

Usulan Penjadwalan *Flow Shop* dengan Metode *Drum Buffer Rope* dan *Campbell, Dudek, Smith (CDS)* untuk Mengurangi Keterlambatan di Perusahaan Tekstile (Studi Kasus PT. X)

Juwita Ayu Widiawati¹, Ayu Anggraeni Sibarani^{*2}

^{1,2}Program Studi Teknik Industri, Universitas Jenderal Soedirman
Purbalingga, Indonesia

^{*2}ayu.anggraeni.sibarani@unsoed.ac.id

Dikirim pada 03-11-2024, Direvisi pada 10-11-2024, Diterima pada 16-11-2024

Abstrak

PT. X, sebuah perusahaan manufaktur tekstil, menghadapi tantangan serius terkait keterlambatan penyelesaian pesanan, yang berdampak negatif pada kepuasan pelanggan dan kinerja operasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi keterlambatan tersebut dengan menerapkan metode penjadwalan produksi *Drum Buffer Rope (DBR)* dan *Campbell Dudek Smith (CDS)*. Metode *DBR* berfokus pada identifikasi serta pengelolaan *bottleneck* (kendala) dalam proses produksi, sedangkan *CDS* mengoptimalkan urutan penjadwalan untuk meminimalkan *makespan*. Hasil implementasi metode ini menunjukkan penurunan nilai *makespan* sebesar 1.119,46 jam, serta penurunan jumlah pekerjaan yang terlambat dari 9 menjadi 5 pekerjaan, dan pengurangan total keterlambatan produksi dari 249,5 unit menjadi 116 unit. Penerapan metode gabungan ini terbukti efektif meningkatkan efisiensi produksi dan mempercepat pengiriman, sehingga berpotensi meningkatkan kepuasan pelanggan dan daya saing perusahaan.

Kata Kunci: *Campbell Dudek Smith (CDS)*, *Drum Buffer Rope (DBR)*, Efisiensi Produksi, Penjadwalan produksi, *Makespan*

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi [CC BY-SA](#).



Penulis Koresponden:

Ayu Anggraeni Sibarani
Program Studi Teknik Industri, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Mayjend Sungkono KM. 5 Blater, Kalimanah, Purbalingga, Jawa Tengah 53371
Email: ayu.anggraeni.sibarani@unsoed.ac.id

I. PENDAHULUAN

Penjadwalan produksi merupakan aspek krusial dalam manajemen operasi karena berdampak langsung pada efisiensi dan efektivitas proses produksi. Dalam lingkungan industri, penjadwalan yang baik mampu mengurangi waktu produksi, menekan biaya, serta meningkatkan kepuasan pelanggan. Salah satu indikator kinerja penting dalam penjadwalan adalah *makespan*, yaitu total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan seluruh pekerjaan dari awal hingga akhir, sementara *lateness* mengacu pada selisih antara waktu penyelesaian pekerjaan dan batas waktu yang telah ditentukan (*due date*). Untuk mencapai efisiensi tersebut, berbagai sistem penjadwalan diterapkan sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan produksi perusahaan, salah satunya adalah *flow shop*. Sistem *flow shop* mengharuskan setiap pekerjaan melewati beberapa tahap produksi secara berurutan, di mana setiap tahap memiliki mesin atau sumber daya khusus. Dalam penjadwalan *flow shop*, salah satu tujuan utamanya adalah meminimalkan *makespan* demi meningkatkan efisiensi produksi. Namun, tantangan seperti variasi waktu pemrosesan, jumlah produk yang diproduksi, dan kompleksitas proses produksi sering kali menyebabkan keterlambatan penyelesaian pesanan. Hal ini tidak hanya menurunkan kepuasan pelanggan tetapi juga berpotensi menimbulkan kerugian finansial, seperti yang kerap terjadi dalam lingkungan produksi PT. X.

PT. X, sebuah perusahaan manufaktur tekstil yang beroperasi di pasar yang kompetitif, mengalami masalah yang serius terkait keterlambatan dalam penyelesaian pesanan. Masalah ini muncul sebagai hasil dari berbagai faktor, termasuk ketidakmampuan dalam mengelola aliran produksi secara efektif dan efisien. Akibatnya, perusahaan menghadapi sejumlah dampak yang merugikan. Keterlambatan dalam penyelesaian pesanan juga memberikan dampak finansial yang signifikan bagi PT. X [3].

Selama 1 tahun terakhir permintaan benang CD 40 menjadi tinggi, sehingga perusahaan menetapkan target perhari sebanyak 5 ball / 100 ball benang, target tersebut bertujuan mengejar waktu penyelesaian yang dijanjikan perusahaan kepada pelanggan-pelanggannya. Akan tetapi, target tersebut tidak selalu dapat dipenuhi perusahaan dan berujung pada keterlambatan waktu pengiriman pesanan. Dalam analisis keterlambatan pengiriman barang selama tahun 2023, ditemukan bahwa rata-rata keterlambatan bervariasi dari bulan ke bulan. Rata-rata keterlambatan tersebut merupakan indikator penting dalam mengevaluasi kinerja operasional perusahaan dalam mengelola rantai pasokan [3].

