

## OPTIMASI PENJADWALAN PRODUKSI MENGGUNAKAN METODE *SIMULATED ANNEALING* DI INDUSTRI XYZ

Purwo Budi Utomo<sup>1\*</sup>, Widya Setiafindari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Industri, Universitas Teknologi Yogyakarta

<sup>2</sup>Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Teknologi Yogyakarta

\*Corresponding author: purwobudi01@gmail.com

<https://doi.org/10.31603/benr.4610>

### Abstract

*XYZ company in January 2020, received a complaint from one of its customers because the order was late. This event can occur because several things affect it, such as work accidents, machine repairs and improper scheduling. However, when consumers complain about late orders, it turns out that the production schedule is not good. XYZ company applies the FCFS (First Come First Serve) method in determining its production schedule. The production schedule for the January 2020 period saw a delay again where in this period, the one-cylinder sleeve line got jobs to work on five types of products, including cylinder sleeves 73 mm, 78 mm, 92 mm, 86 mm, and 95 mm with a total of 940 pcs of products. The time to work on this product is available as many as 24 working days. Production schedule uses FCFS with the formation of jobs 4-2-5-1-3 and has a makespan value of 30,175 seconds. After that, use the Simulated Annealing (SA) method to analyze the production schedule. This research produces a production schedule suggestion with jobs 1-3-5-2-4 and has a makespan value of 29,165 seconds. After analyzing it, it turns out that the proposed new production schedule can reduce production time. The initial production schedule produces 940 pcs of products with 25.01 days, while the production schedule with the proposed scheduling can produce 940 pcs of products in 24.17 working days. The reduced production time was able to reach 20.16 hours.*

*Keywords: Simulated Annealing (SA); Production Schedule; Makespan.*

### Abstrak

Perusahaan XYZ pada bulan Januari 2020 mendapatkan *complain* dari salah satu konsumennya karena pesanan datang terlambat. Peristiwa ini bisa terjadi karena beberapa hal yang mempengaruhinya, seperti kecelakaan kerja, perbaikan mesin dan penjadwalan yang tidak tepat. Namun pada saat konsumen *complain* tentang pesanan terlambat, ternyata jadwal produksi kurang baik yang menjadi penyebabnya. Perusahaan XYZ menerapkan metode FCFS (*First Come First Serve*) dalam menentukan jadwal produksinya. Jadwal produksi periode Januari 2020 kembali terjadi keterlambatan dimana untuk pada periode ini line satu *cylinder sleeve* mendapat jobs untuk lima jenis produk, diantaranya *cylinder sleeve* 73 mm, 78 mm, 92 mm, 86 mm, dan 95 mm dengan jumlah total sebanyak 940 pcs produk. Waktu untuk mengerjakan produk ini tersedia sebanyak



[This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

24 hari kerja. Jadwal produksi menggunakan FCFS dengan susunan formasi jobs 4-2-5-1-3 serta memiliki nilai *makespan* 30175 detik. Setelah itu menggunakan metode *Simulated Annealing* (SA) untuk menganalisis penjadwalan produksi. Penelitian ini menghasilkan usulan production schedule dengan susunan jobs 1-3-5-2-4 dan memiliki nilai *makespan* 29165 detik. Setelah dilakukan analisa, ternyata usulan jadwal produksi baru dapat mengurangi waktu produksi. Jadwal produksi awal menghasilkan 940 pcs produk dengan 25,01 hari, sedangkan jadwal produksi dengan penjadwalan yang diusulkan dapat menghasilkan 940 pcs produk dalam 24,17 hari kerja. Waktu produksi yang berhasil diturunkan mampu mencapai 20,16 jam.

Keywords: *Simulated Annealing (SA)*; *Penjadwal Produksi*; *Makespan*.

