. Emory Enscore Jr, dan Inyong Ham pada tahun 1983 (Nawaz, dkk., 1983) dalam penelitian (Masudin, 2014).

Menurut Ginting (2009) metode *nawaz enscore, and ham* mengusulkan bahwa pekerjaan yang memiliki total waktu proses lebih besar dari pekerjaan lain seharusnya diberi bobot yang lebih tinggi dari pada total waktu

proses yang lebih kecil, sehingga dapat meminimumkan *makespan*.

Algoritma Simulated Annealing

Algoritma SA diperkenalkan oleh Metropolis, dkk pada tahun 1953 yang beranalogikan dengan proses *annealing* dan diaplikasikan dalam masalah optimasi pertama kali oleh Kirkpatrick, dkk (1983). Algoritma SA bertujuan untuk meminimasi sebuah fungsi objektif. Algoritma ini melakukan peningkatan iteratif untuk memperbaiki solusi yang dihasilkan teknik-teknik penjadwalan *heuristic*. (Suyanto, 2010) dalam penelitian (Samana, 2015).

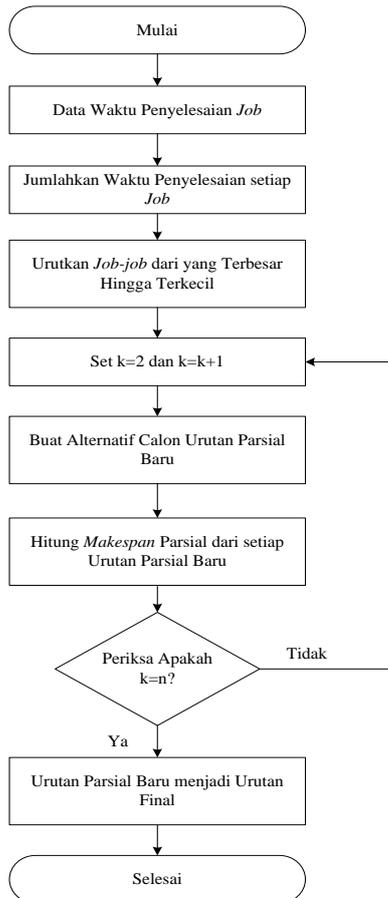
Annealing adalah satu teknik yang dikenal dalam bidang metalurgi, digunakan dalam mempelajari proses pembentukan kristal dalam suatu materi. Agar dapat terbentuk susunan kristal yang sempurna, diperlukan pemanasan sampai suatu tingkat tertentu, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan yang perlahan-lahan dan terkendali dari materi tersebut (Busetti, 2000). Jadi mekanisme kerja dari pemecahan masalah penjadwalan dengan SA menganalogikan susunan *job* sebagai susunan kristal dalam suatu materi, susunan kristal yang sempurna merepresentasikan susunan *job* yang memiliki nilai mendekati optimal (baik minimum maupun maksimum). Proses pembentukan susunan kristal yang sempurna sama halnya dengan proses pencarian susunan *job* yang optimum, yaitu harus “dipanaskan” dan “diturunkan” dengan cara menetapkan temperatur sebagai parameter kendali proses *annealing*.

METODE PENELITIAN

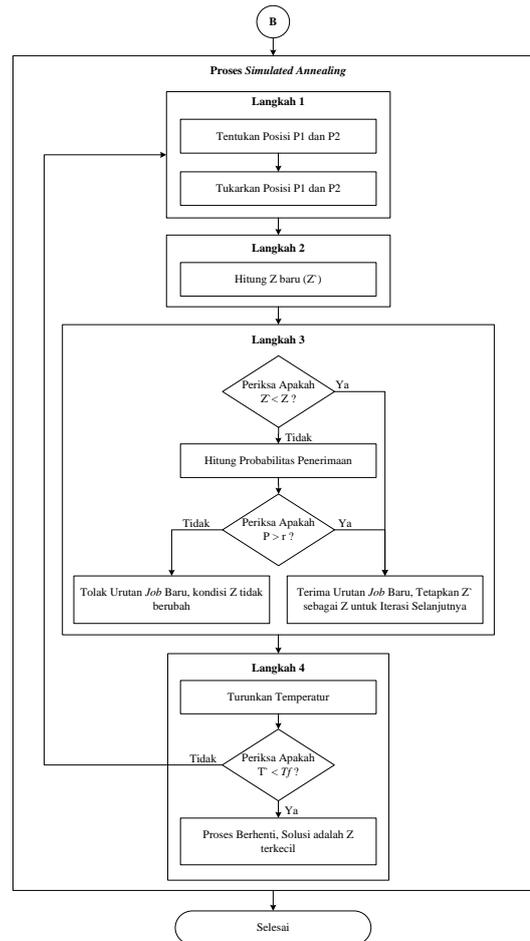
Metode penelitian merupakan tahapan proses yang digunakan untuk menguraikan urutan langkah-langkah dalam melakukan proses penelitian. Alur pemecahan masalah digambarkan dengan menggunakan *flow chart*, sebagai berikut:

Flow Chart Metode Nawaz Enscore and Ham

Berikut ini adalah bentuk *flow chart* pemecahan masalah metode NEH:



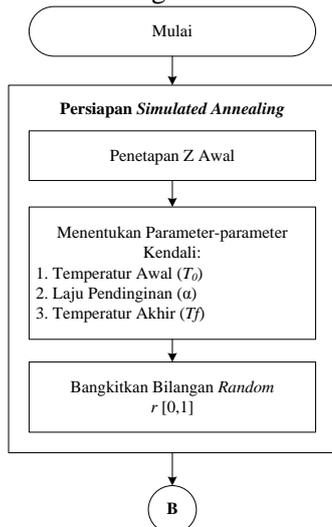
Gambar 1. Flow Chart Metode Nawaz, Enscore and Ham



Gambar 2. Flow Chart Algoritma Simulated Annealing (Lanjutan)

Flow Chart Algoritma Simulated Annealing

Berikut ini adalah bentuk flow chart pemecahan masalah algoritma SA:



Gambar 2. Flow Chart Algoritma Simulated Annealing

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pabrik baja profil menghasilkan baja profil dengan jenis dan spesifikasi dimensi yang berbeda. Pembagian job dikelompokkan berdasarkan permintaan tertinggi dalam kurun waktu 10 bulan pada tahun 2018. Berikut ini adalah data produksi baja profil berdasarkan permintaan produk tertinggi yaitu pada bulan Mei 2018 yang terdiri dari produk L130, L150, WF150, WF200 dan U200:

Tabel 1. Data Produksi Baja Profil Bulan Mei 2018

Jenis Produk	Ukuran (Mm)	Kg/Meter	Produksi (Ton)	Produksi (Unit)	Billet (Unit)
L 130	130 x 130 x 12	23,4	430,47	1534	384
L 150	150 x 150 x 15	33,6	439,08	1089	273
WF150	150 x 75 x 5	14	1144,92	6815	1136
WF200	200 x 100 x 5,5	21,23	2737,21	10745	1791
U 200	200 x 80 x 7,5	24,6	969,44	3285	822
Total			5721,12	23468	4406

Total produksi baja profil sebanyak 23.468 unit dengan total *billet* yang digunakan adalah 4.406 unit.

Waktu penyelesaian (t_{ij}) merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu *job* berdasarkan jumlah permintaan yang diterima. Berikut tabel waktu penyelesaian untuk setiap *job* yang akan dijadwalkan:

Tabel 2. Data Waktu Penyelesaian *Job*

Job	Waktu Penyelesaian Setiap Job (jam)					
	Reheating Furnace	Rolling Mill	Cooling Bad	Straightener	Cold Saw	Stacking Machine
L130	16,72	49,39	18,06	5,85	18,82	7,86
L150	11,92	28,61	12,84	3,89	12,98	5,67
WF150	49,45	174,08	53,46	24,77	75,11	24,12
WF200	77,84	241,73	84,17	33,20	119,77	37,82
U200	35,75	103,45	38,56	14,27	40,20	16,96

Contoh perhitungan waktu penyelesaian *job* 1 di stasiun *reheating furnace* untuk produk L130:

- waktu *set up* = 180 detik
- waktu baku = 7190,04 detik
- jumlah *billet* = 384 unit
- jumlah mesin = 1 unit
- kapasitas mesin = 46 unit

$$t_{ij} = \text{Waktu set up} + \left(\frac{\text{Waktu baku} \times \text{Jumlah permintaan}}{\text{Jumlah mesin} \times \text{Kapasitas mesin}} \right)$$

$$= 180 + \left(\frac{7190,04 \times 384}{1 \times 46} \right)$$

$$= 60201,17 \text{ detik}$$

$$= 16,72 \text{ jam}$$

Penjadwalan Eksisting Perusahaan

Urutan penjadwalan produksi pada bulan Mei 2018 yaitu *job* 1 (L 130) - *job* 2 (L 150) - *job* 3 (WF 150) - *job* 4 (WF 200) - *job* 5 (U 200). Berikut ini perhitungan penjadwalan produksi pada perusahaan:

Tabel 3. Penjadwalan Produksi Eksisting Perusahaan

Stasiun Kerja		Urutan Pengerjaan Job (Jam)				
		Job 1	Job 2	Job 3	Job 4	Job 5
ST1	Mulai	0	16,72	28,64	78,09	155,92
	Selesai	16,72	28,64	78,09	155,92	191,67
ST2	Mulai	16,72	66,12	94,73	268,81	510,54
	Selesai	66,12	94,73	268,81	510,54	613,99
ST3	Mulai	66,12	94,73	268,81	510,54	613,99
	Selesai	84,18	107,57	322,27	594,71	652,55
ST4	Mulai	84,18	107,57	322,27	594,71	652,55
	Selesai	90,03	111,46	347,04	627,92	666,82
ST5	Mulai	90,03	111,46	347,04	627,92	747,69
	Selesai	108,86	124,44	422,15	747,69	787,89
ST6	Mulai	108,86	124,44	422,15	747,69	787,89
	Selesai	116,72	130,11	446,27	785,52	804,85

Pada tabel 3 diketahui nilai *makespan* yang dihasilkan dari penjadwalan produksi eksisting perusahaan yaitu sebesar 804,85 jam.

Penjadwalan Metode Nawaz Enscore and Ham

Untuk penjadwalan 5 *job* terhadap 6 mesin dilakukan dengan metode NEH dengan langkah-langkah sebagai berikut:

Langkah 1:

- a. Menjumlahkan waktu penyelesaian setiap *job*.
- b. Melakukan pengurutan *job* secara *decrease* yaitu dari total waktu penyelesaian terbesar hingga ke total waktu penyelesaian terkecil.
- c. Hasil urutan ini disebut dengan daftar pengurutan *job-job*, sehingga daftar urutannya adalah *job* 4 - *job* 3 - *job* 5 - *job* 1 - *job* 2.

Langkah 2:

- a. *Set k = 2*, pada iterasi 1.
- b. Memilih *job* yang menempati urutan pertama dan kedua pada daftar pengurutan *job-job*. *Job* urutan pertama yaitu *job* 4 dan *job* urutan kedua yaitu *job* 3.
- c. Membuat dua alternatif calon urutan parsial baru, yaitu sebagai berikut: calon urutan parsial 4-3 dan calon urutan parsial 3-4.
- d. Menghitung *makespan* parsial dari dua calon urutan parsial baru.
- e. Memilih calon urutan parsial baru yang memiliki *makespan* parsial yang lebih kecil. Berdasarkan perhitungan *makespan* parsial dari kedua calon urutan parsial didapatkan bahwa calon urutan parsial 4-3 dipilih dengan nilai *makespan* parsial sebesar 671,11 jam.
- f. Calon urutan parsial 4-3 yang terpilih menjadi urutan parsial yang baru untuk iterasi selanjutnya.

