

SISTEM PENJADWALAN PRODUKSI DENGAN FIFO, HUERISTIC POUR, DAN METODE NEH

PRODUCTION SCHEDULING SYSTEM BY FIFO, HUERISTIC POUR, AND NEH METHOD

¹Mia Juliana, ²A.Hafidz Haekal

¹ Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

¹mia.juliana@unud.ac.id
2hhaekaltzadik@gmail.com

INFO ARTIKEL

Kata Kunci:
Fifo, Heuristic, Makespan, Neh,
Penjadwalan, Pour

Keywords:
Fifo, Heuristic, Makespan, Neh, Pour,
Scheduling

ABSTRAK

Metode penjadwalan dapat dianggap sebagai prosedur yang mengambil contoh model penjadwalan sebagai input dan menghasilkan setidaknya sebuah jadwal sebagai output. Strategi penjadwalan yang baik dapat mendorong perkiraan untuk memprediksi tanggal penyelesaian untuk setiap bagian yang dirilis dan memberikan data untuk memutuskan apa yang akan dikerjakan selanjutnya. Artikel ini mengusulkan berbagai teknik masalah penjadwalan untuk mendapatkan urutan yang optimal atau mendekati optimal. Metode FIFO, NEH, dan Pour diaplikasikan untuk tiga model pekerjaan dan lima mesin dalam masalah penjadwalan di line transmisi. Tujuan utama dari teknik penjadwalan yang diusulkan adalah untuk menemukan urutan optimal atau hampir optimal untuk mengoptimalkan fungsi objektif di berbagai lingkungan penjadwalan. Metode NEH menghasilkan waktu terpendek dengan mengurutkan 4G15 CJM - 4D34 TD - 4D56 SLD atau 4G15 CJM - 4D56 SLD - 4D34 TD, yang membutuhkan waktu 20,94 menit. Perbandingan FIFO dan NEH berdasarkan parameter RE, mengungkapkan perbedaan waktu yang signifikan, yaitu sekitar 34,79%, dan HP ke NEH adalah 32,25%.

ABSTRACT

A scheduling method can be thought of as a procedure that takes an instance of a scheduling model as input and produces (at least) one schedule as output. A good scheduling strategy can drive the forecast to predict completion dates for each released part and provide data for deciding what to work on next. This paper proposed various scheduling problem techniques for obtaining optimal or near optimal sequences. FIFO, NEH, and Pour method have been described for three model jobs and five machines in a flow shop scheduling problem. The main goal of the proposed scheduling techniques is to find the optimal or near optimal sequence to optimize the objective functions in various scheduling environments. The NEH method generates the shortest time by sequencing 4G15 CJM - 4D34 TD - 4D56 SLD or 4G15 CJM - 4D56 SLD - 4D34 TD, which takes 20,94 minutes. A comparison of FIFO and NEH based on RE parameter, reveals a significant time difference, which is approximately 34.79%, and HP to NEH is 32,25%.

*Corresponding author: hhaekaltzadik@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Konsep penjadwalan secara luas mengacu pada pengalokasian tanggung jawab ke sumber daya dalam waktu yang terbatas. Karena sumber daya sifatnya terbatas, tugas harus dibagikan dengan lebih akurat dan bersaing untuk menyelesaikannya (Ruiz, 2015). Dalam teori dan praktiknya, penjadwalan adalah proses pengambilan keputusan yang dapat diterapkan pada berbagai situasi. Akibatnya, sumber daya di industri dapat dialokasikan mulai dari penggunaan mesin, personel, peralatan, atau proyek (Pinedo, 2009).

Masalah penjadwalan sering muncul ketika ada n tugas yang harus ditangani pada mesin m , keputusan tentang mana yang harus diselesaikan terlebih dahulu, dan prosedur yang ditugaskan ke mesin untuk mendapatkan proses produksi yang dijadwalkan (Sulaksmi, et al., 2014). Tujuan penjadwalan

adalah untuk menggunakan lebih banyak sumber daya, mengurangi persediaan barang setengah jadi atau sejumlah pekerjaan dalam antrian, dan mengurangi pekerjaan yang terbatas waktu (Ginting, 2009). Metode penjadwalan dapat diterapkan pada setiap contoh model penjadwalan untuk menghasilkan jadwal yang bisa diterapkan yang mencapai skor tinggi dalam kaitannya dengan tujuan yang diinginkan (Fera, et al., 2013). Oleh karena itu, metode penjadwalan dianggap dapat memecahkan masalah penjadwalan karena prosedurnya yang dapat diterapkan pada setiap contoh model penjadwalan (Tyagi, et al., 2017). Model penjadwalan hanyalah pemodelan masalah secara aktual dalam skenario atau kasus terbaik sebagai perkiraan yang baik dari realitas yang dimodelkan. Perkiraan didasarkan pada real data yang sering dimasukkan ke dalam model