Berdasarkan data yang didapat dari PT. X, keterlambatan yang paling sering terjadi adalah dalam rentang waktu 1-3 hari, dengan persentase sekitar 34,6%. Keterlambatan di bulan Oktober terjadi dengan persentase sekitar 45,5%, sedangkan keterlambatan di bulan Mei dan bulan Juni terjadi dengan persentase relatif lebih sedikit. Keterlambatan tersebut karena tidak adanya jadwal yang jelas karena jadwal yang ditetapkan oleh Departemen PPIC adalah First Come First Serve (FCFS) dan juga lebih mendahulukan buyer yang loyal atau sudah berlangganan dengan PT. X. Berikut adalah tabel keterlambatan yang tercatat pada bulan September-Oktober 2023:

TABEL I. KETERLAMBATAN BULAN OKTOBER

No	Order Masuk	Tanggal Due Dates	Tanggal Kirim	Keterlambatan
1	27-Sep-23	06-Oct-23	11-Oct-23	120 Jam
2	02-Oct-23	06-Oct-23	23-Oct-23	408 Jam
3	12-Oct-23	16-Oct-23	18-Oct-23	48 Jam
4	29-Sep-23	02-Oct-23	12-Oct-23	240 Jam
5	29-Sep-23	05-Oct-23	11-Oct-23	144 Jam
6	29-Sep-23	06-Oct-23	30-Oct-23	576 Jam
7	29-Sep-23	06-Oct-23	12-Oct-23	144 Jam
8	27-Sep-23	09-Oct-23	11-Oct-23	48 Jam
9	02-Oct-23	11-Oct-23	16-Oct-23	120 Jam
10	09-Oct-23	16-Oct-23	28-Oct-23	288 Jam
11	12-Oct-23	18-Oct-23	20-Oct-23	48 Jam
12	14-Oct-23	20-Oct-23	24-Oct-23	96 Jam
13	18-Oct-23	23-Oct-23	24-Oct-23	24 Jam
14	18-Oct-23	24-Oct-23	30-Oct-23	144 Jam

Mengatasi masalah keterlambatan yang terjadi, penelitian ini memilih untuk menerapkan metode Drum Buffer Rope (DBR) dan Campbell, Dudek, Smith (CDS) untuk mengatasi masalah keterlambatan tersebut. Metode DBR memberikan fokus pada mengidentifikasi "drum" atau tahapan produksi yang menjadi pembatas bagi seluruh sistem produksi [4]. Dengan menyeimbangkan kapasitas produksi dengan kebutuhan pelanggan, metode ini membantu menghindari penumpukan dan keterlambatan yang berlebihan [5]. Drum-Buffer-Rope (DBR) adalah pendekatan pengendalian aliran produksi yang merupakan bagian dari Teori Kendala (Theory of Constraints/TOC) [6]. Dengan menerapkan DBR, PT. X dapat mengontrol aliran produksi secara lebih efisien, meminimalkan waktu tunggu di stasiun berikutnya, dan mengoptimalkan penggunaan kapasitas produksi [7].

Selain menerapkan Drum Buffer Rope penelitian ini di kombinasikan dengan Metode CDS digunakan untuk merancang urutan jadwal perawatan mesin yang lebih efektif. Tujuannya adalah untuk meningkatkan jumlah produksi dengan penggunaan waktu yang paling efisien, tanpa harus menghentikan

produksi, dan juga dapat menghitung produktivitas mesin itu sendiri [8]. Algoritma CDS bekerja dengan menghasilkan urutan jadwal produksi yang optimal untuk setiap pekerjaan dalam flowshop [9]. Ini dilakukan dengan mempertimbangkan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan setiap pekerjaan di setiap stasiun kerja, serta mempertimbangkan ketergantungan antara pekerjaan-pekerjaan tersebut. Sementara itu, pendekatan Campbell, Dudek, Smith (CDS) merupakan metode yang menggunakan algoritma untuk menentukan jadwal produksi yang optimal [10]. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti waktu proses, kapasitas. CDS membantu perusahaan untuk merencanakan produksi secara efisien dan mengurangi kemungkinan keterlambatan [11].

