



Penjadwalan Produksi Menggunakan Algoritma *Tabu Search* dan Algoritma *Campbell Dudek Smith* di Konveksi X

Rizky Maulidan^{1*}, Asep Anwar²

^{1,2}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Widyatama

*Korespondensi Penulis, E-mail: rizky.maulidan@widyatama.ac.id

Abstract

The garment industry in Indonesia is experiencing rapid growth due to increasing demand, including at Konveksi X in Bandung. However, Konveksi X faces challenges with long production completion times (makespan), which have led to decreased demand and revenue between October and March. This study employs a descriptive quantitative approach by applying the Tabu Search and Campbell-Dudek-Smith (CDS) algorithms to minimize makespan and improve production efficiency. Konveksi X utilizes four main machines: fabric cutting, screen printing/embroidery, sewing, and steam ironing. The initial makespan, using the First Come First Serve (FCFS) method with job order ABCD, was 17 days. The Tabu Search algorithm was applied through job swapping and the creation of a tabu list, while CDS used the Johnson's Rule approach by comparing processing times over three iterations. Both algorithms successfully reduced the makespan to 16 days with the best job order ABDC. This resulted in an Efficiency Index of 1.06 and a Relative Error of 6.3%. This one-day reduction reflects increased production efficiency due to stable production structure and balanced job durations. Therefore, Tabu Search and CDS are recommended as more efficient scheduling alternatives compared to FCFS, especially for flow shop production systems that demand high efficiency.

Keywords: Production Scheduling, Makespan, Tabu Search Algorithm, Campbell Dudek Smith Algorithm, Production Efficiency

Abstrak

Industri garmen di Indonesia mengalami pertumbuhan pesat seiring meningkatnya permintaan, termasuk Konveksi X di Kota Bandung. Namun, Konveksi X menghadapi masalah dalam waktu penyelesaian produksi (*makespan*) yang berdampak pada penurunan permintaan dan pendapatan selama Oktober hingga Maret. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan menerapkan algoritma *Tabu Search* dan *Campbell Dudek Smith* (CDS) untuk meminimalkan makespan dan meningkatkan efisiensi produksi. Konveksi X menggunakan empat mesin utama: pemotong kain, sablon/bordir, jahit, dan setrika uap. Nilai *makespan* awal dengan metode *First Come First Serve* (FCFS) adalah 17 hari menggunakan urutan *job* ABCD. Algoritma *Tabu Search* diterapkan dengan metode pertukaran urutan (*swap job*) dan penyusunan *tabu list*. Sementara itu, CDS menggunakan pendekatan *Johnson Rule* dari hasil perbandingan waktu proses tiga iterasi. Hasilnya, kedua algoritma menghasilkan makespan lebih pendek, yaitu 16 hari dengan urutan *job* ABDC. Kedua algoritma ini menghasilkan nilai *Efficiency Index* 1,06 dan *Relative Error* sebesar 6,3%. Penurunan satu hari ini mencerminkan peningkatan efisiensi karena struktur produksi yang stabil dan proses yang merata. Dengan demikian, *Tabu Search* dan CDS direkomendasikan sebagai metode penjadwalan alternatif yang lebih efisien dibanding FCFS, terutama pada sistem *flow shop*.

Kata kunci: Penjadwalan Produksi, Makespan, Algoritma Tabu Search, Algoritma Campbell Dudek Smith, Efisiensi Produksi

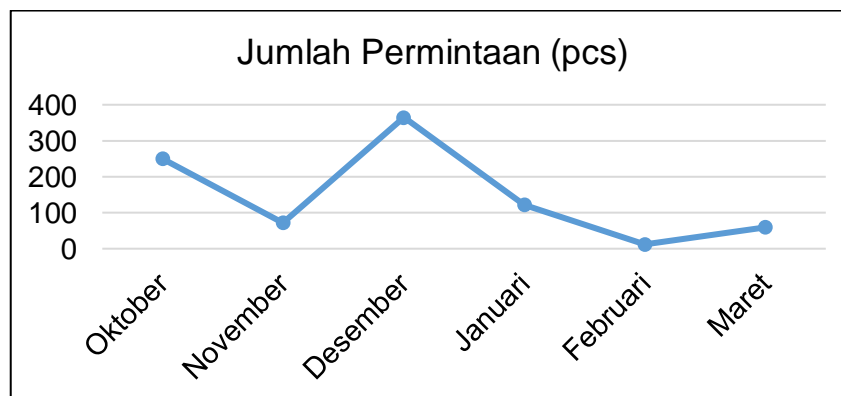


1. Pendahuluan

Seiring dengan meningkatnya permintaan akan pakaian dan aksesoris, industri garmen Indonesia merupakan salah satu industri dengan tingkat pertumbuhan tercepat. Salah satu perusahaan di sektor ini, Konveksi X, memiliki masalah dengan waktu penyelesaian keseluruhan produknya dalam penjadwalan produksi. Penjadwalan produksi yang efektif diperlukan untuk menjamin bahwa barang dapat diproduksi dan dikirim ke klien sesuai jadwal. Keterlambatan pesanan tidak hanya dapat merugikan bisnis, tetapi juga dapat merusak citra perusahaan dan menurunkan kepuasan pelanggan.

Konveksi X merupakan perusahaan di bidang industri tekstil yang memproduksi pakaian promosi dan pernak-pernik, termasuk kaos, kemeja, rompi, jaket, dan barang-barang tekstil lainnya yang berdiri sejak tahun 2000 di Kota Bandung. Konveksi ini memiliki karyawan sebanyak 1 orang, dengan jam kerja sebanyak 8 jam selama 24 hari dalam sebulan.

Konveksi X mengalami penurunan permintaan selama periode enam bulan terakhir. Seperti pada bulan Oktober, November, Desember, Januari, Februari, dan Maret. Grafik permintaan pada periode tersebut sebagai berikut:



Gambar 1 Grafik permintaan periode Oktober 2024 – Maret 2025

Berdasarkan pada **Gambar 1** di atas grafik masalah ini terlihat dari penurunan jumlah permintaan selama enam bulan terakhir dari Oktober 2024 hingga Maret 2025. Pada bulan Oktober, permintaan mencapai 250 pcs, namun pada bulan November kembali turun menjadi 72 pcs. Desember menunjukkan lonjakan permintaan hingga 365 pcs, tetapi kembali turun di bulan Januari menjadi 122 pcs dan turun drastis di bulan Februari hingga Maret menjadi 12 pcs dan 60 pcs. Penurunan permintaan ini berdampak langsung pada pendapatan konveksi.