SISTEM PENJADWALAN PRODUKSI DENGAN FIFO, HUERISTIC POUR, DAN METODE NEH

dimana ingin memecahkan sebuah model perkiraan dengan data yang diestimasi menjadi optimal (Ruiz, 2015). Sangat penting untuk memahami masalah secara teori untuk membangun dan mengusulkan pendekatan yang tepat untuk pengaturan seperti itu sehingga, wawasan yang diperoleh dari studitersebut sangat bernilai, masalah aktual seringkali memerlukan pendekatan yang berbeda. Heuristik adalah salah satu contoh pendekatan yang dapat diterapkan (Elen & Çayiroğlu, 2010).

PT X adalah perusahaan yang memproduksi komponen otomotif. Sebagai pendorong proses produksi, perusahaan ini beroperasi berdasarkan pesanan (*make to order*). PT X bekerja sama dengan dua perusahaan: PT A sebagai Agen Tunggal Pemegang Merk dan PT B sebagai *Assy Plant*. Dengan kondisi yang saling berhubungan ini, diperlukan sistem penjadwalan yang dapat menghasilkan jadwal produksi yang tepat dan fleksibel untuk merespons kondisi ini. Beberapa faktor yang mempengaruhi jadwal produksi, antara lain perbedaan waktu siklus di PT B dan PTX; Jumlah palet yang dimiliki oleh PT X mempengaruhi kontinuitas output dan model yang dibuat oleh PT B; masalah yang menyebabkan jalur produksi berhenti di PT X mempengaruhi output dan model yang diproduksi di PT B dan sebaliknya; PT A sering menempatkan pesanan tambahan yang tidak direncanakan di luar MPS (*Master Production Schedule*) yang ditentukan bersama oleh ketiga perusahaan. Pesanan ini mempengaruhi pesanan dan kuantitas setiap model yang perlu diproduksi. Selain itu, ketiga bisnis tersebut tidak memiliki kapasitas gudang yang cukup untuk menyimpan persediaan dalam jumlah besar. Ketiga bisnis tersebut juga memiliki ruang gudang yang terbatas, sehingga tidak dapat menghemat biaya penyimpanan dengan menyimpan barang secara berlebihan atau dalam jumlah besar.

Saat ini, sistem penjadwalan yang beroperasi di PT X mengikuti aturan *First in First Out* (FIFO), yang menunjukkan bahwa pesanan yang tiba lebih dulu akan menjadi prioritas produksi. Jika banyak pesanan datang bersamaan, maka akan diproses melalui antrian. Meskipun ada sistem penjadwalan, perusahaan masih menghadapi sejumlah jadwal yang tidak sesuai. Akibatnya, ada waktu yang signifikan untuk penyelesaian produk dan *WIP (Work in Process)* di beberapa pusat kerja. Waktu penyelesaian lini produk tidak dapat memenuhi tanggal jatuh tempo, yang mengakibatkan penundaan penyelesaian produk. Jika masalah tidak segera diselesaikan, perusahaan akan menerima klaim dari pelanggan karena keterlambatan penyelesaian produk.

