

Penjadwalan *Flow Shop* Pada Industri Manufaktur Menggunakan Metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) untuk Meminimalkan *Makespan*

Ricky Arnando Sinaga, Haposan Vincentius Manalu.

* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Mesin

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: arnandosinagaricky@gmail.com

Abstrak

PT XYZ merupakan perusahaan jasa manufaktur berbasis *CNC Milling* yang menerapkan sistem produksi *flow shop* dalam mengerjakan *Job* 105, 141, dan 143. Penelitian ini bertujuan menentukan urutan produksi paling terbaik pada sistem *flow shop* untuk meminimalkan *makespan*, serta mengkaji prosedur penjadwalan secara sistematis. Metode yang digunakan adalah *Campbell Dudek Smith* (CDS), pengembangan dari aturan Johnson yang mampu menangani lebih dari dua mesin dengan membagi mesin menjadi dua kelompok kerja guna menentukan urutan *job* dengan *makespan* terkecil. Temuan penelitian mengungkap adanya empat iterasi dengan capaian *makespan* yang bervariasi: iterasi pertama menghasilkan 9.273 detik (urutan *Job* 105-141-143), iterasi kedua 8.978 detik (urutan *Job* 143-141-105), iterasi ketiga 9.052 detik (urutan *Job* 141-143-105), serta iterasi keempat kembali menghasilkan 9.273 detik (urutan *Job* 105-141-143). Nilai *makespan* paling rendah tercatat pada iterasi kedua, yakni 8.978 detik dengan urutan *Job* 143-*Job* 141-*Job* 105. Dapat disimpulkan bahwa urutan *job* yang dipilih berpengaruh besar terhadap besaran *makespan* yang tercapai, dan pendekatan CDS terbukti mampu menjadi acuan yang efektif dalam merancang jadwal produksi yang optimal, sehingga berkontribusi bagi PT XYZ dalam mendorong efisiensi proses produksi sekaligus menekan kemungkinan keterlambatan dalam memenuhi kebutuhan produksi.

Kata kunci: *flow shop*, *Campbell Dudek Smith* (CDS), *makespan*, penjadwalan produksi, aturan Johnson.

Abstract

PT XYZ is a manufacturing service company based in CNC Milling that implements a flow shop production system in processing Job 105, 141, and 143. This study aims to determine the optimal production sequence in the flow shop system to minimize makespan, as well as to systematically examine the scheduling procedure. The method used is Campbell Dudek Smith (CDS), a development of Johnson's rule capable of handling more than two machines by dividing the machines into two work groups in order to determine the job sequence with the smallest total completion time. The research findings reveal four iterations with varying makespan results: the first iteration produced 9,273 seconds (Job sequence 105-141-143), the second iteration produced 8,978 seconds (Job sequence 143-141-105), the third iteration produced 9,052 seconds (Job sequence 141-143-105), and the fourth iteration again produced 9,273 seconds (Job sequence 105-141-143). The lowest makespan value was recorded in the second iteration, namely 8,978 seconds with the sequence Job 143-Job 141-Job 105. It can be concluded that the selected job sequence has a significant effect on the resulting makespan, and the CDS approach has proven to be an effective reference in designing an optimal production schedule, thereby contributing to PT XYZ's efforts to boost production process efficiency while reducing the likelihood of delays in meeting production requirements.

Keywords: Flow Shop, Campbell Dudek Smith (CDS), Makespan, Production Scheduling, Johnson's rule.

1 Pendahuluan

Industri di Indonesia terutama di bidang manufaktur sedang mengalami kemajuan yang signifikan dan menjadi salah satu bagian utama yang mendukung pertumbuhan ekonomi. Sektor ini berfokus pada transformasi bahan mentah menjadi produk jadi maupun produk setengah jadi, baik menggunakan alat maupun dengan cara manual. Dalam tahapan produksi, pengaturan waktu produksi maupun penjadwalan mesin menjadi faktor yang sangat penting karena berdampak langsung pada kecepatan pengerjaan suatu produk, yang sangat berpengaruh kepada kepercayaan pelanggan kepada suatu perusahaan [1].

Penjadwalan mesin dalam sistem produksi adalah hal yang sangat krusial. Penjadwalan memastikan bahwa setiap produk yang di kerjakan dapat diselesaikan sesuai dengan batas waktu yang telah ditentukan. Selain itu, pemanfaatan sumber daya juga dapat dioptimalkan sepenuhnya. Untuk mencapai suatu hasil yang diinginkan, perencanaan jadwal produksi dapat dijalankan. Kinerja penjadwalan yang memiliki *makespan* terkecil dalam sistem produksi mampu mengurangi durasi produksi yang kurang efisien [2].