Penjadwalan produksi yang tidak efektif dapat menyebabkan keterlambatan pengiriman produk kepada pelanggan, stok kosong (*stock-out*) ketika permintaan meningkat, dan penumpukan produk yang tidak dibutuhkan (*overstocking*) [1]. Ketidakpuasan pelanggan ini akan mengurangi *volume* penjualan (karena kehilangan pelanggan), meningkatkan biaya operasional, dan mengurangi margin keuntungan [2]. Penurunan permintaan dan pendapatan di konveksi X ini menunjukkan bahwa sistem penjadwalan produksi yang digunakan belum optimal, sehingga dibutuhkan solusi penjadwalan yang lebih efektif dan efisien untuk meningkatkan efisiensi produksi.

Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah algoritma *Tabu Search*, sebuah metode pencarian heuristik yang dirancang untuk menemukan solusi optimal dalam ruang pencarian yang luas dan kompleks. Keunggulan algoritma ini adalah kemampuannya menghindari solusi lokal dan menjelajahi solusi yang lebih baik secara *global*. Selain itu, Untuk mengatasi hal tersebut, metode heuristik seperti Campbell Dudek Smith (CDS) diterapkan sebagai solusi alternatif. Metode CDS mampu menyederhanakan masalah penjadwalan *flow shop* dengan mengubahnya menjadi



beberapa urutan dua mesin berdasarkan pendekatan *Johnson*, sehingga memungkinkan perusahaan mendapatkan urutan pekerjaan yang lebih efisien dan waktu penyelesaian yang lebih singkat.

Penerapan algoritma *Tabu Search* dan Algoritma Campbell Dudek Smith dalam penjadwalan produksi di Konveksi X diharapkan mampu memberikan dampak positif yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi produksi perusahaan. Beberapa penelitian terdahulu mendukung efektivitas dari penggunaan algoritma *Tabu Search* ini. Misalnya, penelitian oleh [3], mencatat penurunan *makespan* sebesar 0,88% dan peningkatan utilisasi 2%. Selanjutnya, pada penelitian oleh [4], mencatat peningkatan efisiensi sebesar 5,08%. Hal ini serupa dengan penelitian oleh [5], mencatat pengurangan *makespan* sebesar 12,93%. Selain itu, beberapa penelitian terdahulu mendukung efektivitas dari Algoritma Campbell Dudek Smith seperti penelitian [6], menghasilkan pengurangan *makespan* 140.290 detik, setara dengan peningkatan 8,82%. Selanjutnya, penelitian oleh [7], hasil menunjukkan *makespan* 210,12 menit. Terakhir, penelitian oleh [8] menghasilkan nilai *makespan* 89,11 menit.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk meneliti dan menganalisis implementasi algoritma *Tabu Search* dan Algoritma *Campbell Dudek Smith* dalam penjadwalan produksi di Konveksi X, serta menilai pengaruhnya terhadap efisiensi dan efektivitas proses produksi. Diharapkan bahwa hasil penelitian ini dapat memberikan perspektif baru bagi perusahaan dalam mengoptimalkan sistem penjadwalan serta meningkatkan daya saing di industri.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif deskriptif yaitu menggambarkan suatu kejadian atau keadaan tertentu secara sistematis dan faktual, dengan menggunakan data kuantitatif yang dapat diukur [9]. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi nilai *makespan* dan mengimplementasikan algoritma *Tabu Search* dan *Campbell Dudek Smith* di Konveksi X. Penelitian ini dilakukan di Konveksi X yang berlokasi di Jl. Surapati No. 111c Bandung 40123. Waktu penelitian berlangsung dari bulan Februari 2025 hingga Maret 2025.

2.1 Algoritma *Tabu Search*

Algoritma *Tabu Search* merupakan teknik pencarian heuristik yang digunakan untuk memperoleh solusi terbaik dalam permasalahan kombinatorial. Prosedur dalam algoritma ini sebagai berikut [10]:

1. Langkah 1: Pilih solusi dasar I dalam S .
2. Langkah 2: Tentukan sebuah *subset* V^* dari solusi $N(i)$
3. Langkah 3: Cari nilai terbaik j dalam V^* (misal $f(i) > f(k)$ untuk setiap k dalam V^* dan $set\ i = j$)
4. Langkah 4: Jika $f(j) > f(i)$ hentikan penjelajahan. Jika tidak kembali ke langkah 2.

Dalam algoritma *Tabu Search*, pemberhentian perhitungan berhenti jika:

1. $N(i, k + 1) = \{\}$
2. Nilai k lebih besar dari jumlah iterasi maksimum yang diizinkan
3. Jumlah iterasi setelah pengembangan terakhir dan i^* lebih besar dari jumlah spesifik
4. Dapat dibuktikan bahwa telah tercapai solusi optimal

Langkah-langkah yang digunakan atau prosedur dari algoritma *Tabu Search* dalam penjadwalan produksi menurut [10], sebagai berikut:

1. Langkah Pertama: Memilih solusi awal i dalam S . $Set\ i = 1$ dan $k = 0$
2. Langkah Kedua: $Set\ k = k + 1$ dan hasilkan *subset* V^* dari solusi dalam $N(i, k)$ hingga satu dari kondisi *Tabu Search* $tr(i, m) \in Tr$ dilanggar ($r = i, \dots, t$) atau sedikitnya satu dari kondisi dipenuhi $ar(i, m) \in Ar(i, m)$ di mana ($r = i, \dots, a$)



3. Langkah Ketiga: Memilih nilai $j = i \oplus m$ terbaik dalam V^* (dengan fungsi f atau \tilde{f}) dan set $i = j$
4. Langkah Keempat: Jika $f(i) < f(i^*)$ maka set $i^* = i$
5. Langkah Kelima: Memperbarui tabu dan kondisi aspirasi.

$$Daftar\ Tabu = \sqrt{N}$$

Pers. 1

Di mana:

N = Jumlah *job* yang akan diurutkan.