Pekerjaan pertama yang mengantri di mesin diberikan prioritas pekerjaan dengan pendekatan FIFO. Operasi yang tiba lebih dulu umumnya diproses terlebih dahulu, aturan ini adalah yang paling mudah dan tampaknya paling adil ketika berhadapan dengan manusia. Kesederhanaan aturan ini membuatnya tidak efektif dalam situasi yang lebih rumit (Framinan & Leisten, 2014). Sudah banyak penelitian yang menggunakan *Heuristic Pour* untuk menemukan solusi penjadwalan dengan tujuan meminimalisir waktu eksekusi (*makespan*). *Makespan* adalah jumlah waktu yang berlalu antara awal *job* pertama dan akhir *job* terakhir pada jadwal. Pengurangan *makespan* mengatur *job* sedemikian rupa sehingga waktu penyelesaian setiap fase kerja disamakan (Fera, et al., 2013). (Elen & Çayiroğlu, 2010) menggunakan algoritma *Heuristic Pour* untuk memecahkan masalah penjadwalan mata kuliah dalam otomasi kemahasiswaan di universitas. Akibatnya, untuk menyusun ulang tugas-tugas masalah besar, metode heuristik digunakan untuk

mendapatkan solusi optimal yang dikembangkan. Solusi yang diperoleh dengan metode heuristik bersifat optimal atau dapat dikatakan hampir optimal karena menggunakan lebih sedikit sumber daya komputer dan waktu (Mahapatra, et al., 2017). Metode pendekatan heuristik digunakan untuk memecahkan masalah penjadwalan untuk berbagai operasi yang lebih kompleks yang memiliki waktu penyelesaian yang lebih singkat. Terlepas dari kenyataan bahwa pendekatan heuristik dapat menghasilkan jadwal yang baik dan hampir optimal (Sumitro, 2002).

Salah satu pendekatan heuristik yang paling sukses adalah heuristik NEH (Ruiz, 2015). Heuristik NEH pada awalnya digunakan dalam waktu pemrosesan untuk setiap pekerjaan dan mengurangi waktu produksi (Sutanto, 2008). Pendekatan NEH dianggap sebagai metode heuristik yang efektif (Pinedo, 2009). Metode ini dibangun dengan algoritma heuristik untuk masalah penjadwalan *flow shop* dengan n pekerjaan dan permutasi m mesin, menggunakan kriteria *makespan*. Algoritma ini mengurutkan pekerjaan dalam mengurangi urutan jumlah waktu pemrosesan pada semua mesin dan memilih yang terbaik untuk meminimalkan *makespan* dalam penjadwalan *flow shop* (Tyagi, et al., 2017). Metode ini sangat kuat dan efektif, memiliki ratusan implementasi dan referensi ke berbagai masalah penjadwalan. Hasil penjadwalan produksi dengan algoritma NEH menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan semua pesanan (*makespan*) lebih kecil dari teknik FIFO. Algoritma NEH 5,07% lebih efisien daripada metode aktual perusahaan, sistem FIFO (Pinedo, 2003).

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan urutan pekerjaan yang dapat mengoptimalkan dan mengelola sumber daya saat ini secara efisien dengan memanfaatkan strategi penjadwalan yang optimal; dengan meminimalisir waktu *makespan* atau pengolahan dalam memenuhi perintah kerja yang diterima oleh perusahaan.

II. METODE PENELITIAN

Pengukuran langsung di lantai produksi digunakan untuk mengumpulkan data primer. Selain pengukuran langsung, data dari dokumen perusahaan seperti waktu produksi serta spesifikasi produk juga digunakan sebagai data sekunder. Data yang dikumpulkan kemudian diolah menggunakan metode *Heuristic Pour* dan NEH untuk menentukan waktu penyelesaian produk terpendek. Sistem kemudian divalidasi berdasarkan wawancara langsung dengan para ahli.

Prosedur yang diambil dalam pengolahan data menggunakan *Heuristic Pour Algorithm* (Ruiz, 2015):

1. Jadikan pekerjaan pertama sebagai urutan eksekusi pertama untuk sementara, sehingga waktu pemrosesan pekerjaan 1 pada semua mesin dianggap nol.
2. Masukkan pekerjaan lain (selain yang dipilih sebagai urutan pertama, yaitu pekerjaan 1 dalam

urutan berikutnya.

3. Tentukan waktu pemrosesan terpendek untuk setiap mesin.

4. Gunakan aturan waktu pemrosesan untuk menambahkan waktu penyelesaian (*makespan*) untuk setiap *Pij*, yaitu dengan menambahkan waktu pemrosesan secara kumulatif dari yang terkecil ke yang terbesar di masing-masing *Pij*.