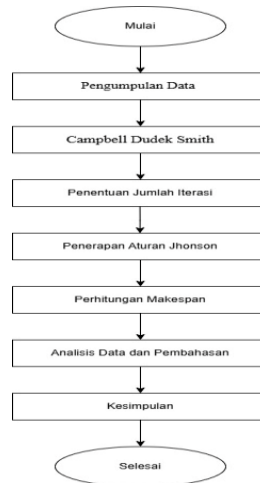
Penjadwalan yang dilakukan untuk mencapai hasil yang optimal dalam proses produksi seringkali melibatkan tambahan metode ilmiah yang dapat meningkatkan efisiensi proses produksi, salah satunya adalah algoritma *Campbell Dudek Smith* (CDS). Dasar dari metode ini adalah menyelesaikan masalah n job pada m mesin *flow shop* dengan cara membagi m mesin menjadi dua grup. Sistem *flow shop* dengan lebih dari dua mesin sangat sesuai dan efektif untuk mengatasi masalah penjadwalan produksi menggunakan algoritma CDS [3]. Penelitian terdahulu pernah menganalisis penentuan waktu proses terpendek dan perbandingan efektivitas metode penjadwalan produksi di Rumah Industri Wahyu. Penjadwalan eksisting yang menggunakan FCFS terbukti menyebabkan keterlambatan dalam penyelesaian produk. Temuan dari penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode CDS, didapatkan waktu penyelesaian sebesar 3,53 jam dengan urutan pekerjaan J1-J2-J3, yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan waktu penyelesaian awal yaitu 9,93 jam. Hasil ini mengindikasikan bahwa metode CDS dapat meningkatkan efektivitas penjadwalan dan secara signifikan mengurangi keterlambatan produksi [4].

Penelitian terdahulu juga melakukan analisis di PT OSIN, sebuah perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur otomotif dengan sistem *flow shop*, menunjukkan bahwa metode FCFS menghasilkan *makespan* sebesar 2.408,75 menit. Dengan menerapkan algoritma CDS dalam lima iterasi, didapatkan *makespan* minimum sebesar 881,3 menit yang menunjukkan penurunan sekitar 63%. Temuan ini menunjukkan bahwa metode CDS jauh lebih efisien dalam menyelesaikan tantangan penjadwalan dalam proses produksi yang rumit [5]. Berdasarkan hasil yang di peroleh beberapa penelitian terdahulu cukup membuktikan penerapan algoritma CDS terbukti memberikan hasil produksi yang lebih efisien dibandingkan dengan teknik penjadwalan lainnya. Perusahaan yang menggunakan algoritma CDS dapat mengurangi waktu proses produksi menjadi lebih singkat dan meningkatkan produktivitas secara keseluruhan [3].

PT XYZ merupakan perusahaan yang berfokus pada jasa manufaktur yang melakukan produksi dengan proses *CNC Milling*, di mana perusahaan menghasilkan barang sesuai permintaan dari konsumen, hasil produksi yang di kerjakan umumnya menggunakan bahan Aluminium. PT XYZ memiliki beberapa mesin *CNC Milling* dan *CNC Milling* tersebut menggunakan Jig khusus sesuai kebutuhan *job* produksi sesuai *job* yang di kerjakan, sehingga masing-masing CNC tersebut memiliki tahapan produksi sesuai dengan prosesnya. Dalam tahapan produksinya, Perusahaan ini menerapkan sistem *flow shop*. Penjadwalan *flow shop* adalah proses di mana unit-unit bergerak melalui serangkaian stasiun kerja yang di susun berdasarkan jenis produk. Pada penjadwalan *flow shop*, sumber daya yang dialokasikan akan dilewati oleh setiap *job* memiliki rute atau urutan tahap pengerjaan yang sama, masalah penjadwalan *flow shop* didefinisikan oleh sejumlah n job dimana setiap *job* harus diproses pada sebuah order identik pada sejumlah m mesin [6].