6. Langkah Keenam: Jika kondisi pemberhentian sudah terpenuhi, maka selesai. Sedangkan jika belum terpenuhi, kembali melakukan langkah ke-2

2.2 Algoritma *Campbell Dudek Smith*

Algoritma *Campbell Dudek Smith* menerapkan *Johnson Rule* dengan penjelasan menurut [11], sebagai berikut:

1. $M1' < M2'$
Jika waktu terpendek ada pada mesin fiktif pertama, maka lakukan penjadwalan *job* di awal.
2. $M1' > M2'$
Jika waktu terpendek ada pada mesin fiktif kedua, maka lakukan penjadwalan *job* di akhir.
3. $M1' = M2'$
Jika kondisi ketika nilai pada mesin fiktif 1 dan mesin fiktif 2 memiliki hasil identik, maka pengurutan *job* dilakukan secara arbitrer karena tidak terdapat kriteria pembeda lainnya.

Pengolahan data menggunakan algoritma *Campbell Dudek Smith* menurut [10], sebagai berikut:

1. $t_{i,1} = t_{i,1}^*$ dan $t_{i,2}^* = t_{i,m}$
Sebagai waktu proses pada mesin pertama dan mesin terakhir.
2. $t_{i,1}^* = t_{i,1} + t_{i,2}$ dan $t_{i,2}^* = t_{i,m} + t_{i,m-1}$
Sebagai waktu proses pada dua mesin pertama dan terakhir untuk urutan ke-K:
3. $t_{i,1}^* = \sum_{k=1}^k t_{i,k}$

$$k = m - 1$$

Pers. 2

m = Jumlah mesin dalam sistem *flow shop*.

4. $t_{i,1}^* = \sum_{k=1}^k t_{i,m-k+1}$

Perhitungan algoritma *Campbell Dudek Smith* dengan algoritma dilakukan melalui tahapan-tahapan menurut [10], sebagai berikut:

1. Ambil urutan pertama ($k = 1$). Untuk seluruh tugas yang ada, carilah harga $t_{i,1}^*$ dan $t_{i,2}$ yang minimum yang merupakan waktu proses pada mesin pertama dari kedua.
2. Jika waktu minimum didapat pada mesin pertama (misal $t_{i,1}$), selanjutnya tempatkan tugas tersebut pada urutan awal bila waktu minimum didapat pada mesin kedua (misal $t_{i,2}$), tugas tersebut ditempatkan pada urutan terakhir.
3. Pindahkan tugas-tugas tersebut hanya dari daftarnya dan urutkan. Jika masih ada tugas yang tersisa ulangi kembali langkah ke-1, sebaliknya bila tidak ada lagi tugas yang tersisa, berarti pengurutan sudah selesai.

2.3 Uji Performansi

Rumus yang dipakai untuk melakukan uji performansi sebagai berikut:

1. *Efficiency Index* (EI)

$$EI = \frac{F_{max \text{ metode perusahaan}}}{F_{max \text{ metode usulan}}} \quad \text{Pers. 3}$$

Jika nilai EI > 1, maka metode heuristik lebih efisien daripada metode aktual.

Jika nilai EI = 1, maka kedua metode tersebut memiliki efisiensi yang sama.

Jika nilai EI < 1, maka metode aktual lebih efisien.

2. *Relative Error* (RE)

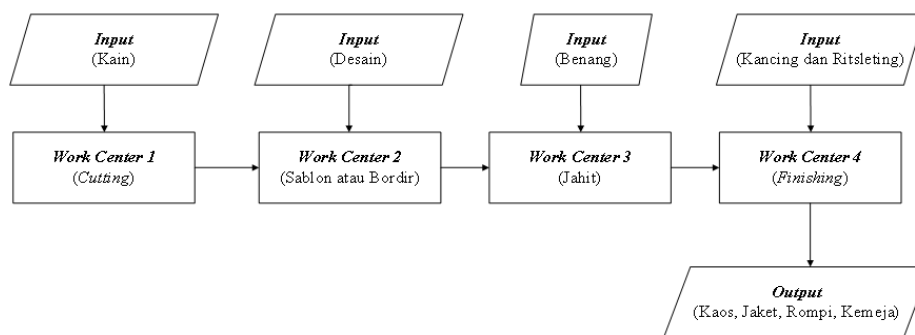
$$RE = \frac{F_{max \text{ metode perusahaan}} - F_{max \text{ metode usulan}}}{F_{max \text{ metode usulan}}} \times 100\% \quad \text{Pers. 4}$$

Nilai RE yang tinggi menunjukkan metode perusahaan memiliki *makespan* yang jauh lebih besar, sehingga kurang efisien. Semakin kecil nilai RE, semakin dekat hasil metode perusahaan terhadap solusi optimal.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

3.1 Alur Proses Produksi

Alur proses produksi di Konveksi X melewati beberapa tahapan sebagai berikut:



Gambar 2 Alur proses produksi konveksi x

Proses ini dapat dibagi menjadi empat tahap inti yang masing-masing memiliki *input* dan mesin sebagai berikut:

1. *Work Center 1 (Cutting)*: Tahap awal dimulai dengan *Input* Kain. Kain ini kemudian diproses menggunakan Mesin 1 (*Cutting*) untuk dipotong sesuai dengan pola desain yang telah ditentukan.
2. *Work Center 2 (Sablon atau Bordir)*: Setelah kain dipotong, tahap berikutnya adalah penambahan detail. Ini melibatkan *Input* Desain yang akan diaplikasikan ke potongan kain menggunakan Mesin 2 (Sablon atau Bordir). Proses ini memberikan identitas visual atau estetika pada pakaian.
3. *Work Center 3 (Jahit)*: Potongan kain yang telah dilengkapi detail kemudian beralih ke tahap penjahitan. Dengan *Input* Benang, Mesin 3 (Jahit) digunakan untuk menyatukan potongan-potongan kain tersebut menjadi bentuk pakaian yang utuh.
4. *Work Center 4 (Finishing)*: Tahap terakhir adalah penyempurnaan produk. Pada tahap ini, *Input* Kancing dan Ritsleting ditambahkan ke pakaian menggunakan Mesin 4 (*Finishing*). Proses ini juga bisa mencakup perapian, pemasangan label, dan pengemasan.