Langkah 3:

- a. *Set k = k + 1*, pada iterasi 2.
- b. Memilih *job* yang menempati urutan ketiga dari daftar pengurutan *job-job*. *Job* dengan urutan ketiga yaitu *job* 5.
- c. Membuat calon urutan parsial baru sebanyak $k=3$ dengan memasukkan *job* yang diambil kedalam setiap *slot* urutan parsial sebelumnya, yaitu sebagai berikut:

- calon urutan parsial 4-3-5, calon urutan parsial 4-5-3 dan calon urutan parsial 5-4-3.
- Menghitung setiap *makespan* parsial dari calon urutan parsial yang baru.
 - Memilih calon urutan parsial baru yang memiliki *makespan* yang parsial yang lebih kecil. Berdasarkan perhitungan *makespan* parsial dari ketiga calon urutan parsial didapatkan bahwa calon urutan parsial 4-3-5 dipilih dengan nilai *makespan* parsial sebesar 707,09 jam.
 - Calon urutan parsial 4-3-5 yang terpilih menjadi urutan parsial yang baru untuk iterasi selanjutnya.
 - Periksa apakah $k = n$ (dimana n adalah jumlah *job* yang ada). Jika ya, lanjutkan ke langkah 4. Jika tidak, lanjutkan ke langkah 3.

Langkah 4:

Urutan parsial baru menjadi urutan final dan *stop*. Berikut merupakan ringkasan keseluruhan iterasi metode NEH:

Tabel 4. Ringkasan Iterasi Metode NEH

Iterasi	Calon Urutan Parsial	Makespan (Jam)
1	4-3	671.11
	3-4	740.24
2	4-3-5	707.09
	4-5-3	774.56
	5-4-3	732.47
3	4-3-5-1	716.81
	4-3-1-5	756.48
	4-1-3-5	756.48
	1-4-3-5	723.81
4	4-3-5-1-2	727.60
	4-3-5-2-1	729.79
	4-3-2-5-1	745.43
	4-2-3-5-1	745.43
	2-4-3-5-1	728.73

Berdasarkan pada tabel 4, urutan parsial baru yang terpilih yaitu pada iterasi keempat dengan urutan *job* 4-3-5-1-2 dan urutan ini menjadi urutan *final* sehingga penjadwalan produksi metode NEH telah selesai.

Penjadwalan Algoritma Simulated Annealing

Algoritma SA dilakukan melalui dua tahap yaitu sebagai berikut:

A. Persiapan Simulated Annealing

- Penetapan Z Awal

Z awal yang dipakai dalam penelitian ini adalah nilai *makespan* dari hasil penjadwalan metode NEH sebagai inialisasi awal dilakukannya perbaikan dengan algoritma SA yaitu $Z = 727,60$.

- Penentuan Parameter Kendali

Dalam SA ada beberapa parameter yang perlu ditetapkan. Parameter tersebut antara lain:

- Temperatur Awal (T_0), yang digunakan adalah nilai *makespan* hasil penjadwalan metode NEH yaitu sebesar 727,60.
- Laju Pendinginan (α), merupakan koefisien yang mempengaruhi berapa lama suatu sistem “didinginkan”. Laju pendinginan digunakan untuk menentukan temperatur baru dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Chibante, 2010):

$$T = \alpha T$$

Tidak ada ketentuan khusus mengenai besarnya α , pada penelitian ini ditetapkan beberapa nilai laju pendinginan (α) yang digunakan yaitu 0,9; 0,7; 0,5; 0,3 dan 0,1.

- Temperatur Akhir (T_f), merupakan nilai akhir parameter kendali yang digunakan sebagai kriteria pemberhentian proses *annealing*. Jika temperatur sistem sudah mencapai nilai akhir parameter kendali ($T < T_f$), maka proses *annealing* dihentikan. Pada penelitian ini ditentukan nilai akhir parameter kendali adalah sebesar 1% dari temperatur awal yaitu sebesar 7,2760.

- Bangkitkan Bilangan *Random*

B. Proses Simulated Annealing

Tahap proses *simulated annealing* dilakukan menggunakan langkah-langkah sebagai berikut:

Temperatur awal: $T_0 = 727,6$; $Z = 727,60$

Langkah 1: Penentuan urutan *job*

Urutan *job* dari hasil penjadwalan metode *nawaz enscore and ham* digunakan sebagai inialisasi awal untuk proses *simulated annealing*, yaitu 4-3-5-1-2.

Langkah 2: Perhitungan nilai fungsi tujuan (Z)

Nilai fungsi tujuan (Z) merupakan kondisi awal pada temperatur awal, maka didapat $Z = 727,60$.