Kombinasi dari kedua metode ini memberikan pendekatan yang komprehensif dalam mengelola rantai pasokan, dengan fokus pada mengidentifikasi kendala, mengoptimalkan jadwal produksi, dan meminimalkan keterlambatan [12]. Dengan menerapkan metode DBR dan CDS, perusahaan memiliki kesempatan untuk meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi keterlambatan, dan meningkatkan kepuasan pelanggan. Pemilihan kombinasi metode Drum Buffer Rope (DBR) dan Campbell Dudek Smith (CDS) dalam penelitian ini didasarkan pada karakteristik unik masing-masing metode yang saling melengkapi dalam mengatasi permasalahan kompleks di lingkungan flow shop industri tekstil. DBR, sebagai bagian dari Theory of Constraints (TOC), berfokus pada identifikasi dan pengelolaan bottleneck yang sering menjadi penyebab utama keterlambatan produksi. Dengan memastikan bottleneck beroperasi secara optimal melalui penyesuaian beban kerja dan koordinasi aliran produksi, metode ini membantu meminimalkan waktu tunggu dan penumpukan kerja. Sementara itu, CDS memberikan pendekatan algoritmik untuk menghasilkan urutan jadwal produksi yang efisien di seluruh stasiun kerja, dengan mempertimbangkan waktu pemrosesan dan ketergantungan antar pekerjaan. Kombinasi ini memungkinkan solusi yang tidak hanya fokus pada pengendalian bottleneck tetapi juga optimalisasi urutan produksi secara keseluruhan, sehingga memaksimalkan efisiensi operasional.

Kontribusi spesifik penelitian ini terhadap pengelolaan flow shop pada industri tekstil terletak pada integrasi kedua metode tersebut untuk mengatasi masalah lateness dan makespan yang kerap dialami dalam proses produksi berskala besar. Dengan DBR, perusahaan dapat meningkatkan stabilitas aliran produksi, sementara CDS memastikan distribusi pekerjaan yang merata di seluruh lini produksi. Hasilnya, perusahaan dapat mencapai target produksi dengan waktu yang lebih singkat, mengurangi biaya akibat keterlambatan, serta meningkatkan kepuasan pelanggan. Penelitian ini juga menyediakan panduan praktis bagi industri tekstil dalam mengimplementasikan pendekatan kombinasi ini, sekaligus memberikan wawasan baru mengenai efektivitas strategi penjadwalan modern untuk menghadapi tantangan di pasar yang kompetitif.

Oleh karena itu, perlu adanya solusi yang inovatif dan terukur untuk meningkatkan efisiensi operasional Departemen Spinning. Penelitian ini akan mengeksplorasi implementasi Drum Buffer Rope (DBR) dan pendekatan Campbell, Dudek, Smith (CDS) sebagai pendekatan baru dalam perancangan sistem scheduling job. DBR menawarkan konsep yang dapat mengoptimalkan proses produksi dengan menjaga kelancaran produksi, mengelola kapasitas produksi secara bijaksana, dan mengkoordinasikan pekerjaan sesuai dengan kebutuhan pelanggan [13].

Dengan pemahaman mendalam terhadap latar belakang permasalahan yang dihadapi PT. X di Departemen Spinning, Penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi pada pengembangan solusi yang dapat meminimasi keterlambatan pesanan dan meningkatkan efisiensi proses produksi benang. Dengan demikian, implementasi DBR dan CDS diharapkan dapat menjadi langkah strategis untuk memperkuat posisi PT. X di pasar tekstil yang dinamis dan kompetitif. Dalam penelitian ini, nilai makespan dari jadwal produksi yang diusulkan akan dibandingkan dengan nilai makespan dari jadwal produksi yang aktual. Perbandingan ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah metode yang diusulkan dapat mengurangi makespan dan meningkatkan efisiensi produksi .

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di PT. X yang berlokasi di Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah, dengan periode pelaksanaan penelitian dari 1 Januari 2024 hingga 31 Januari 2024. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif untuk menganalisis data yang terkumpul. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup wawancara, studi dokumen, serta analisis data historis perusahaan.

Pengumpulan data dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui wawancara langsung dengan bagian Human Resource Development (HRD) serta kepala bidang di setiap departemen terkait. Tujuan dari wawancara ini adalah untuk mendapatkan informasi rinci mengenai proses produksi dan mengidentifikasi permasalahan yang dihadapi perusahaan. Selain itu,

observasi langsung di lapangan juga dilakukan untuk mencatat durasi setiap kegiatan produksi dengan menggunakan alat pengukur waktu, seperti jam henti.

Data sekunder dalam penelitian ini dikumpulkan dari studi dokumen yang dimiliki perusahaan. Dokumen yang dianalisis mencakup data permintaan pelanggan (demand) PT. X selama periode Januari hingga Desember 2023, data due dates, data proses produksi, serta data operasional. Analisis terhadap data due dates bertujuan untuk mengidentifikasi keterlambatan dalam pengiriman produk kepada pelanggan. Sementara itu, data proses produksi digunakan untuk memetakan durasi waktu yang dibutuhkan mulai dari tahap bahan baku hingga produk jadi. Data operasional mencakup informasi tentang pembagian shift pekerja, jumlah pekerja, serta jam kerja harian.