Setelah melalui keempat tahapan tersebut, proses produksi menghasilkan *Output* berupa berbagai jenis produk pakaian jadi seperti Kaos, Jaket, Rompi, dan Kemeja.



3.2 Data Mesin Konveksi dan Uraian Proses

Data mesin-mesin dan uraian proses yang digunakan terdiri dari empat mesin yaitu mesin pemotong kain *cutting*, mesin sablon atau bordir, mesin jahit, dan mesin setrika uap (*finishing*) pada konveksi ini sebagai berikut:

Tabel 1 Data mesin konveksi dan uraian proses

Nama Mesin	Work Center	Uraian Proses
Mesin Pemotong Kain (<i>Cutting</i>)	1	1. Desain pakaian dibuat menggunakan kertas pola
		2. Lembaran kain disusun bertumpuk sesuai kebutuhan jumlah potong
		3. Pola diletakkan di atas tumpukan kain
		4. Kain dipotong menggunakan mesin potong manual atau otomatis berdasarkan pola
		5. Potongan kain diperiksa untuk memastikan kesesuaian bentuk dan ukuran
Mesin Sablon atau Bordir (Sesuai Permintaan Pelanggan)	2	a. Mesin Sablon
		1. Desain dibuat dalam bentuk digital dan disiapkan untuk proses sablon
		2. <i>Screen</i> dicetak menggunakan film desain dan cairan emulsi
		3. Tinta ditekan melewati <i>screen</i> ke kain menggunakan alat rakel
		4. Hasil sablon dikeringkan menggunakan alat pemanas khusus
		b. Mesin Bordir
		1. Desain diubah ke dalam format digital bordir
		2. Kain dipasang di bingkai mesin bordir
		3. Mesin otomatis melakukan bordir sesuai desain
		4. Benang yang berlebih dibersihkan, hasil bordiran dirapikan
Mesin Jahit	3	1. Bagian-bagian pakaian seperti badan, lengan, dan kerah disusun sesuai urutan
		2. Mesin jahit digunakan untuk menyatukan bagian kain, dengan jenis mesin berbeda sesuai fungsinya (<i>obras</i> , <i>rantai</i> , <i>overdeck</i>)
		3. Setiap hasil jahitan diperiksa untuk memastikan kerapian dan kekuatan
Mesin Setrika Uap (<i>Steam</i>)	4	1. Air dipanaskan di dalam mesin <i>steam</i>
		2. Uap panas digunakan untuk menghaluskan kain dan membentuk bagian pakaian seperti lipatan
		3. Produk dicek kembali sebelum dikemas

Berdasarkan pada **Tabel 1**, kegiatan produksi pada konveksi berlangsung secara bertahap sesuai dengan alur penggunaan mesin di setiap *work center*. Tabel di atas merinci masing-masing pusat kerja beserta fungsi dari mesin yang digunakan. Proses dimulai dengan pemotongan kain sebagai bahan dasar (*Work Center 1*), kemudian dilanjutkan dengan penambahan elemen desain seperti sablon atau bordir



(*Work Center 2*), setelah itu dilaksanakan proses penjahitan untuk membentuk pakaian jadi (*Work Center 3*), dan ditutup dengan proses penyetricaan menggunakan mesin uap untuk merapikan hasil akhir (*Work Center 4*). Setiap tahap memiliki peran penting dalam menjaga kualitas produk serta mendukung kelancaran dan efisiensi waktu produksi.

3.3 Data Permintaan Produksi

Data permintaan konveksi selama periode bulan Oktober 2024 hingga Maret 2025 sebagai berikut:

Tabel 2 Data permintaan produksi

No	Nama Produk	Qty (pcs)
1	Kaos	660
2	Jaket	42
3	Rompi	46
4	Kemeja	133
Total		881

Pada **Tabel 2** diperoleh data permintaan produksi jumlah produksi berbagai jenis pakaian di Konveksi X menunjukkan jumlah produk yang diproduksi dalam periode penelitian, yang terdiri dari empat jenis, yaitu kaos, jaket, rompi, dan kemeja. Dari total keseluruhan sebanyak 881 pcs, produk kaos merupakan jenis yang paling dominan dengan jumlah 660 pcs. Sementara itu, jumlah produk kemeja berada di urutan kedua dengan 133 pcs, diikuti oleh rompi sebanyak 46 pcs, dan jaket sebanyak 42 pcs. Data ini menunjukkan bahwa fokus utama produksi terletak pada kaos, yang kemungkinan besar merupakan produk utama atau paling diminati dalam kegiatan produksi perusahaan.

3.4 Data Waktu Proses

Data waktu proses konveksi menggunakan satuan hari dengan menyelesaikan empat pekerjaan yaitu *Job A* (Kaos), *Job B* (Jaket), *Job C* (Rompi), dan *Job D* (Kemeja) dengan masing-masing empat jenis mesin sebagai berikut:

Tabel 3 Data waktu proses

<i>Work Center</i>	Waktu Proses (Hari)			
	<i>Job A</i>	<i>Job B</i>	<i>Job C</i>	<i>Job D</i>
1	1	2	4	3
2	2	3	3	4
3	2	2	2	2
4	1	1	1	1

Berdasarkan **Tabel 3** di atas menunjukkan bahwa setiap *job* memiliki durasi proses yang berbeda-beda di tiap *work center*. Perbedaan ini mencerminkan adanya variasi baik dalam hal kompleksitas pekerjaan, kapasitas mesin, keahlian tenaga kerja, maupun efisiensi masing-masing pusat kerja. Sebagai contoh, *Job C* memiliki waktu proses terlama di *Work Center 1*, yaitu selama 4 hari, sedangkan *Job D* membutuhkan waktu paling lama di *Work Center 2* dengan durasi 4 hari juga. Di sisi lain, waktu proses tercepat terdapat di *Work Center 4*, di mana seluruh pekerjaan hanya membutuhkan



waktu 1 hari. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa *Work Center* 4 memiliki efisiensi tinggi atau pekerjaan yang dilakukan di sana bersifat finalisasi atau ringan.