Penelitian ini menggunakan metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) dalam menentukan penjadwalan produksi terhadap *Job* 105, 141, dan 143 pada mesin M1, M2, M3, M4, dan M5 di PT XYZ. Metode CDS merupakan pengembangan dari aturan *Johnson* yang di rancang untuk menangani situasi dengan lebih dari dua mesin [1]. Metode ini memberikan kesempatan kepada bagian produksi untuk menentukan total waktu *makespan* terkecil yang di butuhkan agar proses produksi memenuhi permintaan konsumen [7]. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara sistematis prosedur perhitungan penjadwalan menggunakan metode CDS sebagai dasar perumusan jadwal yang optimal untuk *Job* 105, 141, dan 143 pada mesin M1, M2, M3, M4, dan M5 dengan sistem *flow shop* di PT XYZ. Selain itu, penelitian ini ditujukan untuk memperoleh nilai *makespan* atau waktu penyelesaian total yang minimum, sehingga proses produksi dapat ditingkatkan waktu pengerjaan nya serta potensi keterlambatan dalam pemenuhan kebutuhan produksi dapat dikurangi. Pada penelitian ini data yang di gunakan hanya berfokus pada setiap waktu proses produksi di mesin *CNC milling* yang mencakup waktu *setup* mesin oleh operator serta waktu proses setiap *job* pada mesin M1 sampai M5 pada PT XYZ. Setiap mesin diasumsikan berada dalam kondisi baik dan siap beroperasi tanpa mengalami gangguan selama masa penelitian. Penelitian ini tidak mempertimbangkan biaya operasional dan ketersediaan tenaga kerja, penelitian tidak membahas, jenis material, spesifikasi produk, rincian alat dan mesin.

2 Metodologi Penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir

2.1.1 Data Yang Digunakan

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer, yaitu data yang diperoleh melalui pengukuran langsung terhadap durasi waktu pengerjaan (*processing time*) untuk setiap *job* pada setiap mesin, yang meliputi *job* 105, 141, dan 143 dengan urutan lintasan mesin M1, M2, M3, M4, dan M5. Data waktu proses tersebut selanjutnya digunakan sebagai input dalam penerapan metode *Campbell Dudek Smith*.

Tabel 1. Job Yang Dikerjakan

No	Nama Job	Gambar Job
1	105	
2	141	
3	143	

Tabel 2. Gambar Mesin Yang Digunakan.

M1	M2	M3	M4	M5
CNC FOR ROUGHING	CNC FOR CONTUR	CNC FOR DRILLING AND TAPPING	CNC FOR MAKING SLOT	CNC FOR CHAMFER
				

2.1.2 Pengukuran Waktu Proses

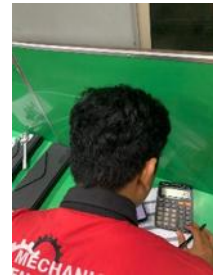
Pengukuran dilakukan secara langsung di lapangan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi operasional yang sebenarnya. Proses pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Stopwatch* secara berulang guna memperoleh nilai durasi yang representatif serta mengurangi kemungkinan kesalahan pengamatan. Setiap proses pada masing-masing mesin diamati dengan cermat, meliputi waktu *setup* yang dilakukan oleh operator serta waktu proses pengerjaan setiap *job* pada mesin M1 sampai M5. Hasil pengukuran waktu siklus tersebut di ubah menjadi satuan menit dan selanjutnya dicatat ke dalam tabel pengumpulan data.



Gambar 2. Proses Pengumpulan Data.



Gambar 3. Lini Produksi.



Gambar 4. Proses Pengumpulan Data.

Tabel 3. Pengumpulan Data.

No	Job	Trial	M1	M2	M3	M4	M5
1	105	1					
		2					
		3					
		Total rata-rata					
2	141	1					
		2					
		3					
		Total rata-rata					
3	143	1					
		2					
		3					
		Total rata-rata					

2.1 Campbell Dudek Smith.

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kuantitatif melalui penerapan metode *Campbell Dudek Smith* (CDS). Metode CDS merupakan teknik untuk menjadwalkan tugas dalam *flow shop* dengan tujuan menghasilkan urutan pekerjaan yang meminimalkan *makespan*. Metode ini menawarkan dua manfaat utama, yaitu [7]:

- Menggunakan aturan *Johnson* sebagai dasar heuristik.
- Mampu menghasilkan beberapa alternatif jadwal sehingga dapat dipilih jadwal yang paling optimal. Untuk menghindari kesalahan penafsiran, berikut definisi variabel yang digunakan dalam penelitian seperti yang ada pada Tabel 4.

Tabel 4: Definisi Variabel Metode Campbell Dudek Smith.