Langkah-langkah implementasi Campbell Dudek Smith (CDS) menggunakan Microsoft Excel dilakukan dengan memanfaatkan fungsi dan alat yang tersedia untuk menyusun jadwal produksi secara efisien. Proses dimulai dengan memasukkan data waktu proses untuk setiap pekerjaan pada masing-masing mesin ke dalam tabel. Selanjutnya, dilakukan penghitungan total waktu penyelesaian untuk berbagai urutan pekerjaan menggunakan formula Excel, seperti SUM untuk menjumlahkan waktu proses dan MIN/MAX untuk menentukan nilai makespan setiap urutan. Selain itu, grafik Gantt dapat dibuat dengan menggunakan fitur Conditional Formatting untuk memvisualisasikan urutan produksi.

A. Langkah Langkah Drum Buffer Rope (DBR)

Langkah pertama dalam proses pengaturan aliran produksi adalah membuat rencana produksi. Dalam hal ini, penting untuk memastikan bahwa jumlah produksi sesuai dengan permintaan pasar, ketersediaan material mencukupi, dan kapasitas sumber daya cukup untuk pengolahan [14]. Setelah memenuhi persyaratan tersebut, langkah selanjutnya adalah menentukan jadwal untuk sumber daya yang menjadi konstrain kapasitas (*Capacity Constraint Resource* atau CCR). Jadwal CCR ini digunakan untuk menyusun rencana produksi akhir yang dikenal sebagai *Master Production Schedule* (MPS). Proses penyusunan MPS ini disebut sebagai "drum". Berikut merupakan Langkah- Langkah dari *Drum Buffer Rope Scheduling* (DBR) [6]

1. Identifikasi Kendala

Langkah pertama dalam menerapkan DBR adalah mengidentifikasi kendala, yang sering disebut sebagai "drum" dalam terminologi DBR. Kendala merupakan titik bottleneck atau sumber daya dalam proses produksi yang membatasi throughput keseluruhan sistem [5].

2. Protect Kendala

Setelah kendala teridentifikasi, langkah-langkah harus diambil untuk memastikan bahwa kendala tersebut dilindungi atau digunakan secara optimal. Hal ini dapat melibatkan memastikan bahwa sumber daya kendala tidak terlalu dimuat dengan pekerjaan, menghilangkan gangguan, dan meminimalkan waktu henti [15]

3. Tetapkan Buffer

Langkah selanjutnya adalah menetapkan *buffer* di depan kendala. *Buffer* ini, sering disebut sebagai "*buffer*" dalam terminologi DBR, bertujuan untuk memastikan bahwa kendala selalu memiliki pekerjaan yang tersedia dan tidak menganggur karena kekurangan atau gangguan di tempat lain dalam sistem [16].

4. Tetapkan Tingkat Buffer

Ukuran *buffer* harus ditentukan berdasarkan faktor-faktor seperti variabilitas dalam waktu proses, permintaan pasar, dan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi kembali persediaan. *Buffer* harus cukup besar untuk menyerap fluktuasi permintaan dan waktu proses tanpa menyebabkan kendala menganggur [16].

5. Jadwalkan sesuai dengan Buffer

Jadwal produksi kemudian ditetapkan berdasarkan tingkat *buffer*. Pekerjaan dilepaskan ke dalam sistem sesuai dengan ketersediaan kapasitas di kendala. Hal ini memastikan bahwa kendala selalu sibuk dan bahwa *work-in-progress* (WIP) tidak diizinkan menumpuk tanpa alasan yang diperlukan [8].

6. Mekanisme *Rope*

"*Rope*" dalam DBR mewakili mekanisme yang digunakan untuk melepaskan pekerjaan ke dalam sistem sesuai dengan jadwal yang ditetapkan oleh *buffer*. Ini dapat melibatkan implementasi kontrol visual, seperti sistem kanban atau perangkat lunak penjadwalan, untuk mengatur aliran pekerjaan dan memastikan bahwa produksi sejalan dengan permintaan [17].

7. Peningkatan Berkelanjutan

Terakhir, DBR adalah proses yang berkelanjutan yang membutuhkan pemantauan dan perbaikan terus-menerus. Tinjauan berkala terhadap metrik kinerja, seperti *throughput*, waktu siklus, dan tingkat persediaan, dapat membantu mengidentifikasi area yang perlu diperbaiki dan menyempurnakan proses penjadwalan untuk lebih mengoptimalkan aliran produksi [16].

B. Langkah – Langkah Algoritma Campbell, Dudek dan Smith (CDS)

Algoritma CDS mengubah masalah penjadwalan dari n pekerjaan dan m mesin (dengan $m > 2$) menjadi p masalah pengganti dua mesin n -job, di mana $p = m-1$. Setiap masalah pengganti diselesaikan menggunakan aturan *Johnson*, dan nilai *makespan* (C_{max}) ditemukan untuk setiap masalah pengganti. Urutan masalah pengganti yang menghasilkan nilai minimum C_{max} dipilih untuk menjadwalkan pekerjaan pada mesin. CDS merupakan pengembangan aturan *Johnson* dan merupakan dasar teori penjadwalan, terutama untuk masalah *flow shop* dengan banyak tahapan [17].