5. Menambahkan waktu penyelesaian ($\sum Ci$) untuk setiap pekerjaan yang ada.

6. Urutkan $\sum Ci$ menggunakan aturan urutan yang meningkat (yaitu, menyortir dari yang terkecil ke yang terbesar untuk ditempatkan di setiap urutan setelah pekerjaan yang awalnya dipilih, yaitu pekerjaan 1).

7. Setelah mendapatkan urutan sementara di mana pekerjaan 1 adalah urutan pertama, hitung F_{max} .

8. Ulangi langkah 1-7 untuk setiap pekerjaan yang ada yang akan ditempatkan terlebih dahulu dan sesuai urutan pekerjaan yang dilakukan sampai diperoleh nilai F_{max} minimum.

9. Ulangi langkah 1-8 untuk pekerjaan yang akan menempatkan posisi berikutnya, yaitu posisi kedua, ketiga, dan seterusnya, setelah pekerjaan dengan nilai F_{max} terendah dipilih untuk posisi awal.

NEH dibagi menjadi tiga langkah menurut (Ruiz, 2015):

1. Total waktu pemrosesan pekerjaan di semua mesin dihitung sebagai *Pij*.

2. Pekerjaan diurutkan secara menurun, *Pij*, sehingga pekerjaan pertama adalah pekerjaan dengan kebutuhan waktu tertinggi. Pekerjaan yang diurutkan ini disimpan dalam daftar, 1.

3. Dua pekerjaan pertama dari daftar, disebut sebagai *l1* dan *l2* diekstraksi. Dua kemungkinan urutan parsial yang terdiri dari dua pekerjaan ini dibangun dan nilai *makespan* masing-masing dihitung. Dengan kata lain, dua urutan parsial berikut diuji: {*l1*, *l2*} dan {*l2*, *l1*}. Dari dua urutan, yang memiliki parsial minimum nilai *Cmax* dipertahankan untuk iterasi berikutnya.

Dalam penelitian ini digunakan beberapa performa/parameter untuk menganalisis model penjadwalan yang digunakan, seperti:

1. Indeks Efisiensi (EI), yang merupakan perbandingan model algoritma Heuristic Pour dan model penjadwalan yang ada yang digunakan oleh perusahaan (FIFO), dengan formula;

$$EI = \frac{\text{Completion Time (Heuristic Pour or NEH)}}{\text{Completion Time (FIFO)}} \quad (1)$$

2. Relatif Error (RE), yang digunakan untuk menghitung perbedaan waktu pemrosesan yang dibutuhkan oleh kedua metode tersebut.

$$RE = \frac{\text{Completion Time (Heuristic Pour or NEH)} - \text{Completion Time (FIFO)}}{\text{Completion Time (Heuristic Pour or NEH)}} \quad (2)$$

Setelah analisis selesai, langkah selanjutnya adalah membandingkan aturan penjadwalan awal perusahaan untuk menentukan urutan penjadwalan terbaik. Hasilnya dapat digunakan untuk memecahkan masalah yang dihadapi. Data untuk penelitian ini berasal dari penyelesaian jenis produk 4G15 CJM (tipe kendaraan penumpang), 4D56 SLD (tipe pick-up), dan 4D34 TD (tipe truk) pada tahun 2021. Tabel 1

menampilkan data permintaan produk.

TABEL 1
PERMINTAAN PRODUKSI 2021

Job	Model	Quantity Order			
		Q1	Q2	Q3	Q4
1	4G15 CJM	4.302	4.320	7.224	6.624
2	4D56 SLD	3.852	5.511	7.164	5.538
3	4D34 TD	6.126	10.896	13.737	12.408

III. METODE PENELITIAN

A. Metode FIFO

Waktu merupakan faktor penting dalam menentukan seberapa efektif suatu kegiatan produksi bekerja. Dibutuhkan waktu yang tepat untuk menghindari kekurangan waktu. Kekurangan waktu akan berdampak pada presisi penjadwalan, yang akan berdampak pada output. Sejak awal PT X, pendekatan FIFO telah digunakan. Setiap hari, Departemen PPIC menggunakan strategi ini untuk menjadwalkan produksi. Karena jadwal dibuat berdasarkan tanggal penerimaan pesanan, proses pembuatan jadwal produksi untuk memenuhi pesanan, atau proses penjadwalan dengan pendekatan FIFO, lebih mudah diterapkan dan dipelajari. Kerugian dari strategi ini adalah tidak mengakomodasi *makespan*. Menurut pengamatan langsung, proses pembuatan jadwal produksi dalam memenuhi pesanan dengan FIFO lebih mudah diterapkan; Jadwal yang disiapkan berdasarkan tanggal penerimaan pesanan awal akan segera dieksekusi pada awal bulan. Waktu siklus untuk setiap pekerjaan di setiap *workstation* (WS) dihitung dengan menggunakan *stopwatch*. Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran waktu untuk setiap pekerjaan (*cycle time*) untuk semua model.