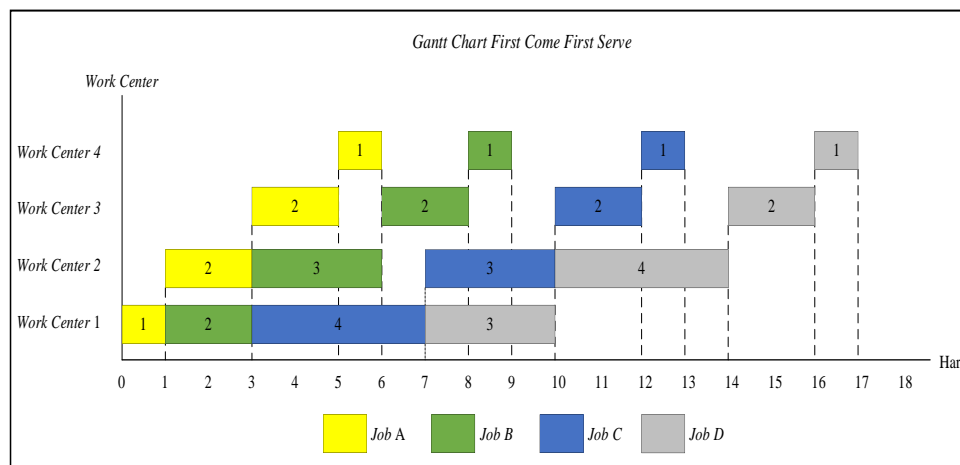
3.5 Penjadwalan Metode *First Come First Serve (FCFS)*

Penjadwalan aktual dilakukan dengan menggunakan metode *First Come First Serve (FCFS)*, yaitu metode yang menyusun urutan pengerjaan berdasarkan waktu kedatangan setiap *job* dengan urutan *job* ABCD sebagai berikut:

Tabel 4 Penjadwalan metode *first come first serve (fcfs)*

WC		Waktu Proses Pengerjaan (Hari)			
		<i>Job A</i>	<i>Job B</i>	<i>Job C</i>	<i>Job D</i>
1	Mulai	0	1	3	7
	Selesai	1	3	7	10
2	Mulai	1	3	7	10
	Selesai	3	6	10	14
3	Mulai	3	6	10	14
	Selesai	5	8	12	16
4	Mulai	5	8	12	16
	Selesai	6	9	13	17

Berdasarkan pengolahan data pada **Tabel 4** diperoleh hasil nilai *makespan* aktual perusahaan dengan metode *First Come First Serve (FCFS)* adalah 17 hari di mana perusahaan membutuhkan total waktu sebanyak 17 hari untuk menyelesaikan seluruh pekerjaan dari pelanggan.



Gambar 3 *Gantt chart first come first serve abcd*

Berdasarkan *gant chart* tersebut, diketahui bahwa total *makespan* yang dihasilkan adalah 17 hari, yang mencerminkan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan semua *job* tanpa mempertimbangkan efisiensi durasi proses antar *job*. Hal ini menegaskan bahwa pendekatan FCFS cenderung kurang optimal dalam meminimalkan waktu penyelesaian total ketika diterapkan pada sistem produksi *flow shop*.



3.6 Penjadwalan Algoritma *Tabu Search*

Pengolahan data algoritma *Tabu Search* memanfaatkan teknik pencarian tetangga secara lokal atau *neighborhood search*, yaitu proses yang berjalan secara iterasi dari satu solusi ke solusi lainnya hingga mencapai kriteria terminasi yang telah ditentukan sebagai berikut:

Tabel 5 Perhitungan iterasi 1 algoritma *tabu search*

Move ke-	Urutan Pekerja	Nilai Makespan (Hari)
0	ABCD	17
1	ACBD	18
2	BACD	17
3	BCAD	18
4	ACDB	18
5	ADCB	17
6	CADB	19
7	BDCA	17
8	CBDA	20
9	CDBA	19
10	DCBA	18
11	ABDC	16
12	BADC	17

Berdasarkan hasil **Tabel 5** di atas iterasi 1, nilai *makespan* terkecil berada di *move* ke-11 yaitu 16 hari dengan urutan *job* ABDC. Perhitungan penjadwalan pada *job* ABDC dalam algoritma *Tabu Search* menggunakan teknik *neighborhood search* atau menukar *job* dengan solusi terdekat.

Tabel 6 Perhitungan nilai *makespan* ABCD Algoritma *tabu search* iterasi 1

WC		Waktu Proses Pengerjaan (Hari)			
		<i>Job A</i>	<i>Job B</i>	<i>Job D</i>	<i>Job C</i>
1	Mulai	0	1	3	6
	Selesai	1	3	6	10
2	Mulai	1	3	6	10
	Selesai	3	6	10	13
3	Mulai	3	6	10	13
	Selesai	5	8	12	15
4	Mulai	5	8	12	15
	Selesai	6	9	13	16

Job ABCD dan ABDC merupakan nilai *makespan* terkecil di iterasi 1, urutan *job* tersebut merupakan solusi terbaik sementara. Selanjutnya, melakukan perhitungan iterasi 2 dengan algoritma *Tabu Search* sebagai berikut:



Tabel 7 Perhitungan iterasi 2 *algoritma tabu search*

Move ke-	Urutan Pekerjaan	Nilai Makespan (Hari)
0	ABCD	17
	ABDC	16
1	CBAD	19
2	CABD	19
3	CDAB	19
4	DCAB	18
5	DACB	18
6	BCDA	18
7	DBCA	18
8	ADBC	17
9	BDAC	17
10	DBAC	18
11	DABC	18

Berdasarkan hasil **Tabel 7** di atas pada iterasi 2, tidak terdapat nilai *makespan* yang lebih baik dibandingkan dengan solusi pada iterasi 1. Kondisi ini disebut dengan *steady state* karena itu iterasi diberhentikan [5]. Solusi terbaik daftar tabu (*Tabu List*) menggunakan rumus persamaan (1):