Algoritma CDS juga cocok untuk persoalan *multi-stage* yang menggunakan aturan *Johnson*, terutama pada masalah baru yang berasal dari masalah asli dengan waktu proses pada mesin pertama dan terakhir [17]. Ditemukan oleh *Campbell, Dudek, dan Smith* pada tahun 1965, algoritma ini pertama kali digunakan untuk pengurutan n pekerjaan pada m mesin. Tujuan utama penjadwalan dengan algoritma CDS adalah untuk mendapatkan nilai *makespan* terkecil, yang merupakan urutan pengerjaan tugas yang paling optimal berdasarkan waktu kerja terkecil dalam melakukan produksi [4]

$$t_{i,1}^k = t_{i,1} + t_{i,2} \quad (1)$$

$$t_{i,2}^k = t_{i,m} + t_{i,m-1} \quad (2)$$

Sebagai waktu proses pada dua mesin pertama dan dua mesin yang terakhir untuk urutan ke- k :

$$t_{i,1}^k = \sum_{j=1}^k t_{i,j} \quad (3)$$

$$t_{i,2}^k = \sum_{j=m+1-k}^m t_{i,j} \quad (4)$$

Keterangan :

i = Job

j = Mesin

$t_{i,1}^k$ = Waktu proses suatu job ke- i dan mesin pertama

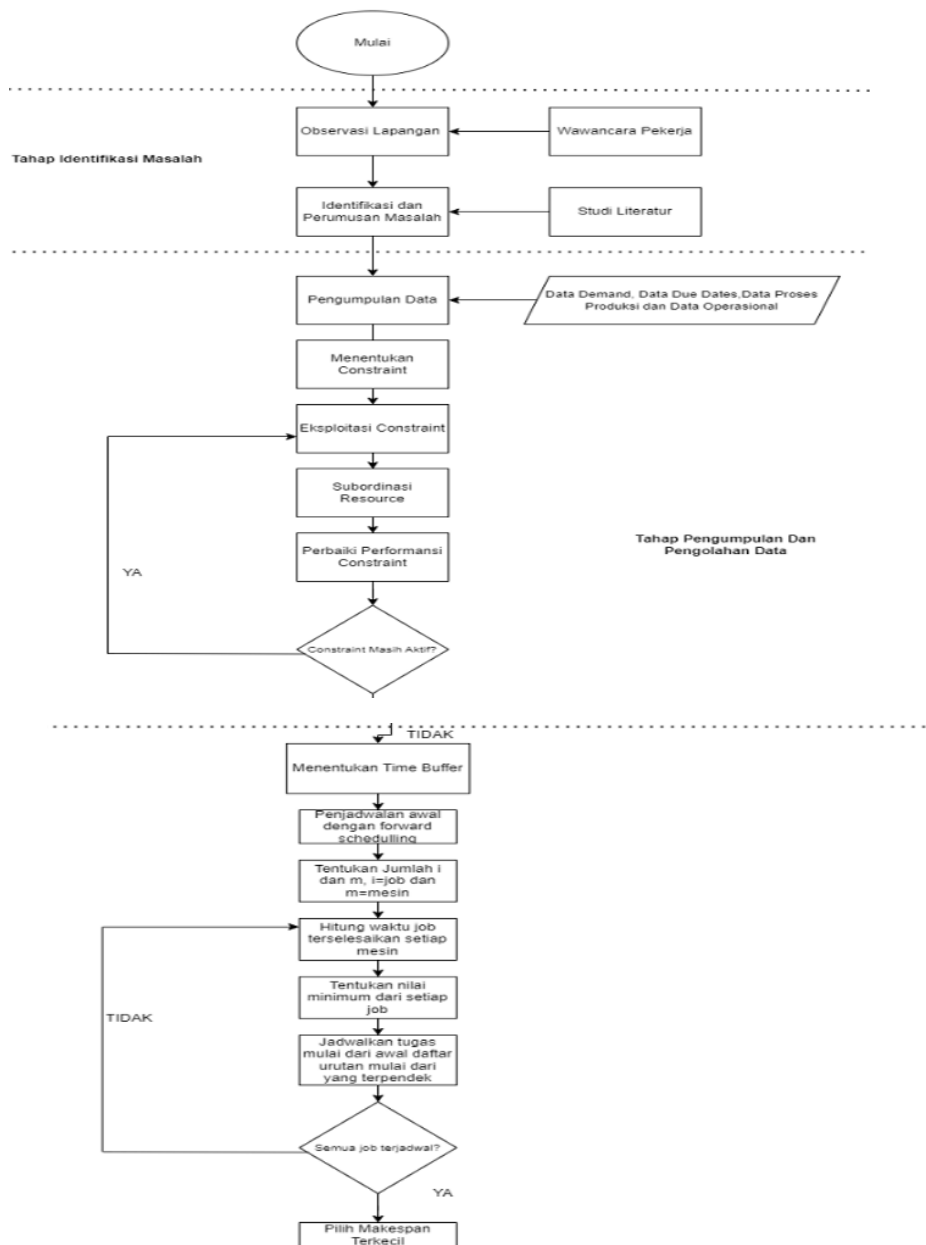
$t_{i,2}^k$ = Waktu proses suatu job ke- i dan mesin kedua