TABEL 2.
WORKSTATION CYCLE TIME PER UNIT

No	Model	Cycle Time (unit/ minute)				
		WS1	WS2	WS3	WS4	WS5
1	4G15 CJM	2,44	5,29	1,63	2,59	2,79
2	4D34 TD	3,74	7,59	2,11	3,34	3,59
3	4D56 SLD	2,77	8,25	2,45	3,47	2,61

Makespan adalah jumlah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu produk (Rizkya, et al., 2019). Saat membuat jadwal, kita harus mempertimbangkan waktu penyelesaian suatu produk karena mempengaruhi total waktu yang digunakan. Akibatnya, proses produksi berbagai model produk tambahan dapat diatur berdasarkan durasi keseluruhan waktu yang diperlukan untuk menghasilkan suatu produk. Hal ini berpengaruh pada pemenuhan pesanan atau ketepatan waktu penyelesaian pesanan. Penundaan penyelesaian pesanan akan berdampak pada jumlah output yang dihasilkan. Hasil penghitungan *makespan* (F_{max}) menggunakan pendekatan *First in First Out* (FIFO) dapat dilihat pada Tabel 3. Waktu penyelesaian produk adalah 32,11 menit.

TABEL 3.

SISTEM PENJADWALAN PRODUKSI DENGAN FIFO, HUERISTIC POUR, DAN METODE NEH

PERHITUNGAN MAKESPAN DENGAN FIFO

No	Model	Cycle Time (unit/ minute)				
		WS1	WS2	WS3	WS4	WS5
1	4G15 CJM	0/ 2,44	2,44/ 7,73	7,73/ 9,36	9,36/ 11,95	11,95/ 14,73
2	4D34 TD	2,44/ 6,18	7,73/ 15,32	15,32/ 17,43	17,43/ 20,77	20,77/ 14,35
3	4D56 SLD	6,18/ 8,95	15,32/ 23,58	23,58/ 26,03	26,03/ 29,49	29,49/ 32,11

B. Metode Heuristic Pour

Pendekatan *Heuristic Pour* menjadikan model 1 (4G15CJM) sebagai urutan pertama sehingga waktu pemrosesan pesanan pada semua mesin dianggap nol. Modelling akan ditempatkan dalam urutan berikut. Tabel 4 menunjukkan daftar urutan 1 sebagai urutan awal.

TABEL 4.
MODEL 4G15 CJM URUTAN PERTAMA

No	Model	Cycle Time (unit/ minute)				
		WS1	WS2	WS3	WS4	WS5
1	4G15 CJM	-	-	-	-	-
2	4D34 TD	3,74	7,59	2,11	3,34	3,59
3	4D56 SLD	2,77	8,25	2,45	3,47	2,61

Waktu pemrosesan terkecil untuk setiap *workstation* adalah 2,77 menit untuk WS1; 7,59 menit untuk WS2; 2,11 menit untuk WS3, 3,34 menit untuk WS4, dan 2,61 menit untuk WS5. Waktu penyelesaiannya bisa dilihat pada Tabel 5.

TABEL 5.
WAKTU PENYELESAIAN MODEL 4G15 CJM ($\sum C_i$)

Model	Cycle Time (unit/ minute)					$\sum C_i$
	WS1	WS2	WS3	WS4	WS5	
4G15 CJM	-	-	-	-	-	-
4D34 TD	3,74	7,59	2,11	3,34	3,59	25,75
4D56 SLD	2,77	8,25	2,45	3,47	2,61	32,59

Dari hasil perhitungan diperoleh urutan sementara dengan model 1 sebagai urutan pertama adalah: 4G15 CJM - 4D34 TD - 4D56 SD (1-2-3), menghasilkan (F_{max}) 32,11 menit pada Tabel 6.