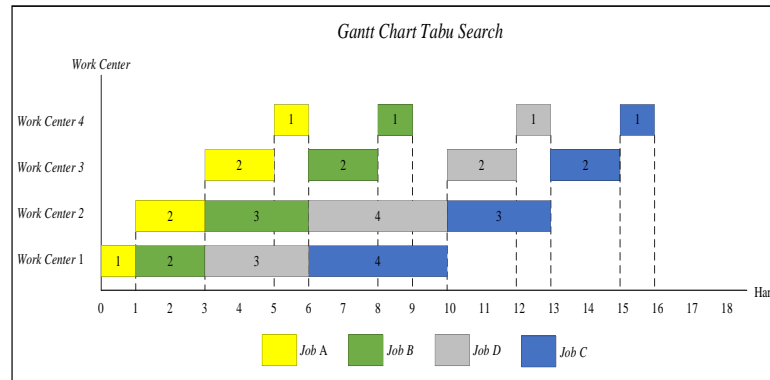
$$Daftar\ Tabu = \sqrt{4} = 2$$

Jadi, daftar tabu (*Tabu List*) yang digunakan sebanyak 2 *list*. Hasil dari solusi terbaik sebagai berikut:

Tabel 8 Solusi terbaik daftar tabu (*tabu list*)

Iterasi	<i>Tabu List</i>	
	0	1
Urutan Pekerjaan	A	B
	B	A
	C	D
	D	C
<i>Makespan</i>	17 Hari	16 Hari

Berdasarkan **Tabel 8** didapat hasil solusi terbaik daftar tabu (*tabu list*) dengan urutan *job* ABCD (FCFS) dan ABDC (*Tabu Search*) serta nilai *makespan* terkecil pada iterasi 1 yaitu 16 hari. Penjelasan dengan *Gantt Chart Tabu Search* sebagai berikut:



Gambar 4 Gantt chart tabu search abdc

Berdasarkan *gantt chart* pada **Gambar 4**, algoritma *Tabu Search* menunjukkan peningkatan efisiensi waktu produksi dibandingkan metode FCFS. Dengan urutan *job* yang diatur secara optimal, proses produksi dapat diselesaikan dalam waktu 16 hari, lebih cepat satu hari dibandingkan dengan FCFS yang memerlukan 17 hari. Berakhirnya proses produksi ditandai dengan selesainya *Job C* pada *Work Center 4* di hari ke-16, membuktikan bahwa algoritma *Tabu Search* mampu mengurangi total waktu penyelesaian tanpa mengurangi urutan operasi. Dengan demikian, pendekatan ini terbukti lebih efektif dalam meminimalkan *makespan*, menjadikannya solusi yang lebih unggul dibandingkan pendekatan konvensional seperti FCFS.

3.7 Penjadwalan Algoritma *Campbell Dudek Smith*

Pengolahan data menggunakan algoritma *Campbell Dudek Smith* terdiri dari 4 *job* serta menggunakan 4 mesin secara berurutan dari proses awal hingga produk jadi (Kaos, Jaket, Rompi, Kemeja). Setelah itu, melakukan perhitungan *makespan* dengan algoritma *Campbell Dudek Smith* sebagai berikut:

Perhitungan *k* iterasi menggunakan rumus persamaan (2) sebagai berikut:

$$k = 4 - 1 = 3 \text{ iterasi}$$

Jadi, proses penjadwalan menggunakan algoritma *Campbell Dudek Smith* dilakukan sebanyak 3 iterasi. Selanjutnya, melakukan perbandingan waktu proses berdasarkan dua mesin fiktif dari keseluruhan iterasi sebagai berikut:

a. Iterasi 1 (K=1)

Tabel 9 Perbandingan waktu proses k=1

K=1	Job			
	A	B	C	D
Work Center				
M1' = WC 1	1	2	4	3
M2' = WC 4	1	1	1	1

b. Iterasi 2 (K=2)

Tabel 10 Perbandingan waktu proses k=2

K=2	Job			
	A	B	C	D
Work Center				
M1' = WC 1 + WC 2 (Hari)	3	5	7	7
M2' = WC 3 + WC 4 (Hari)	3	3	3	3



c. terasi 3 (K=3)

Tabel 11 Perbandingan waktu proses k=3

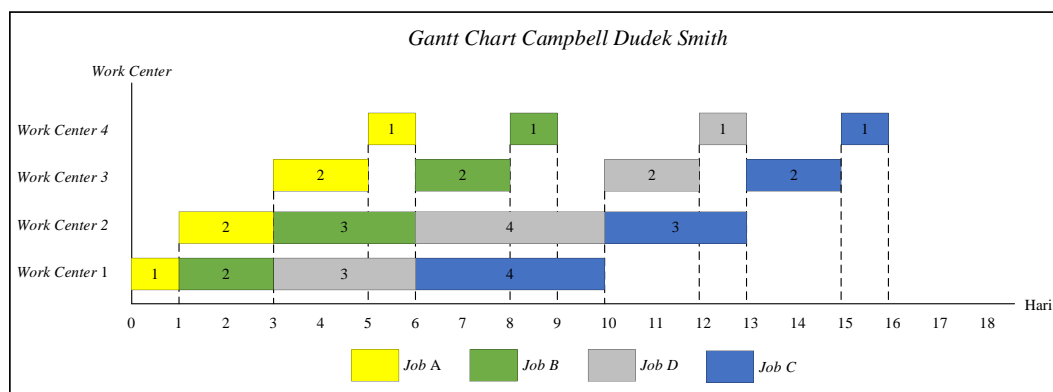
K=3 Work Center	Job			
	A	B	C	D
M1' = WC 1 + WC 2 + WC 3 (Hari)	5	7	9	9
M2' = WC 2 + WC 3 + WC 4 (Hari)	5	6	6	7

Setelah melakukan perhitungan nilai *makespan* dari masing-masing iterasi. Selanjutnya, melakukan rekapitulasi terhadap keseluruhan nilai *makespan* sebagai berikut:

Tabel 12 Nilai *makespan* algoritma *campbell dudek smith*

Urutan Job		Nilai <i>Makespan</i> (Hari)
K=1	ABD	16
	C	
K=2	ABD	16
	C	
K=3	ABC	17
	D	
	ADC	17

Hasil perhitungan *makespan* menggunakan Algoritma Campbell Dudek Smith (CDS) menunjukkan bahwa urutan *job* optimal yang dihasilkan dari proses iterasi, yaitu dari Iterasi 1 hingga Iterasi 3, adalah ABDC. Urutan *job* tersebut menghasilkan nilai *makespan* sebesar 16 hari pada iterasi 1 dan 2. Hal ini berarti bahwa dengan menggunakan metode CDS, total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan seluruh *job* dari awal hingga akhir produksi adalah selama 16 hari.