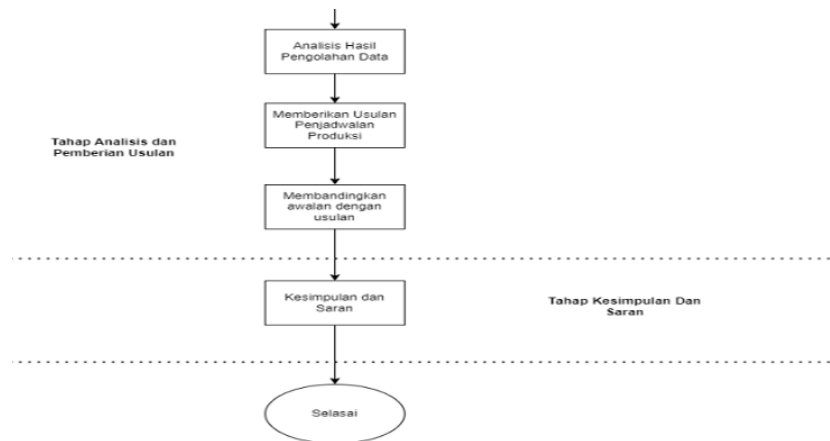
m = Jumlah mesin yang dipakai

k = Iterasi ($k = 1, 2, 3, \dots, (m - 1)$).

Perhitungan algoritma CDS dilakukan dengan tahapan-tahapan berikut :

1. Ambil urutan pertama ($k = 1$). Untuk seluruh tugas yang ada, carilah $t_{i,1}^k$ dan $t_{i,2}^k$ yang minimum, yang merupakan waktu proses pada mesin pertama dari kedua [18].
2. Jika waktu minimum didapat pada mesin pertama (misal $t_{i,1}$), selanjutnya tempatkan tugas tersebut pada urutan awal. Bila waktu minimumnya disapat pada mesin kedua (misal $t_{i,2}$), tempatkan tugas tersebut pada urutan terakhir [19].
3. Pindahkan tugas tersebut hanya dari daftarnya dan urutkan. Jika masih ada tugas yang tersisa, ulangi kembali langkah 1. Sebaliknya jika tidak ada lagi tugas yang tersisa, berarti pengurutan telah selesai [20].





Gambar. 1 Tahapan Penelitian

Penelitian di PT Dan Liris dimulai dengan identifikasi masalah melalui observasi lapangan untuk memahami profil perusahaan, produk, dan proses di bagian PPIC, serta wawancara dengan pekerja guna melengkapi informasi. Masalah keterlambatan produksi diidentifikasi sebagai fokus penelitian, dengan pengumpulan data terkait permintaan pelanggan, tanggal jatuh tempo, proses produksi, dan operasional selama Januari–Desember 2023. Data tersebut diolah dengan mengidentifikasi constraint pada departemen ring spinning, kemudian dilakukan penjadwalan menggunakan metode CDS untuk menentukan urutan produksi optimal dan mencari solusi dengan makespan terkecil. Hasil analisis digunakan untuk menyusun usulan penjadwalan flow shop yang lebih efisien menggunakan metode DBR dan CDS. Penelitian diakhiri dengan kesimpulan dan saran untuk memperbaiki sistem penjadwalan guna mengurangi keterlambatan produksi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Identifikasi Stasiun Kerja yang dijadikan Drum

Melalui perhitungan kapasitas yang dibutuhkan (Capacity Requirement) dan perhitungan kapasitas tersedia (Capacity Available), kita dapat mengidentifikasi stasiun kerja yang akan menjadi drum dan yang tidak. Proses ini melibatkan perbandingan antara kapasitas produksi yang diperlukan oleh setiap stasiun kerja dengan kapasitas yang sebenarnya dapat disediakan.

Apabila kapasitas yang dibutuhkan oleh suatu stasiun kerja melebihi kapasitas yang tersedia, maka stasiun kerja tersebut akan dianggap sebagai drum. Sebaliknya, jika kapasitas yang tersedia melebihi atau setidaknya cukup untuk memenuhi kebutuhan produksi, stasiun kerja tersebut akan diidentifikasi sebagai non-drum.