TABEL 6.
PERHITUNGAN MAKESPAN MODEL 4G15 CJM

No	Model	Cycle Time (unit/ minute)				
		WS1	WS2	WS3	WS4	WS5
1	4G15 CJM	0/ 2,44	2,44/ 7,73	7,73/ 9,36	9,36/ 11,95	11,95/ 14,73
2	4D34 TD	2,44/ 6,18	7,73/ 15,32	15,32/ 17,43	17,43/ 20,77	20,77/ 14,35
3	4D56 SLD	6,18/ 8,95	15,32/ 23,58	23,58/ 26,03	26,03/ 29,49	29,49/ 32,11

Perhitungan makespan dengan model 4G15 CJM - 4D56 SD - 4D34 TD (1-3-2) dapat dilihat pada Tabel 7. Waktu penyelesaian (F_{max}) adalah 32,61 menit. Berdasarkan perhitungan *makespan*, urutan jadwal yang menghasilkan waktu penyelesaian terpendek adalah 4G15 CJM - 4D34 TD - 4D56 SD.

TABEL 7.
PERHITUNGAN MAKESPAN MODEL 4D34 TD

Model	Cycle Time (unit/ minute)				
	WS1	WS2	WS3	WS4	WS5
4G15 CJM	0/ 2,44	2,44/ 7,73	7,73/ 9,36	9,36/ 11,95	11,95/ 14,73
4D34 TD	2,44/ 6,18	7,73/ 15,32	15,32/ 17,43	17,43/ 20,77	20,77/ 14,35
4D56 SLD	6,18/ 8,95	15,32/ 23,58	23,58/ 26,03	26,03/ 29,49	29,49/ 32,11

4G15 CJM	0/ 2,44	2,44/ 7,73	7,73/ 9,36	9,36/ 11,95	11,95/ 14,73
4D56 SLD	2,44/ 5,21	7,73/ 15,98	15,98/ 18,43	18,43/ 21,90	21,90/ 24,51
4D34 TD	5,21/ 8,95	15,98/ 23,58	23,58/ 25,69	25,69/ 29,02	29,02/ 32,61

Langkah selanjutnya dengan aturan Heuristic Pour, jadikan model 2 (4D34 TD) sebagai urutan pertama sehingga waktu pemrosesan pesanan pada semua mesin dianggap nol. Dengan mengulangi langkah tersebut, 4D34 TD - 4G15 CJM - 4D56 SLD (2-1-3), menghasilkan F_{max} = 33,41 menit dan 4D34 TD - 4D56 SLD - 4G15 CJM (2-3-1) pada Tabel 8, menghasilkan waktu penyelesaian terpendek (F_{max}) yaitu 31,88 menit.

TABEL 8.
PERHITUNGAN MAKESPAN DENGAN MODEL 4D34 TD

No	Model	Cycle Time (unit/ minute)				
		WS1	WS2	WS3	WS4	WS5
2	4D34 TD	0/ 3,74	3,74/ 11,34	11,34/ 13,44	13,44/ 16,78	16,78/ 20,37
3	4D56 SLD	3,74/ 6,52	11,34/ 19,59	19,59/ 22,04	22,04/ 25,51	25,51/ 28,12
1	4G15 CJM	6,52/ 8,95	19,59/ 24,88	24,88/ 26,51	26,51/ 29,10	29,10/ 31,88

Dan iterasi terakhir, letakkan model 3 (4D56 SLD) sebagai urutan pertama. Dengan mengulangi langkah tersebut, 4D56 SLD - 4G15 CJM - 4D34 TD (3-1-2) menghasilkan F_{max} = 32,94 menit dan model 4D56 SLD - 4D34 TD - 4G15 CJM seperti yang terlihat pada Tabel 9 menghasilkan waktu penyelesaian terpendek yaitu 30,91 menit.