No	Variabel	Definisi
1	k	Nilai konstanta iterasi, yaitu 1 sampai (m-1)
2	m	Jumlah mesin yang digunakan
3	j	job
4	i	mesin
5	ti.1	Waktu proses job ke-i pada mesin pertama
6	ti.2	Waktu proses job ke-i pada mesin kedua
7	ti.k	Waktu proses job ke-i pada mesin semu pertama untuk iterasi ke-k
8	ti.m-k+1	Waktu proses job ke-i pada mesin semu kedua untuk iterasi ke-k

- Apabila waktu pengerjaan terkecil ditemukan pada mesin pertama (misal t_j^{k1}), tempatkan tugas tersebut pada urutan awal.
- Apabila waktu pengerjaan terkecil ditemukan pada mesin kedua (misal t_j^{k2}), tempatkan tugas tersebut pada urutan terakhir.

Tabel 6: Contoh urutan Perhitungan Jhonson.

Job	Mesin 1	Mesin 2	urutan yang terbentuk			
A	1	2	Job A	...	...	...
B	6	7	Job A	...	...	Job C
C	4	3	Job A	Job B	...	Job C
D	10	9	Job A	Job B	Job D	Job C

2.4 Perhitung Makespan.

Makespan merupakan total waktu penyelesaian seluruh pekerjaan pada sistem *flow shop*, pada perhitungan *makespan* semua pekerjaan dipindahkan mengikuti urutan baru yang telah ditetapkan dengan tahapan seperti berikut:

- Waktu mulai dan waktu selesai untuk tugas pertama pada mesin pertama dihitung. Setelah itu, waktu akhir dari tugas yang sama pada mesin kedua dihitung dengan cara menjumlahkan waktu proses di mesin pertama dengan waktu proses di mesin kedua.
- Waktu penyelesaian tugas ditentukan berdasarkan nilai waktu terbesar antara proses pada mesin pertama dan kedua, kemudian ditambahkan dengan waktu proses pada mesin berikutnya sesuai kebutuhan.

Metode yang sama diterapkan untuk tugas-tugas selanjutnya hingga semua pekerjaan selesai dihitung. Jika terdapat tugas yang belum ditempatkan dalam urutan, proses penghitungan diulang mulau dari Langkah pertama pada iterasi berikutnya. Apabila semua tugas telah diatur, maka pengurutan dinyatakan telah selesai [8].

3. Analisis Data dan Pembahasan.

3.1 Hasil Pengumpulan Data

Setelah pengumpulan data di lakukan, diperoleh data sebagaimana disajikan pada Tabel 7. Namun, pada saat pengukuran, *job* 105 tidak melalui proses pengerjaan pada mesin 4, sehingga nilai waktunya dicatat nol detik. Selanjutnya, data yang diperoleh dikonversi dari satuan menit menjadi satuan detik, kemudian dimasukkan ke Tabel 8. Metode campbell dudek smith kemudian diterapkan pada data tersebut untuk menentukan urutan pengerjaanterbaik bagi *job* 105, 141 dan 143 pada lintasan mesin M1, M2, M3, M4, danM5, guna memperoleh nilai *makespan* terkecil.

Tabel 7: Hasil pengumpulan data.

No	Job	Trial	M1	M2	M3	M4	M5
1	105	1	1.165 detik	1.143 detik	1.440 detik	0 detik	1.189 detik
		2	1.155 detik	1.116 detik	1.438 detik	0 detik	1.213 detik
		3	1.132 detik	1.130 detik	1.430 detik	0 detik	1.150 detik
		Total rata-rata	1.151 detik	1.130 detik	1.436 detik	0 detik	1.184 detik
2	141	1	1.118 detik	1.188 detik	1.507 detik	1.273 detik	1.058 detik
		2	1.132 detik	1.197 detik	1.484 detik	1.246 detik	1.068 detik
		3	1.120 detik	1.182 detik	1.469 detik	1.263 detik	1.074 detik
		Total rata-rata	1.123 detik	1.189 detik	1.487 detik	1.261 detik	1.067 detik
3	143	1	1.258 detik	875 detik	1.752 detik	1.630 detik	701 detik
		2	1.260 detik	823 detik	1.747 detik	1.617 detik	716 detik
		3	1.249 detik	825 detik	1.726 detik	1.633 detik	684 detik
		Total rata-rata	1.256 detik	841 detik	1.742 detik	1.627 detik	700 detik

Tabel 8: Data yang di gunakan.