Penentuan status drum atau non-drum ini sangat penting dalam manajemen produksi karena membantu dalam mengoptimalkan alur kerja dan meningkatkan efisiensi produksi secara keseluruhan. Dengan memahami perhitungan kapasitas ini, perusahaan dapat mengidentifikasi area di mana perbaikan atau penyesuaian diperlukan untuk memastikan produksi berjalan secara optimal. Berikut merupakan tabel 1 untuk menentukan stasiun yang dijadikan drum dikarenakan melebihi kapasitas yang tersedia:

TABEL II. STASIUN KERJA DRUM

Stasiun	Kapasitas yang dibutuhkan (Jam)	Kapasitas yang tersedia (Jam)	Variansi	Keterangan
Persiapan dan Sortir	72	960	888	Non Drum
Mesin Blowing	2.052	960	957.948	Non Drum
Mesin Carding	7.92	960	952.08	Non Drum
Pre-Drawing	4.644	960	955.356	Non Drum
Finish-Drawing	44.532	960	915.468	Non Drum

Stasiun	Kapasitas yang dibutuhkan (Jam)	Kapasitas yang tersedia (Jam)	Variansi	Keterangan
Flyer	299.571	960	660.429	Non Drum
Ring Spinning	1254.1	960	-294.1	Drum
Winder dan Packing	720	960	240	Non Drum

Contoh Perhitungan Variansi

$$\begin{aligned} \text{variansi} &= \text{kapasitas yang tersedia} - \text{kapasitas dibutuhkan} \\ \text{variansi} &= 960 - 1254.1 \\ \text{variansi} &= -294.1 \end{aligned}$$

B. Penentuan Time Buffer untuk stasiun kerja Drum

Tabel II menunjukkan time buffer yang dibutuhkan agar dapat memenuhi stasiun kerja Ring Spinning dan untuk menghilangkan bottleneck pada stasiun kerja Ring Spinning.

TABEL III. PENENTUAN TIME BUFFER UNTUK STASIUN KERJA DRUM

Stasiun	Kapasitas yang dibutuhkan (Jam)	Kapasitas yang tersedia (Jam)	Time Buffer (Jam)
Ring Spinning	1254.1	960	294.1

Contoh Perhitungan Time Buffer

$$\begin{aligned} \text{Time Buffer} &= \text{kapasitas dibutuhkan} - \text{kapasitas tersedia} \\ \text{Time Buffer} &= 1254.1 - 960 \\ \text{Time Buffer} &= 294.1 \end{aligned}$$

C. Penjadwalan Aktual

Di PT. X, sistem penjadwalan yang diterapkan adalah "First Come First Serve" (FCFS), yang berarti pekerjaan atau job yang datang pertama kali akan dilayani terlebih dahulu sebelum pekerjaan berikutnya. Dalam konteks ini, urutan penanganan pekerjaan didasarkan pada waktu kedatangan masing-masing pekerjaan tanpa mempertimbangkan faktor lain seperti kompleksitas atau prioritas tertentu. Metode ini memastikan bahwa urutan pelayanan pekerjaan sesuai dengan urutan kedatangannya untuk menjaga keteraturan dan konsistensi dalam proses penjadwalan di PT X. Berikut merupakan hasil penjadwalan actual yang dapat dilihat pada table dibawah ini.

TABEL IV. PENJADWALAN AKTUAL

Job	Cycle Time	Quantity	Processing Time	Complexion Time	Due Date	Lateness	Total Quantity	Job yang Telambat
1	1920	200	2194.09	2194.09	2160	34.09	155	
2	380	6	456.78	2650.87	2520	130.87	2	
3	500	10	492.6	3143.47	3120	23.47	3	
4	500	5	447.82	3591.29	3600	-8.71	-	
5	500	1	412	4003.29	4104	-100.71	-	
6	1000	100	1298.57	5301.86	5208	93.86	50	
7	600	25	626.93	5928.79	5808	120.79	15	
8	400	0.99	411.91	6340.7	6000	340.7	0.5	
9	500	10	492.6	6833.3	5808	1025.3	4	
10	1000	80	1119.46	7952.76	7800	152.76	15	
11	500	4.7	445.13	8397.89	8784	-386.11	-	
12	900	50	850.81	9248.7	9312	-63.3	-	

13	500	2.5	425.43	9674.13	9720	-45.87	-
14	500	5	447.82	10121.95	10200	-78.05	-
15	500	20	582.15	10704.1	10008	696.1	5
16	500	7	465.73	11169.83	120000	-108830.17	-
17	500	0.5	407.52	11577.35	120000	-108422.65	-
18	700	2	757.87	12335.22	120000	-107664.78	-
Makespan					12335.22		
Jumlah Job yang terlambat					9		
Total Quantity					249.5		

Contoh Perhitungan *Makespan*

$$\begin{aligned} \text{Makespan} = & 2394.09 + 456.78 + 492.6 + 447.82 + 412 + 1298.57 + 626.93 + 411.91 + 492.6 \\ & + 1119.46 + 445.13 + 850.81 + 425.43 + 447.82 + 582.15 + 465.73 + 407.52 \\ & + 757.87 \end{aligned}$$

$$\text{Makespan} = 12335.22$$

D. Penjadwalan Metode CDS

Perhitungan Metode penjadwalan CDS yang mana dilakukan menggunakan pengurutan 18 Job terhadap 8 Mesin. Banyaknya kombinasi urutan job/iterasi yang akan dilakukan dicari dengan menggunakan rumus $k = m - 1$. Dimana m adalah banyaknya jumlah mesin yang digunakan, karena jumlah stasiun kerja perusahaan ini ada 8 unit, maka, $k = 8 - 1 = 7$