---

## 1. Pendahuluan

Industri selalu menjalankan proses produksinya sehingga menghasilkan produk yang siap dijual. Industri pasti menginginkan profit yangsemaksimal mungkin dengan pengeluaran sumber daya seminimal mungkin baik itu sumber daya manusia, mesin, waktu dan material. Maka dari itu setiap industri akan selalu berusaha untuk melakukan perbaikan/meningkatkan terhadap sistem produksi. Sistem produksi merupakan sekumpulan elemen yang saling terintegrasi dan terhubung sehingga dapat menciptakan suatu produk. Sistem produksi yang baik harus melalui metode perencanaan yang terukur. Perencanaan produksi sebagai aktivitas penentuan tingkat produksi pabrik yang dinyatakan secara agregat (Baroto, 2002). Sistem ini merupakan jantung dari suatu industri. Industri yang maju merupakan industri yang dapat mengelola sistem produksinya dengan baik. Melalui sistem yang baik ini maka proses produksi dapat berjalan dengan lancar sehingga tercipta efisiensi dari segi, biaya, waktu, tenaga dan material. Ada beberapa hal yang dapat dilakukan oleh industri dalam mengelola dan melakukan *improvement* terhadap sistem produksinya, salah satu dengan melakukan penjadwalan produksi yang tepat (Ginting, 2009). Industri XYZ merupakan industri yang bergerak di bidang pengecoran baja. Salah satu produk yang dihasilkan adalah *cylinder sleeve* yang telah mendapatkan kesepakatan dengan PT. TMMIN (PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia). Industri XYZ juga memproduksi berbagai produk baja seperti wajan, *drum brake* dan lain – lain.

## 2. Metode Penelitian

SA merupakan metode optimasi yang dapat menyelesaikan permasalahan generik dengan pendekatan algoritme (Zhang, 2013). SA bekerja berbasiskan probabilitas dan mekanika statistik (Xiang, 2013). Algoritme ini dapat digunakan untuk mencari pendekatan terhadap solusi optimum global dari suatu permasalahan. Masalah yang membutuhkan pendekatan SA merupakan masalah - masalah optimisasi kombinatorial, di mana ruang pencarian solusi yang ada terlalu besar, sehingga hampir tidak mungkin ditemukan solusi eksak terhadap permasalahan. SA dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan di industri maupun akademik (Cura, 2007) ; (Firdaus & Masudin, 2015); (Suwarjono *et al.*, 2013). Teknik ini meniru perilaku baja yang mengalami pemanasan sampai suhu tertentu kemudian didinginkan secara perlahan (Santosa, 2017). Ketika baja dipanaskan sampai suhu mendidih, atom-atom penyusun baja akan bergerak secara bebas dan akan semakin terbatas pergerakannya seiring menurunnya suhu baja tersebut. Ketika suhunya turun, susunan atomnya akan menjadi lebih teratur dan akhirnya akan membentuk kristal serta mempunyai energi internal yang minimum. Metode *Simulated Annealing* ini dapat

diterapkan pada beberapa kasus optimasi seperti TSP, VRP dan penjadwalan metode SA meniru proses pendinginan secara perlahan untuk mencapai nilai minimum fungsi dalam permasalahan minimasi (Belianty, 2010). Proses pendinginan ini ditiru dengan menentukan parameter yang serupa dengan suhu lalu mengontrolnya dengan menggunakan konsep *Distribution Probability Boltzmann* (DPB). DPB ini menyatakan bahwa energi (E) dari suatu sistem keseimbangan panas suhu T terdistribusi secara probabilistik, sesuai [Persamaan 1](#).

$$P(E) = e^{-E/kT} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

P (E) = Peluang mencapai nilai energi = 2,718.

E/S” = Energi/Selisih *Makespan*.

k = Konstanta BoltzmannT.

= Temperatur.