Job \ Mesin	M1	M2	M3	M4	M5
Job 105	1.151 (detik)	1.130 (detik)	1.436 (detik)	0 (detik)	1.184 (detik)
Job 141	1.123 (detik)	1.189 (detik)	1.487 (detik)	1.261 (detik)	1.067 (detik)
Job 143	1.256 (detik)	841 (detik)	1.742 (detik)	1.627 (detik)	700 (detik)

3.2 Perhitungan jumlah iterasi

Langkah pertama dalam menentukan urutan pengerjaan untuk menghasilkan nilai *makespan* minimum dengan menerapkan metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) berdasarkan data pada Tabel 5 adalah dengan menentukan jumlah iterasi yang diperlukan. Penentuan jumlah iterasi dapat di lakukan sepeerti berikut:

$K = 1 \text{ s/d (Jumlah Mesin - 1)}$

$K = 1 \text{ s/d (5-1)}$

$K = 1 \text{ s/d } 4.$

Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh jumlah iterasi sebanyak “4”.

3.3 Pembuatan mesin semu.

Setelah jumlah iterasi diperoleh, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah membentuk mesin semu sebanyak empat buah sesuai dengan jumlah iterasi ($K=4$) yang telah didapatkan, sehingga selanjutnya metode *johnson* dapat diterapkan untuk mendapatkan urutan pengerjaan yang optimal.

Tabel 9: Pembuatan Mesin Semu.

ITERASI-1		
JOB	MESIN SEMU PERTAMA	MESIN SEMU KEDUA
	M1	M5
105	1.151 detik	1.184 detik
141	1.123 detik	1.067 detik
143	1.256 detik	700 detik
ITERASI -2		
JOB	MESIN SEMU PERTAMA	MESIN SEMU KEDUA
	M1+M2	M4+M5
105	2.281 detik	1.184 detik
141	2.312 detik	2.328 detik
143	2.097 detik	2.327 detik
ITERASI-3		
JOB	MESIN SEMU PERTAMA	MESIN SEMU KEDUA
	M1+M2+M3	M3+M4+M5
105	3.717 detik	2.620 detik
141	3.799 detik	3.815 detik
143	3.839 detik	4.069 detik
ITERASI-4		
JOB	MESIN SEMU PERTAMA	MESIN SEMU KEDUA
	M1+M2+M3+M4	M2+M3+M4+M5
105	3.717 detik	3.750 detik
141	5.060 detik	5.004 detik
143	5.466 detik	4.910 detik

3.4 Penerapan aturan *Johnson*.

Pada tahapan ini, urutan pengerjaan optimal ditentukan melalui setelah dilakukan pembentukan empat mesin semu pada tahapan sebelumnya untuk menyederhanakan struktur penjadwalan. Berikutnya aturan Johnson diterapkan pada setiap iterasi hasil pembentukan mesin semu tersebut. Melalui tahapan penerapan aturan Johnson diperoleh urutan pengerjaan sebagai berikut:

Tabel 10: Hasil penerapan metode Johnson.

Iterasi	Urutan yang di hasilkan
Iterasi-1	Job 105 - Job 141 - Job 143
Iterasi-2	Job 143 - Job 141 - Job 105
Iterasi-3	Job 141 - Job 143 - Job 105
Iterasi-4	Job 105 - Job 141 - Job 143

3.5 Perhitungan *Makespan*.

Setelah diperoleh urutan penjadwalan dari penerapan metode Johnson, tahapan selanjutnya adalah menghitung nilai *makespan* untuk masing-masing urutan tersebut. Perhitungan ini dilakukan guna membandingkan kinerja setiap urutan penjadwalan, sehingga dapat ditentukan urutan terbaik, yaitu urutan yang menghasilkan nilai *makespan* terkecil.

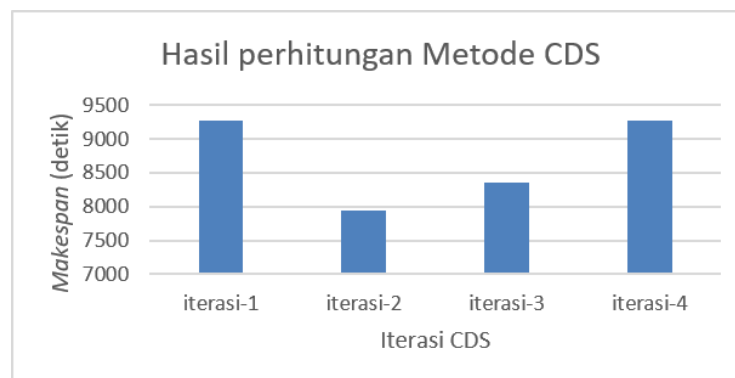
Tabel 11: Data perhitungan makespan.