Gambar 5 Gantt chart *campbell dudek smith*

Berdasarkan *Gantt Chart* pada **Gambar 5**, hasil penjadwalan dengan *Campbell Dudek Smith* (CDS) menggambarkan aliran proses dari empat pekerjaan (*Job A, B, C, dan D*) melalui empat *Work Center*. Bagan ini menunjukkan urutan pekerjaan ABDC, di mana setiap blok berwarna merepresentasikan durasi proses pada masing-masing *Work Center*. Dari gambar tersebut, dapat dikonfirmasi bahwa *makespan* total yang dicapai adalah 16 Hari, ditandai dengan selesainya *Job C* pada *Work Center 4* di Hari ke-16, yang konsisten dengan hasil perhitungan *makespan* minimum dari metode ini.



3.8 Hasil Uji Performansi

- a. Uji performansi *Efficiency Index* (EI) dan *Relative Error* (RE) dari metode FCFS dengan *Tabu Search* menggunakan rumus persamaan (3) dan (4) sebagai berikut:

1. *Efficiency Index* (EI) menggunakan rumus persamaan (3):

$$EI = \frac{17}{16} = 1,06$$

Berdasarkan hasil perhitungan *Efficiency Index* (EI) sebesar 1,06, dapat disimpulkan bahwa *Tabu Search* lebih efisien dibandingkan metode *First Come First Served* (FCFS). Nilai EI yang lebih dari 1 menunjukkan bahwa *Tabu Search* mampu mengurangi *makespan*, yaitu dari 17 hari menjadi 16 hari, sehingga meningkatkan efisiensi penjadwalan.

2. *Relative Error* (RE) menggunakan rumus persamaan (4):

$$RE = \frac{17 - 16}{16} \times 100\% = 6,3\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan *Relative Error* (RE) sebesar 6,3%, dapat disimpulkan bahwa metode *First Come First Served* (FCFS) memiliki *makespan* yang lebih besar dibandingkan dengan *Tabu Search*. Hal ini menunjukkan bahwa *Tabu Search* mampu meningkatkan efisiensi penjadwalan sebesar 6,3% dibandingkan FCFS.

- b. Uji performansi *Efficiency Index* (EI) dan *Relative Error* (RE) dari metode FCFS dengan *Campbell Dudek Smith* menggunakan rumus persamaan (3) dan (4) sebagai berikut:

1. *Efficiency Index* (EI) menggunakan rumus persamaan (3):

$$EI = \frac{17}{16} = 1,06$$

Berdasarkan hasil perhitungan *Efficiency Index* (EI) sebesar 1,06, dapat disimpulkan bahwa *Campbell Dudek Smith* lebih efisien dibandingkan metode *First Come First Served* (FCFS). Nilai EI yang lebih dari 1 menunjukkan bahwa *Campbell Dudek Smith* mampu mengurangi *makespan*, yaitu dari 17 hari menjadi 16 hari, sehingga meningkatkan efisiensi penjadwalan.

2. *Relative Error* (RE) menggunakan rumus persamaan (4):

$$RE = \frac{17 - 16}{16} \times 100\% = 6,3\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan *Relative Error* (RE) sebesar 6,3%, dapat disimpulkan bahwa metode *First Come First Served* (FCFS) memiliki *makespan* yang lebih besar dibandingkan dengan *Campbell Dudek Smith*. Hal ini menunjukkan bahwa *Campbell Dudek Smith* mampu meningkatkan efisiensi penjadwalan sebesar 6,3% dibandingkan FCFS.



3.9 Analisis Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah tertera di atas, analisis hasilnya sebagai berikut:

Tabel 13 Perbandingan penjadwalan

Penjadwalan	Makespan (Hari)	Urutan Job
FCFS	17	ABCD
<i>Tabu Search</i>	16	ABDC
<i>Campbell Dudek Smith</i>	16	ABDC

Berdasarkan pada **Tabel 4.22**, menunjukkan hasil evaluasi dari tiga metode penjadwalan produksi, yaitu *First Come First Serve* (FCFS), *Tabu Search*, dan *Campbell Dudek Smith* (CDS) berdasarkan nilai *makespan* dan urutan *job* yang dihasilkan. *Makespan* merupakan total waktu penyelesaian seluruh pekerjaan, sehingga semakin kecil nilai *makespan*, semakin efisien metode penjadwalan tersebut.

Metode *First Come First Serve* (FCFS) menghasilkan *makespan* selama 17 hari dengan urutan pekerjaan ABCD. Metode ini menerapkan prinsip dasar, yaitu memproses pekerjaan sesuai urutan kedatangan tanpa memperhitungkan durasi waktu proses pada masing-masing stasiun kerja. Pendekatan ini menunjukkan keterbatasan dalam hal efisiensi waktu produksi, karena tidak mengakomodasi perbedaan karakteristik waktu proses antar pekerjaan, sehingga cenderung menghasilkan *makespan* yang lebih tinggi.

Sementara itu, *Tabu Search* dan *Campbell Dudek Smith* berhasil menurunkan nilai *makespan* menjadi 16 hari, dengan urutan *job* yang sama yaitu ABDC. Penurunan *makespan* sebesar 1 hari (atau sekitar 6,3%) dibandingkan metode FCFS menunjukkan bahwa kedua metode ini lebih unggul dalam mengoptimasi urutan pekerjaan.

Tabu Search, yang termasuk dalam algoritma metaheuristik, memiliki kemampuan untuk mengeksplorasi berbagai kemungkinan solusi secara lebih luas. Berbeda dengan metode konvensional yang sering terjebak pada solusi yang tidak optimal, *Tabu Search* menggunakan semacam "daftar ingatan sementara" (disebut *tabu list*) untuk menghindari pengulangan solusi yang sama. Dengan strategi ini, metode tersebut dapat menemukan urutan pekerjaan yang lebih efisien dan mendekati optimal.