Dalam minimasi fungsi solusi yang sekarang (misalnya) adalah “x” dan nilai fungsinya f(x), mirip dengan status energi pada sistem *thermodinamica*, energi  $E_i$  pada status  $x_i$  disajikan dalam [Persamaan 2](#).

$$E_i = f_i = f(x_i) \dots\dots\dots (2)$$

Metode *Simulated Annealing* ini dimulai dengan suatu vektor solusi  $x_i$  dimana  $x_i$  merupakan iterasi ke-i dan nilai temperature T yang cukup tinggi. Bangkitkan vektor solusi baru secara random yang dekat dari titik saat ini dan hitung perbedaan nilai fungsi tujuannya mengikuti [Persamaan 3](#).

$$\Delta E = E_{i+1} - E_i = \Delta f = f_{i+1} - f_i = f(x_{i+1}) - f(x_i) \dots\dots\dots (3)$$

Titik baru dapat ditemukan dengan menggunakan *Distribution Probability Boltzmann*. Untuk faktor Boltzmann, “k” dapat diberi nilai 1. Jika  $\Delta E \leq 0$ , maka  $P[E_{i+1}] = 1$  sehingga titik  $x_{i+1}$  selalu diterima. Disisi lain jika  $\Delta E > 0$ , maka nilai  $f(x_{i+1})$  akan lebih besar dari  $f(x_i)$ . Dalam optimasi menggunakan metode *Simulated Annealing* ini dapat diterima dengan probabilitas P, dengan [Persamaan 4](#).

$$P[E_{i+1}] = e^{-E/kT} \dots\dots\dots (4)$$

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa pada temperature (T) tinggi maka peluang diterimanya  $x_{i+1}$  dengan  $\Delta E$  (tinggi) akan semakin besar. Dengan menurunnya temperature (T) probabilitas untuk menerima titik  $x_{i+1}$  akan semakin kecil. Maka, semakin rendah temperature (T) peluang suatu solusi  $x_{i+1}$  dengan nilai  $f$  lebih besar dibandingkan pada titik  $x_i$  akan semakin kecil. Adapun langkah-langkah yang harus dilalui dalam perhitungan algoritma *Simulated*

*Annealing* sebagai berikut.

**a. Inisialisasi Jadwal Inisialisasi**

Dalam menyelesaikan permasalahan penjadwalan ini dibutuhkan waktu penyelesaian tiap proses pada masing-masing proses produksi untuk mengetahui waktu normal dan waktu baku (Catoni, 1998). Waktu normal dan waktu baku ini yang nantinya akan digunakan sebagai input dalam algoritma *Simulated Annealing*.

**b. Penentuan Parameter**

Selain waktu proses yang digunakan sebagai *input* dari algoritma *Simulated Annealing*, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya temperatur awal, faktor pereduksi temperatur dan banyaknya iterasi. Ketiga hal tersebut akan dijadikan sebagai parameter dalam perhitungan *Simulated Annealing*. Untuk temperatur awal ditentukan  $T = 100^{\circ}$ . Menurut Santosa (2011), penentuan suhu awal yang tidak terlalu tinggi bertujuan agar pengurangan temperatur yang terlalu banyak dengan hasil yang sama dapat dihindari. Suhu awal ini juga tidak terlalu kecil, tujuannya agar dapat mengurangi kemungkinan titik-titik yang dapat menjadi *global optimum* akan terlewat (Santosa, 2011). Untuk faktor reduksi temperature  $c = 0,6$ . Nilai tersebut dapat menghindari nilai komputasi yang terlalu besar selain itu juga bertujuan untuk menghindari penurunan yang terlalu cepat. Sedangkan penentuan jumlah iterasi  $i$  berdasarkan besarnya ruang solusi yang ada. Selain beberapa hal yang menjadi input dalam perhitungan *Simulated Annealing*, harus ditentukan kriteria pemberhentian. Penentuan kriteria pemberhentian yang biasa dipakai adalah 0,0000001.

**c. Membangkitkan Dan Mengevaluasi Solusi Baru**

Pembangkitan solusi baru dilakukan dengan membangkitkan bilangan *random* dengan range antara 0 sampai 1, pencarian bilangan *random* ini dapat menggunakan bantuan *software excel* dengan rumus  $(=0+1*\text{RAND}())$ . Berikut ini merupakan proses dari tahapan membangkitkan dan mengevaluasi solusi baru (Shiddiq, 2014).