Iterasi-1			Iterasi-2			Iterasi-3			Iterasi-4		
105	141	143	143	141	105	141	143	105	105	141	143
JOB 105			JOB 143			JOB 141			JOB 105		
MESIN	MULAI	SELESAI	MESIN	MULAI	SELESAI	MESIN	MULAI	SELESAI	MESIN	MULAI	SELESAI
M1	0	1.151	M1	0	1.256	M1	0	1.123	M1	0	1.151
M2	1.151	2.281	M2	1.256	2.097	M2	1.123	2.312	M2	1.151	2.281
M3	2.281	3.717	M3	2.097	3.839	M3	2.312	3.799	M3	2.281	3.717
M4	0	0	M4	3.839	5.466	M4	3.799	5.060	M4	0	0
M5	3.717	4.901	M5	5.466	6.166	M5	5.060	6.127	M5	3.717	4.901
JOB 141			JOB 141			JOB 143			JOB 141		
MESIN	MULAI	SELESAI	MESIN	MULAI	SELESAI	MESIN	MULAI	SELESAI	MESIN	MULAI	SELESAI
M1	1.151	2.274	M1	1.256	2.379	M1	1.123	2.379	M1	1.151	2.274
M2	2.281	3.470	M2	2.379	3.568	M2	2.379	3.220	M2	2.281	3.470
M3	3.717	5.204	M3	3.839	5.326	M3	3.799	5.541	M3	3.717	5.204
M4	5.204	6.465	M4	5.466	6.727	M4	5.541	7.168	M4	5.204	6.465
M5	6.465	7.532	M5	6.727	7.794	M5	7.168	7.868	M5	6.465	7.532
JOB 143			JOB 105			JOB 105			JOB 143		
MESIN	MULAI	SELESAI	MESIN	MULAI	SELESAI	MESIN	MULAI	SELESAI	MESIN	MULAI	SELESAI
M1	2.274	3.530	M1	2.379	3.530	M1	2.379	3.530	M1	2.274	3.530
M2	3.530	4.371	M2	3.568	4.698	M2	3.530	4.660	M2	3.530	4.371
M3	5.204	6.946	M3	5.326	6.762	M3	5.541	6.977	M3	5.204	6.946
M4	6.946	8.573	M4	0	0	M4	0	0	M4	6.946	8.573
M5	8.573	9.273	M5	7.794	8.978	M5	7.868	9.052	M5	8.573	9.273

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai perbandingan *makespan* pada setiap iterasi, hasil perhitungan tersebut dirangkum pada Tabel 12. Dari tabel tersebut terlihat bahwa iterasi ke-1 dan iterasi ke-4 memiliki nilai *makespan* yang sama. Hal ini merupakan fenomena yang normal terjadi pada metode CDS, karena metode ini memungkinkan beberapa kombinasi urutan pekerjaan yang berbeda menghasilkan nilai *makespan* yang identik.

Tabel 12: Hasil Perhitungan Makespan.