Langkah 3: Evaluasi fungsi tujuan

Evaluasi fungsi tujuan dengan memeriksa $Z' < Z$. Pada temperatur awal didapat $Z' = 727,60 \leq Z = 727,60$.

Keputusan: Terima solusi baru, tetapkan Z' sebagai Z untuk iterasi selanjutnya.

Langkah 4: Perbaharui temperatur

Perbaharuan temperatur merupakan penurunan temperatur untuk iterasi selanjutnya berdasarkan besarnya laju pendinginan ($\alpha=0,9$), dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$T' = \alpha T$$

$$T' = 0,9 \times 727,60$$

$$T' = 654,84$$

Temperatur 1: $T_1 = 654,84$; $Z = 727,60$

Langkah 1: Penentuan urutan job

Penentuan urutan job dilakukan dengan menentukan posisi P1 dan P2, kemudian kedua posisi tersebut dilakukan penukaran dengan *swap mutation*.

Urutan sebelumnya: 4-3-5-1-2

Posisi = $round[(1 + r(n-1))]$

$$P1 = [1 + 0,349608862(5-1)] = 2$$

$$P2 = [1 + 0,605956205(5-1)] = 3$$

Urutan setelah dipertukarkan: 4-2-5-1-3

Langkah 2: Perhitungan nilai fungsi tujuan baru (Z')

Berikut ini merupakan perhitungan *makespan* dengan urutan job 4-2-5-1-3:

Tabel 5. Perhitungan *Makespan* Temperatur 1

Stasiun Kerja		Urutan Job (Jam)				
		Job 4	Job 2	Job 5	Job 1	Job 3
Reheating Furnace	Mula i	0	77,84	89,75	125,50	142,22
	Selesai ai	77,84	89,75	125,50	142,22	191,67
Rolling Mill	Mula i	77,84	319,57	348,18	451,63	501,02
	Selesai ai	319,57	348,18	451,63	501,02	675,10
Cooling Bad	Mula i	319,57	403,74	451,63	501,02	675,10
	Selesai ai	403,74	416,58	490,19	519,09	728,56
Straightener	Mula i	403,74	436,94	490,19	519,09	728,56
	Selesai ai	436,94	440,83	504,47	524,94	753,34
Cold Saw	Mula i	436,94	556,72	569,70	609,80	753,34
	Selesai ai	556,72	569,70	609,80	628,72	828,44
Stacking Machine	Mula i	556,72	594,54	609,80	628,72	828,44
	Selesai ai	594,54	600,21	626,85	636,58	852,56

Pada tabel 5 didapatkan nilai *makespan* dengan urutan job 4-2-5-1-3 pada temperatur 1 yaitu sebesar 852,56 jam.

Langkah 3: Evaluasi fungsi tujuan

Evaluasi fungsi tujuan dengan memeriksa $Z' < Z$. Pada temperatur 1 didapat $Z' = 852,56 > Z = 727,60$.

Selanjutnya dengan menghitung probabilitas penerimaan Boltzmann (dengan $k_B = 1$) dari Z' menggunakan rumus sebagai berikut (Metropolis dkk, 1953):

$$P = e^{-\Delta Z/k_B T}$$

$$P = e^{-(825,56-727,60)/1 \times 654,84}$$

$$P = 0,826269518$$

Nilai probabilitas penerimaan kemudian dibandingkan dengan bilangan *random*. Jika nilai probabilitas lebih dari bilangan *random* ($P > r$), maka terima solusi baru (Z') dan solusi baru akan dijadikan Z awal pada iterasi selanjutnya. Sebaliknya nilai probabilitas kurang dari bilangan *random* ($P < r$), maka tolak solusi baru (Z') dan nilai Z untuk iterasi selanjutnya tidak berubah.

$$P = 0,826269518 > \text{bilangan random } r = 0,682776968$$

Keputusan: Terima solusi baru, tetapkan Z' sebagai Z untuk iterasi selanjutnya.

Langkah 4: Perbaharui temperatur

Perbaharuan temperatur merupakan penurunan temperatur untuk iterasi selanjutnya berdasarkan besarnya laju pendinginan ($\alpha=0,9$), dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$T' = \alpha T$$

$$T' = 0,9 \times 654,84$$

$$T' = 589,35$$

Proses *simulated annealing* ini terus berlanjut sampai kriteria pemberhentian terpenuhi, yaitu ketika temperatur akhir mencapai 7,2760 yang berada pada temperatur ke 44.