**1) Menghitung *Makespan* Penjadwalan Awal**

Sebagai contoh urutan penjadwalan pada PT XYZ adalah 3 – 4 – 2 – 1 dengan nilai *Makespan* 1.490 menit, kemudian masuk ke iterasi pertama pada siklus temperature pertama ( $T=100^{\circ}$ ). Didapatkan urutan 2 – 4 – 3 – 1 dengan *Makespan* 1.438,3 menit. Selanjutnya *makespan* baru akan dievaluasi, *makespan* baru akan diartikan sebagai  $f_{i+1}$  dan *makespan* lama akan diartikan sebagai  $f_i$ . Kemudian hitung  $\Delta f$  sesuai Persamaan 5, sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Delta f &= f_{i+1} - f_i \dots\dots\dots (5) \\ &= 1.438,3 - 1.490 = -51,7 \end{aligned}$$

**2) Penentuan Diterima Atau Tidak Atas Solusi Baru**

Penentuan ini karena hasil dari perhitungan di atas adalah  $\Delta f = -51,7$  (negatif) maka solusi

penawaran pada sistem baru diterima. Akan tetapi jika solusi baru bernilai positif maka dilakukan perhitungan *Boltzmann*.

### 3) Perhitungan *Boltzmann*

Hasil dari perhitungan  $\Delta f = 1,4$  (positif) maka dilakukan perhitungan sesuai [Persamaan 6](#).

$$\begin{aligned}
 P[E_{i+1}] &= e^{-E/kT} \dots\dots\dots(6) \\
 &= 2,718^{- (1,4)/(1)(100)} \\
 &= 0,986
 \end{aligned}$$

Setelah diketahui nilai *Boltzmann* maka selanjutnya dibandingkan dengan bilangan random yang diambil dari 0 sampai 1. Misalkan bilangan random ( $r$ ) < ( $P$ ) maka solusi baru diterima begitu pula sebaliknya. Kemudian solusi baru yang diterima akan menjadi solusi sekarang.

### 4) Penurunan Temperatur

Jika semua iterasi telah tercapai pada siklus pertama kemudian dilakukan penurunan untuk siklus berikutnya. Untuk melakukan penurunan suhu akan dilakukan berdasarkan [Persamaan 7](#).

$$T_{i+1} = T_i \times c \dots\dots\dots(7)$$

Setelah mendapatkan temperatur baru kemudian lakukan perhitungan iterasi seperti langkah sebelumnya. Lakukan terus hingga kriteria pemberhentian tercapai.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Setelah melalui tahap perhitungan menggunakan metode *Simulated Annealing*(SA), langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dan membahas hal-hal yang terjadi dalam perhitungan *Simulated Annealing* (SA). Pada perhitungan *Simulated Annealing* dalam rangka mencari susunan jobs dengan nilai *makespan* terkecil total ada 42 iterasi yang didapat, dari 42 iterasi tersebut 9 diantaranya dinyatakan sebagai iterasi yang diterima dan sisanya ditolak (33 iterasi). 9 iterasi yang diterima diantaranya adalah iterasi 1,2,4,6,15,16,25,32 dan 38 dengan nilai *makespan* berurut-turut yaitu 30.165 detik, 30.165 detik, 30.165 detik, 30.165 detik, 29.550 detik, 29.535 detik, 29.165 detik, 30.165 detik dan 30.155 detik.

Dari 9 iterasi yang diterima, iterasi 25 adalah iterasi yang memiliki nilai *makespan* terkecil yaitu 29165 detik dan iterasi ini terpilih sebagai iterasi yang memiliki susunan *jobs* terbaik dan menjadikan perwakilan dari 9 iterasi diterima sebagai iterasi usulan yang akan dibandingkan dengan susunan *jobs* penjadwalan awal dan untuk lebih jelasnya akan ditampilkan daftar iterasi yang ada dalam perhitungan *Simulated Annealing* (SA).