Di sisi lain, metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) yang merupakan pengembangan dari algoritma Johnson untuk lebih dari dua mesin, juga menunjukkan performa yang sangat baik. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa CDS sangat tepat digunakan dalam sistem produksi yang memiliki beberapa tahap proses, seperti pada kasus yang diteliti dalam penelitian ini.

Hal yang patut dicatat adalah bahwa baik metode *Tabu Search* maupun *Campbell Dudek Smith* (CDS) menghasilkan urutan pekerjaan yang identik, yaitu ABDC. Kesamaan hasil tersebut memperkuat validitas urutan tersebut sebagai solusi yang optimal dalam konteks sistem produksi yang diteliti. Selain itu, hal ini juga mengindikasikan adanya penyatuan solusi antar metode optimasi yang meskipun berbeda pendekatan, namun mampu menghasilkan tingkat efisiensi yang setara.

Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan metode optimasi seperti *Tabu Search* dan CDS dapat meningkatkan efisiensi waktu produksi dibandingkan metode konvensional seperti FCFS. Oleh karena itu, dalam sistem produksi yang menuntut efisiensi tinggi, pemilihan metode penjadwalan berbasis algoritma heuristik dan metaheuristik menjadi sangat krusial. Strategi pengurutan pekerjaan yang tidak memperhitungkan karakteristik waktu proses cenderung menghasilkan *makespan* yang lebih besar dan kurang efisien.



Perbedaan *makespan* sebesar 1 hari dalam Penjadwalan Produksi menggambarkan perbedaan efisiensi dan efektivitas algoritma dalam menentukan urutan pengerjaan *job*. Penurunan *makespan* sebesar 1 hari ini karena beberapa faktor berikut:

1. Struktur Proses Produksi yang Tetap
2. Jumlah *Job* yang Terbatas
3. Durasi Proses yang Merata
4. Solusi Optimal Dicapai pada Iterasi Awal

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil sebagai berikut:

1. Penerapan algoritma *Tabu Search* dalam Penjadwalan Produksi di Konveksi X membuktikan bahwa metode ini dapat mencari solusi secara bertahap melalui teknik *neighborhood search* dan penggunaan daftar tabu (*tabu list*). Melalui proses pertukaran urutan pekerjaan (*swap job*), algoritma ini mampu mengevaluasi berbagai kemungkinan urutan jadwal dan menghindari terjebak pada solusi lokal yang tidak optimal. Di sisi lain, meskipun pendekatan algoritma Campbell Dudek Smith (CDS) tergolong lebih sederhana, hasil yang diperoleh tetap optimal dan layak untuk dijadikan pertimbangan, terutama dalam sistem produksi yang memiliki tahapan proses bertingkat. Secara keseluruhan, penerapan kedua algoritma ini terbukti mampu memberikan hasil yang efektif dalam penjadwalan produksi. Keduanya dapat menjadi alternatif strategi yang lebih efisien dibandingkan metode konvensional, sehingga berpotensi meningkatkan produktivitas serta mendukung kelancaran operasional di industri konveksi.
2. Keefektifan algoritma *Tabu Search* dan algoritma *Campbell Dudek Smith* (CDS) dengan metode penjadwalan yang sebelumnya diterapkan di Konveksi X (FCFS). *Tabu Search* dan *Campbell Dudek Smith* mampu menurunkan *makespan* menjadi 16 hari, dibandingkan 17 hari pada FCFS, dengan *Efficiency Index* sebesar 1,06 dan *Relative Error* sebesar 6,3% terhadap metode aktual perusahaan. Hal ini menunjukkan bahwa *Tabu Search* dan *Campbell Dudek Smith* terbukti lebih efisien dan layak dalam meningkatkan efisiensi penjadwalan produksi di Konveksi X.



5. Daftar Pustaka

- [1] P. Chopra, S., & Meindl, *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*, 6th ed. Pearson, 2016.
- [2] J. Heizer, B. Render, and C. Munson, *Operations Management*, 13th ed. Pearson, 2020.
- [3] M. H. N. Falih, "Implementasi Algoritma Tabu Search dalam Penjadwalan Produksi PT. Arkha Jayanti Persada untuk Meminimasi Nilai Makespan," *Sci. J. Ind. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 41–46, 2021, doi: 10.30998/v2i2.4170.
- [4] R. Simarmata and A. M. Said, "Penerapan Metode Algoritma Tabu Search Pada Penjadwalan Mesin," *Energy Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 990–999, 2023, doi: 10.32734/ee.v6i1.1914.
- [5] H. Shofiyyah and A. Jaminson, "Penerapan Metode Algoritma Taboo Search pada Penjadwalan Flow Shop untuk meminimalkan Makespan (Studi kasus PT. XYZ)," *Talent. Conf. Ser. Energy Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 971–976, 2023, doi: 10.32734/ee.v6i1.1912.
- [6] S. D. Annisya and J. A. Saifudin, "ANALISIS PENJADWALAN PRODUKSI BATU TAHAN API DENGAN MENGGUNAKAN METODE CAMPBELL DUDEK SMITH (CDS), NAWAZ ENSCORE HAM (NEH), DAN PALMER UNTUK MENGURANGI MAKESPAN DI PT. X," vol. 1, no. 3, pp. 165–176, 2020.
- [7] C. Mashuri, A. Heru Mujianto, and H. Sucipto, "Analisis Perbandingan Metode Campbell Dudek Smith (CDS) dan GUPTA untuk Optimasi Penjadwalan Produksi," *Gener. J.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–10, 2021, doi: 10.29407/gj.v5i1.13954.
- [8] D. A. Viliandini and E. Yuliawati, "Penjadwalan Produksi dengan Metode Camphbell Dudek Smith (CDS) untuk Meminimumkan Total Waktu Produksi (Makespan)," *Pros. SENIATI*, vol. 6, no. 1, pp. 123–128, Jul. 2022, doi: 10.36040/seniati.v6i1.4915.
- [9] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: CV. Alfabeta, 2017.
- [10] G. Rosnani, *Penjadwalan Mesin*, Edisi Pert. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2009.
- [11] S. M. Johnson, "Optimal Two-Stage Production Schedules with Setup Times Included," *Nav. Res. Logist. Q.*, vol. 1, no. 1, pp. 61–68, 1954.