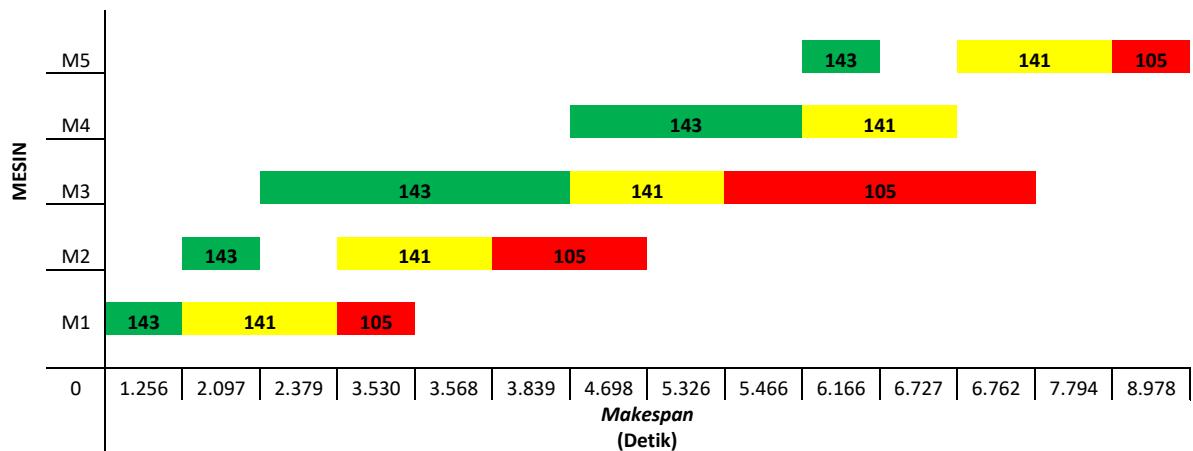
ITERASI 1	M1	M2	M3	M4	M5
105	1.151 detik	2.281 detik	3.717 detik	0 detik	4.901 detik
141	2.274 detik	3.47 detik	5.204 detik	6.465 detik	7.532 detik
143	3.53 detik	4.371 detik	6.946 detik	8.573 detik	9.273 detik
ITERASI 2	M1	M2	M3	M4	M5
143	1.256 detik	2.097 detik	3.839 detik	5.466 detik	6.166 detik
141	2.379 detik	3.568 detik	5.326 detik	6.727 detik	7.794 detik
105	3.530 detik	4.698 detik	6.762 detik	0 detik	8.978 detik
ITERASI 3	M1	M2	M3	M4	M5
141	1.123 detik	2.312 detik	3.799 detik	5.06 detik	6.127 detik
143	2.379 detik	3.22 detik	5.541 detik	7.168 detik	7.868 detik
105	3.53 detik	4.66 detik	6.977 detik	0 detik	9.052 detik
ITERASI 4	M1	M2	M3	M4	M5
105	1151 detik	2281 detik	3717 detik	0 detik	4901 detik
141	2274 detik	3470	5204 detik	6465 detik	7532 detik
143	3530 detik	4371 detik	6946 detik	8573 detik	9.273 detik



Gambar 5. Diagram Batang Hasil Makespan

Hasil perhitungan *makespan* pada setiap iterasi divisualisasikan dalam bentuk diagram batang pada Gambar 5 untuk menggambarkan efektivitas urutan pengerjaan job dalam sistem *flow shop*. Berdasarkan hasil tersebut, nilai *makespan* terkecil diperoleh pada iterasi ke-2 dengan urutan pengerjaan job 143, 141 dan 105 pada lintasan mesin M1, M2, M3, M4, dan M5. Hasil ini menunjukkan bahwa urutan tersebut mampu meminimalkan total waktu penyelesaian seluruh job (*makespan*) dibandingkan dengan urutan lain.

Untuk memperjelas aliran proses produksi, disusun *Gantt Chart* yang menggambarkan pergerakan setiap job pada masing-masing mesin. Visualisasi ini tidak hanya menunjukkan waktu mulai dan selesai setiap job, tetapi juga membantu mengidentifikasi *idle time* pada mesin.



Gambar 6. Gantt Chart Iterasi-2.

Gantt Chart pada Gambar 6 di atas menggambarkan hasil penjadwalan proses produksi untuk tiga job, yaitu *job* 143, 141, 105, yang dikerjakan secara berurutan pada lima mesin M1-M5. Sumbu horizontal merepresentasikan waktu proses, sedangkan sumbu vertical menunjukkan urutan mesin yang digunakan. Hasil penjadwalan memperlihatkan bahwa urutan pengerjaan dimulai dari *job* 143, dilanjutkan dengan *job* 141, dan diakhiri oleh *job* 105. Setiap Job hanya dapat diproses pada mesin berikutnya setelah menyelesaikan proses pada mesin sebelumnya, sehingga pada beberapa mesin terjadi waktu menganggur (*idle time*) yang disebabkan oleh keterbatasan ketersediaan mesin serta ketergantungan antarproses. Namun demikian, tidak terdapat tumpang tindih proses pada mesin yang sama, sehingga pelaksanaan penjadwalan tetap memenuhi karakteristik sistem *flow shop*. Proses produksi dimulai pada waktu 0 dan berakhir pada waktu 8.978 detik, sehingga nilai *makespan* yang diperoleh juga sebesar 8.978 detik, yang menunjukkan total waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan seluruh job dari awal hingga akhir proses produksi.