Proses SA dilakukan kembali mulai dari langkah pertama hingga selesai dengan parameter laju pendinginan yang berbeda, yaitu dengan $\alpha = 0,7$; $\alpha = 0,5$; $\alpha = 0,3$ dan $\alpha = 0,1$.

Uji ANOVA

ANOVA merupakan salah satu teknik analisis yang berfungsi untuk membedakan rata-rata lebih dari dua kelompok data dengan caramembandingkan variansinya (Ghozali, 2009). Uji ANOVA dilakukan dengan satu jalur

yang disebut ANOVA-*One Way* artinya uji untuk membedakan rata-rata lebih dari dua kelompok data berdasarkan satu faktor, yaitu faktor laju pendinginan. Pada penelitian ini, uji ANOVA dilakukan untuk melihat perbedaan rata-rata Z' hasil dari proses SA dengan parameter laju pendinginan yang berbeda, yaitu pada $\alpha = 0,9$; $\alpha = 0,7$; $\alpha = 0,5$; $\alpha = 0,3$ dan $\alpha = 0,1$.

Adapun hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut:

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$, yaitu tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar rata-rata Z' hasil dari proses SA dengan laju pendinginan yang berbeda.

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$, yaitu terdapat perbedaan yang signifikan antar rata-rata Z' hasil dari proses SA dengan laju pendinginan yang berbeda.

Uji ANOVA-*One Way* dengan menggunakan *icon Data Analysis* pada Microsoft Excel, sebagai berikut:

Tabel 6. Perhitungan Uji ANOVA-*One Way*

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F _{tabel}
Between Groups	8342,30	4	2085,58	0,8480	0,4996	2,5027
Within Groups	172162,99	70	2459,47			
Total	180505,29	74				

Contoh Perhitungan:

- Distribusi-F Hitung

$$F_{hitung} = \frac{MS_b}{MS_w} = \frac{2085,58}{2459,47} = 0,8480$$

- Distribusi-F pada tabel

$$F_{tabel} = F_{(\alpha; df_{Sb}, df_{Sw})} = F(0,05;4;70) = 2,5027$$

Pada tabel 6 diketahui hasil perhitungan uji ANOVA-*One Way* memperlihatkan nilai F_{hitung} sebesar 0,8480 dan F_{tabel} sebesar 2,5027. Kedua nilai tersebut dilakukan perbandingan, didapat bahwa nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$ ($0,8480 < 2,5027$) sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa terima H_0 artinya nilai rata-rata Z' proses SA dari masing-masing laju pendinginan tidak terdapat perbedaan yang signifikan atau seluruh rata-rata sampel adalah sama. Keputusan hasil uji ANOVA-*One Way* ini untuk menerima H_0 , maka tidak perlu melakukan analisis lanjutan atau uji setelah ANOVA. Berikut rata-rata Z' pada masing-masing laju pendinginan:

Tabel 7. Rata-rata Z' Masing-masing Laju Pendinginan

No	Laju Pendinginan	Rata-rata Z'
1	0,9	789,70
2	0,7	793,05
3	0,5	804,17
4	0,3	825,59
5	0,1	818,72

Pada tabel 7 diketahui nilai rata-rata Z' terkecil yaitu pada $\alpha = 0,9$. Sehingga penjadwalan produksi usulan algoritma SA yang dipakai yaitu dengan parameter α sebesar 0,9.

Pebandingan Penjadwalan Produksi Eksisting Perusahaan dan Penjadwalan Produksi Usulan

Setelah seluruh rangkaian perhitungan penjadwalan produksi eksisting menggunakan aturan FCFS dan penjadwalan produksi usulan menggunakan algoritma SA dengan inialisasi awal metode NEH selesai, maka dapat dilakukan perbandingan nilai *makespan*, sebagai berikut:

Tabel 8. Perbandingan *Makespan*

No	Penjadwalan Produksi	Urutan	<i>Makespan</i> (Jam)
1	Eksisting	1-2-3-4-5	804,85
2	Usulan	4-3-5-1-2	727,60