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang berjudul “Optimasi Penjadwalan Produksi Menggunakan Metode *Simulated Annealing* di Industri XYZ” didapat beberapa kesimpulan, diantaranya:

- a. Hasil perhitungan menggunakan metode *Simulated Annealing* (SA) diperoleh susunan *jobs* 1-3-5-2-4 sebagai susunan *jobs* dengan nilai *makespan* 29.165 detik (terkecil) yang kemudian dijadikan sebagai penjadwalan usulan untuk industri.
- b. Dari hasil perhitungan juga dapat diketahui terjadi penurunan nilai *Makespan* yang mana pada penjadwalan awal (4-2-5-1-3) nilai *makespan*nya 30.175 detik, kemudian setelah ditemukan susunan *jobs* penjadwalan usulan (1-3-5-2-4) nilai *makespan*nya 29165 detik, kedua susunan *jobs* tersebut memiliki selisih *makespan* 1010 detik. Jika dilihat dari segi jumlah produk yang dapat diproduksi dalam durasi waktu yang sudah tentu berbeda jumlahnya, karena penjadwalan usulan memiliki nilai *makespan* lebih kecil, maka terdapat waktu sisa yang dapat dimanfaatkan untuk membuat produk, seperti yang sudah dijelaskan pada perhitungan di bab sebelumnya dimana pada penjadwalan awal untuk menghasilkan 35 *pcs* produk membutuhkan waktu 30175 detik. Sedangkan, pada penjadwalan susulan untuk menghasilkan 36 *pcs* produk hanya membutuhkan waktu 29165 detik. Jika dilihat dari kejadian berikut terdapat selisih waktu 1010 detik, jika selisih waktu tersebut dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan produk maka hasilnya dapat menghasilkan 1 *pcs* produk (sesuai perhitungan). Maka dari itu, jika dengan waktu yang sama maka penjadwalan usulan dapat memproduksi *cylinder sleeve* 1 pc lebih banyak dari satu siklus produksinya.

#### Referensi

- Baroto, T. (2002). *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Ghalia Indonesia: Jakarta Barat.
- Belianty, I. (2010). *Teknik-Teknik Optimasi Heuristic*. Graha Ilmu: Yogyakarta.
- Catoni, O. (1998). Solving Scheduling Problems By Simulated Annealing. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 36 (5),1539 - 1575.
- Cura, T. (2007). Timetabeling Of Faculty Lectures Using Simulated Annealing Algorithm. *Istanbul Ticaret Universitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(12),1-20.
- Firdaus, M. & Masudin, I. (2015). Penjadwalan Flowshop Dengan Menggunakan Simulated Annealing. *Jurnal Teknik Industri UMM*, 13(1), 29 - 42.
- Ginting, R. (2009). *Penjadwalan Mesin*. Graha Ilmu: Yogyakarta.
- Suwarjono, W., Napitupulu, L.H. & Ginting, R. (2013). Penjadwalan Produksi Pada Unit Produksi PT X Dengan Menggunakan Algoritma Simulated Annealing Untuk Meminimasi Waktu Makespan. *Jurnal Teknik Industri USU*, 1(3),8 – 10.
- Santosa, B. (2011). *Metoda metaheuristic konsep dan implementasi*. Guna Widya : Surabaya.
- Santosa, B. (2017). *Pengantar Metaheuristic*. ITS Tekno Sains: Surabaya.
- Shiddiq, H. & Sugiono. (2014). Implementasi Algoritma Simulated Annealing Pada Penjadwalan Produksi Untuk Meminimasi Makespan. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Sistem Industri*. 3 (1),43 - 52.
- Xiang, Y. (2013). Generalized Simulated Annealing For Global Optimization. *The R Journal*, 5,1-5.

Zhang, R. (2013). A Simulated Annealing-Based Heuristic Algorithm For Jobshop Scheduling To Minimize Lateness. *International Journal of Advanced Robotic System*. 10, 21.