4 Kesimpulan.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai penjadwalan *flow shop* menggunakan metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) pada Job 105, Job 141, dan Job 143 di mesin M1 sampai M5 pada PT XYZ, dari prosedur perhitungan CDS yang dilakukan diperoleh empat iterasi. Dari empat iterasi tersebut diperoleh nilai *makespan* yang berbeda-beda, yaitu iterasi sebagai berikut:

1. Iterasi 1 menghasilkan makespan 9.273 detik dengan urutan *Job* 105-141-143
2. Iterasi 2 menghasilkan makespan 8.978 detik dengan urutan *Job* 143-141-105
3. Iterasi 3 menghasilkan makespan 9.052 detik dengan urutan *Job* 141-143-105
4. Iterasi 4 menghasilkan kembali makespan 9.273 detik dengan urutan *Job* 105-141-143.

Hasil perhitungan pada keempat iterasi menunjukkan bahwa perbedaan urutan *job* dalam proses produksi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai *makespan* yang dihasilkan. Hal ini membuktikan bahwa metode CDS mampu memberikan prosedur yang sistematis dan efektif dalam merumuskan alternatif jadwal produksi, sehingga perusahaan dapat memilih urutan yang memberikan hasil paling optimal.

Dari keempat alternatif urutan yang telah dianalisis, urutan *job* pada iterasi 2, yaitu *job* 143-141-105, terpilih sebagai jadwal produksi yang optimal karena menghasilkan nilai *makespan* terkecil, yaitu 8.978 detik. Nilai ini menunjukkan bahwa urutan tersebut mampu menyelesaikan seluruh proses produksi dalam waktu yang paling singkat dibandingkan urutan-urutan lainnya. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode CDS pada penjadwalan produksi di PT XYZ dapat membantu perusahaan dalam

menentukan urutan *job* yang lebih efisien, sehingga waktu penyelesaian produksi dapat diminimalkan. Penerapan metode ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi proses produksi serta mengurangi risiko keterlambatan dalam pemenuhan target produksi

5 Daftar Pustaka.

- [1] A. Bintang and C. Suroso, “Penerapan Metode Camphbell Dudek Smith Dan Heuristic Palmer Pada Penjadwalan Produksi Untuk Meminimasi Makespan (Studi Kasus : PT . Pelita Mekar Semesta),” no. Senastitan V, 2025.
- [2] Muhammad Taufiq and Endang Pudji Widjajati, “Analisa Penjadwalan Produksi Dengan Metode Campbell Dudek Smith Untuk Meminimasi Makespan di CV. YZX,” *J. Tek. Mesin, Ind. Elektro dan Inform.*, vol. 2, no. 4, pp. 11–14, 2023, doi: 10.55606/jtmei.v2i4.2872.
- [3] S. Rohmah, J. A. Saifuddin, and M. C. Prameswari, “Analisis Penjadwalan Produksi dengan Metode Campbell Dudek Smith untuk Meminimasi Makespan pada PT.XYZ,” *J. Tek. Ind. Terintegrasi*, vol. 6, no. 4, pp. 1523–1530, 2023, doi: 10.31004/jutin.v6i4.22003.
- [4] D. Arifandi, “Penjadwalan Produksi Untuk Meminimalkan Makespan,” pp. 52–60, 2023.
- [5] R. A. Makarim, A. H. Maksum, and M. T. Rachmat, “Optimization of Scheduling using Heuristic Approach with Campbell Dudek Smith Algorithm (CDS) at PT OSIN,” *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 10, no. 01, p. 25, 2023, doi: 10.25124/jrsi.v10i01.583.
- [6] P. M. Sari, “4166-20150-1-Pb,” vol. 02, no. 02, pp. 56–59, 2020.
- [7] S. R. Baharuddin, R. I. Riana, and F. Anwar, “Penjadwalan Produksi Untuk Meminimalkan Makespan Time dengan,” *J. Tek. Mesin, Ind. Elektro dan Inform.*, vol. 3, no. 4, pp. 303–313, 2024.
- [8] S. Sembiring and U. N. A. Pengabenan, “Penjadwalan Mesin dengan Menggunakan Metode Algoritma Genetika dan metode Campbell Dudek Smith (CDS),” *Talent. Conf. Ser. Energy Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 932–950, 2023, doi: 10.32734/ee.v6i1.1909.
- [9] S. H. Ulya, “Penyusunan Penjadwalan Produksi Menggunakan Metode Campbell Dudek Smith (Cds) Guna Meminimasi Keterlambatan Pada Cv. Sekar Langgeng,” pp. 1–113, 2022.