Berdasarkan tabel 8, dapat diketahui penjadwalan eksisting perusahaan dengan urutan pengerjaan *job* 1-2-3-4-5 menghasilkan nilai *makespan* sebesar 804,85 jam, sedangkan penjadwalan usulan dengan urutan pengerjaan 4-3-5-1-2 menghasilkan nilai *makespan* 727,60 jam. Urutan penjadwalan usulan ini didapatkan dari keseluruhan proses SA ($\alpha = 0,9$) didapatkan solusi terbaik dengan nilai *makespan* terkecil yaitu pada temperatur ke-38 (T_{38}). Nilai *makespan* pada penjadwalan produksi usulan mampu mereduksi *makespan* sebesar 77,25 jam.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan penelitian mengenai penjadwalan produksi baja profil di PT. XYZ, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

- Urutan *job* terbaik yang dihasilkan pada penjadwalan produksi dengan menggunakan metode NEH yaitu *job* 4 (WF 200) – *job* 3 (WF 150) – *job* 5 (U 200) – *job* 1 (L 130) – *job* 2 (L 150).

2. Urutan *job* terbaik yang dihasilkan pada penjadwalan produksi dengan menggunakan algoritma SA yaitu *job* 4 (WF 200) – *job* 3 (WF 150) – *job* 5 (U 200) – *job* 1 (L 130) – *job* 2 (L 150).
3. *Makespan* penjadwalan produksi eksisting yaitu sebesar 804,85 jam dan *makespan* penjadwalan produksi usulanyaitu sebesar 727,60 jam, persentase pengurangan *makespan* penjadwalan produksi usulan sebesar 9,598% serta urutan penjadwalan produksi terbaik yaitu pada urutan *job* 4 (WF200) – *job* 3 (WF150) – *job* 5 (U200) – *job* 1 (L130) – *job* 2 (L150).

DAFTAR PUSTAKA

- Baker, Kenneth. R. 1974. *Introduction to Sequencing and Scheduling*. New York: John Wiley & Sons, Inc. Publication.
- Baker, Kenneth. R. 2009. *Principle to Sequencing and Scheduling*. New York: A John Wiley & Sons, Inc. Publication.
- Basuki, Huda dan Santoso. (2004). *Modeling dan Simulasi*. Jakarta Selatan: IPTAQ Mulia Media.
- Buseti, Franco. 2000. *Simulated Annealing Overview*. Available from: <http://www.geocities.com/francobuseti/saweb.pdf> [Diakses pada 20 Februari 2019 Pukul 22.30].
- Conway, Richard W., Maxwell, William L., Miller, Louis W. (2001). *Theory of Scheduling*. America: Addison-Wesley Publishing Company.
- Ginting, R. 2009. *Penjadwalan Mesin*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Masudin, Ilyas, Dana Marsetya dan Febrianto Susastro. 2014. Penjadwalan Flowshop Menggunakan Algoritma Nawaz Enscore Ham. *Jurnal Teknik Industri*, Vol 13 No 1 Hal: 54-59.
- Morton, Thomas E., Pentico, David W. (2001). *Heuristic Scheduling Systems*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Nawaz, Muhammad; Enscore, E. Emory Jr.; dan Ham, Inyong. 1983. A Heuristic Algorithm for m-Machine, n-Job Flowshop Sequencing Problem. *Journal Omega*. Vol. 11, No. 1, pp. 91-95.
- Shiddiq, Hafid A, Sugiono dan Ceria Farela Mada Tantrika. 2015. Implementasi Algoritma Simulated Annealing pada Penjadwalan Produksi untuk Meminimasi Makespan (Studi Kasus di PT. Gatra Mapan, Karang Ploso, Malang). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*. Vol 3 No 1 Hal: 43-52.
- Sule, Dileep R. 2008. *Production Planning and Industrial Scheduling: Examples, Case Studies and Applications Second Edition*. New York: CRC Press.
- Uttari, Saria. 2008. Usulan Penjadwalan Produksi Produk Main Frame pada Mesin Punch Exentrik di PT. Beton Perkasa Wijaksana. (*Skripsi*). Jakarta: Universitas Pembangunan Nasional Veteran.