TABEL 9.
PERHITUNGAN MAKESPAN MODEL 4D56 SLD

No	Model	Cycle Time (unit/ minute)				
		WS1	WS2	WS3	WS4	WS5
3	4D56 SLD	0/ 2,77	2,77/ 11,03	11,03/ 13,48	13,48/ 16,95	16,95/ 19,56
2	4D34 TD	2,77/ 6,52	11,03/ 18,62	18,62/ 20,73	20,73/ 24,07	24,07/ 27,65
1	4G15 CJM	6,52/ 8,95	8,95/ 23,91	23,91/ 25,54	25,54/ 28,13	28,13/ 30,91

Tabel 10 menunjukkan rekapitulasi penjadwalan menggunakan pendekatan *Heuristic Pour*. Berdasarkan perhitungan, urutan 3-2-1 membutuhkan waktu 30,91 menit.

TABEL 10.
ITERASI DENGAN HEURISTIC POUR

Iterasi	Model			Makespan (F_{max})
	4G15 CJM	4D34 TD	4D56 SLD	
1	1	2	3	32,11
2	1	3	2	32,61
3	2	1	3	33,41
4	3	1	2	31,88
5	2	3	1	32,94
6	3	2	1	30,91

C. Metode NEH

Waktu penyelesaian setiap pekerjaan model 4G15 CJM membutuhkan 14,73 menit, 4D34 TD membutuhkan

20,37 menit dan 4D56 SLD membutuhkan lebih banyak waktu yaitu 19,56 menit. Dengan penghitungan ini, daftar pengurutan pekerjaan adalah 4D34 TD - 4D56 SLD - 4G15 CJM. Langkah selanjutnya, iterasi diterapkan untuk mengimplementasikan algoritma *Nawaz Enscore and Ham* (NEH) untuk penjadwalan produksi. Urutan pekerjaan dimulai dengan dua pekerjaan (set $K = 2$, mengambil dua pekerjaan dari terbesar ke terkecil) dan data yang dimasukkan hanyalah rangkaian pekerjaan pada makepan terpendek seperti pada Tabel 11.

TABEL 11.
HASIL ITERASI DENGAN METODE NEH

Iterasi	Urutan Pekerjaan	Makespan
1	4D34 TD - 4D56 SLD	22,98
	4D56 SLD - 4D34 TD	23,14
2	4D56 SLD - 4D34 TD - 4G15 CJM	25,93
	4D56 SLD - 4G15 CJM - 4D34 TD	25,93
3	4D34 TD - 4D56 SLD - 4G15 CJM	25,77
	4G15 CJM - 4D34 TD - 4D56 SLD	20,94
	4G15 CJM - 4D56 SLD - 4D34 TD	20,94

Berdasarkan tabel diatas, waktu tersingkat berasal dari pengurutan 4G15 CJM - 4D34 TD - 4D56 SLD atau 4G15CJM - 4D56 SLD - 4D34 TD membutuhkan 20,94 menit. Jika dibandingkan dengan *Heuristic Pour*, teknik NEH menunjukkan waktu terpendek.

D. Verifikasi Metode

Parameter kinerja metode dilakukan untuk menentukan metode terbaik yang dapat mengurangi waktu pemrosesan penyelesaian produk. Parameter yang digunakan adalah Efisiensi Indeks (EI) dan Relatif Error (RE) seperti yang terlihat pada Tabel 12.

TABEL 12.
PERBANDINGAN KINERJA METODE

Method	Efficiency Index	Relative Error
FIFO vs HP	1,04	3,74%
FIFO vs NEH	1,53	34,79%
HP vs NEH	1,48	32,25%

Berdasarkan parameter EI, perbandingan kinerja metode mengungkapkan bahwa metode HP mengungguli metode FIFO. Hal yang sama untuk FIFO dan NEH. NEH berkinerja lebih baik. Namun, ketika membandingkan HP dengan NEH, jelas bahwa metode NEH jauh lebih unggul. Perbandingan FIFO dan NEH berdasarkan parameter RE, mengungkapkan perbedaan waktu yang signifikan, yaitu sekitar 34,79%.

E. Validasi Metode

Wawancara dengan *supervisor* produksi digunakan untuk memvalidasi metode. Pengawas dianggap sebagai ahli dalam proses manufaktur. Soal-soal tersebut mewakili beberapa kriteria yang dianggap mendukung proses pembuatan, antara lain kemudahan penerapan jika terjadi perubahan jadwal, kemudahan pembuatan jadwal, ketepatan waktu siklus, dan penggunaan waktu dalam membuat jadwal. Ahli diberi enam pertanyaan untuk

dievaluasi. Evaluasi dilakukan pada skala Likert, dengan 1 = sangat buruk, 2 = kurang, 3 = cukup, 4 = baik, dan 5 = sangat baik. Rata-rata FIFO sama dengan 3; *Heuristic Pour* sama dengan 3,8; dan NEH sama dengan 2,5.

Menurut ahli, NEH memiliki kinerja yang sangat baik berdasarkan perhitungan. Namun, sulit untuk dioperasikan. Hal ini disebabkan oleh persyaratan untuk mengatur ulang tata letak workstation untuk meminimalkan penanganan material dan penjadwalan mesin dengan benar. NEH juga dapat berdampak pada pergerakan operator. *Heuristic Pour* memiliki peluang yang lebih besar jika diterapkan di dalam perusahaan.

IV. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan diambil dari hasil pengolahan data, antara lain: urutan pekerjaan yang menghasilkan waktu tersingkat menggunakan *Heuristic Pour* adalah 4D56 SLD – 4D34 TD – 4G15 CJM sama dengan 30,91 menit. Dengan menggunakan NEH urutan terbaik adalah 4G15 CJM - 4D34 TD - 4D56 SLD atau 4G15 CJM - 4D56 SLD - 4D34 TD yang membutuhkan 20,94 menit.

Perbandingan kinerja metode mengungkapkan bahwa HP dan NEH menunjukkan kinerja terbaik, EI sama dengan lebih dari 1. Perbandingan FIFO dan NEH berdasarkan parameter RE, mengungkapkan perbedaan waktu yang signifikan, yaitu sekitar 34,79%. Menurut pernyataan ahli, Pour lebih dapat direalisasikan daripada NEH. Metode NEH memerlukan *layout*.

Referensi

- Elen, A. & Çayıroğlu, I., 2010. Solving Of Scheduling Problem With Heuristic Optimization Approach. 13 (3) (159-172).
- Fera, M. et al., 2013. Production Scheduling Approaches for Operations Management. In: *Operations Management*. s.l.:IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/55431>.
- Framinan, J. M. & Leisten, R. G. R. R., 2014. Overview of Scheduling Methods. In: *Manufacturing Scheduling Systems. An Integrated View on Models, Methods and Tools*. London: Springer-Verlag.
- Ginting, R., 2009. *Penjadwalan Mesin*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Mahapatra, S., Dash, R. R. & Pradhan, S. K., 2017. Heuristics Techniques for Scheduling Problems with Reducing Waiting Time Variance.. In: *Heuristics and Hyper-Heuristics - Principles and Applications*.. London: IntechOpen. .
- Pinedo, M., 2003. *Scheduling, Theory, Algorithms, and System*. New Jersey: Prentice Hall International.

SISTEM PENJADWALAN PRODUKSI DENGAN FIFO, HUERISTIC POUR, DAN METODE NEH

- Pinedo, M., 2009. *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services, 2nd edn.*. New York: Springer.
- Rizkya, I. et al., 2019. *Nawaz, Enscore, Ham (NEH) Algorithm to Minimization of Makespan in Furniture Company.* s.l., IOP Publishing.
- Ruiz, R., 2015. Scheduling heuristics. In: *Handbook of Heuristics.* Spain: Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-07153-4_44-1, pp. 1-24.
- Sulaksmi, A., Garside, A. & Hadziqah, F., 2014. Production Scheduling with Pour Heuristics Algorithms (Case Study: One Way Convection – Malang). *Jurnal Teknik Industri, Vol. 15, No. 1*, pp. 35-44.
- Sumitro, D., 2002. *Optimasi Penjadwalan Sumber Daya dengan Metode Algoritma Genetic.* Bandung: Teknik Sipil. ITB.
- Sutanto, L. H., 2008. Penjadwalan Produksi Dengan Pendekatan Metode Nawaz, Enscore, Ham (NEH) Dan Metode Campbell, Dudek, Smith. Vol. 9. No 2(121 - 128).
- Tyagi, N., Tripathi, R. P. & Chandramouli, A. B., 2017. *SEQUENCING AND SCHEDULING METHODOLOGIES.* IIMT Engineering College, Meerut, India, s.n.