Penentuan urutan dan perhitungan CDS dapat dilihat pada tabel 4 penentuan urutan CDS $K=1$ Sebagai Berikut:

TABEL V. PENENTUAN URUTAN CDS $K=1 - K=4$

Job	K=1		K=2		K=3		K=4	
	t1	t8	t1,t2	t8,t7	t1,t2,t3	t8,t7,t6	t1,t2,t3,t4	t8,t7,t6,t5
1	4	200	4.57	411.432	6.77	428.075	8.06	430.549
2	4	200	4.57	63.97	6.77	80.6129	8.06	83.0869
3	4	200	4.57	71.134	6.77	87.7769	8.06	90.2509
4	4	200	4.57	62.178	6.77	78.8209	8.06	81.2949
5	4	200	4.57	55.014	6.77	71.6569	8.06	74.1309
6	4	200	4.57	232.328	6.77	248.971	8.06	251.445
7	4	200	4.57	98	6.77	114.643	8.06	117.117
8	4	200	4.57	54.996	6.77	71.6389	8.06	74.1129
9	4	200	4.57	71.134	6.77	87.7769	8.06	90.2509
10	4	200	4.57	196.506	6.77	213.149	8.06	215.623
11	4	200	4.57	61.64	6.77	78.2829	8.06	80.7569
12	4	200	4.57	142.776	6.77	159.419	8.06	161.893
13	4	200	4.57	57.7	6.77	74.3429	8.06	76.8169
14	4	200	4.57	62.178	6.77	78.8209	8.06	81.2949

15	4	200	4.57	89.044	6.77	105.687	8.06	108.161
16	4	200	4.57	65.76	6.77	82.4029	8.06	84.8769
17	4	200	4.57	54.118	6.77	70.7609	8.06	73.2349
18	4	200	4.57	124.188	6.77	140.831	8.06	143.305

Contoh Perhitungan K=1 dengan persamaan 1 dan 2

$t1 = \text{Waktu yang dibutuhkan pada mesin 1 Job 1}$

$$t1 = 4$$

$t8 = \text{Waktu yang dibutuhkan pada mesin 8 Job 1}$

$$t8 = 200$$

TABEL VI. PENENTUAN URUTAN CDS K=5 – K=7

Job	K=5		K=6		K=7	
	$t1,t2,t3,t4,t5$	$t8,t7,t6,t5,t4$	$t1,t2,t3,t4,t5,t6$	$t8,t7,t6,t5,t4,t3$	$t1,t2,t3,t4,t5,t6,t7$	$t8,t7,t6,t5,t4,t3,t2$
1	20.43	430.806857	136.93	431.2468571	395.360857	431.3608571
2	20.43	83.3448571	136.93	83.78485714	47.8988571	83.89885714
3	20.43	90.5088571	136.93	90.94885714	55.0628571	91.06285714
4	20.43	81.5528571	136.93	81.99285714	46.1068571	82.10685714
5	20.43	74.3888571	136.93	74.82885714	38.9428571	74.94285714
6	20.43	251.702857	136.93	252.1428571	216.256857	252.2568571
7	20.43	117.374857	136.93	117.8148571	81.9288571	117.9288571
8	20.43	74.3708571	136.93	74.81085714	38.9248571	74.92485714
9	20.43	90.5088571	136.93	90.94885714	55.0628571	91.06285714
10	20.43	215.880857	136.93	216.3208571	180.434857	216.4348571
11	20.43	81.0148571	136.93	81.45485714	45.5688571	81.56885714
12	20.43	162.150857	136.93	162.5908571	126.704857	162.7048571
13	20.43	77.0748571	136.93	77.51485714	41.6288571	77.62885714
14	20.43	81.5528571	136.93	81.99285714	46.1068571	82.10685714
15	20.43	108.418857	136.93	108.8588571	72.9728571	108.9728571
16	20.43	85.1348571	136.93	85.57485714	49.6888571	85.68885714
17	20.43	73.4928571	136.93	73.93285714	38.0468571	74.04685714
18	20.43	143.562857	136.93	144.0028571	108.116857	144.1168571

Contoh Perhitungan K=5 dengan persamaan 1 dan 2

$$t1,2,3,4,5 = 4 + 0.57 + 2.2 + 1.29 + 12.37$$

$$t1,2,3,4,5 = 20.43$$

$$t8,7,6,5,4 = 200 + 211.432 + 116.5 + 12.37 + 1.29$$

$$t8,7,6,5,4 = 430.806857$$

Berikut ini merupakan hasil ringkasan urutan dari K=1 hingga K=7 dan nilai makespan yang dapat dilihat di tabel VI dibawah ini:

TABEL VII. URUTAN JOB

Iterasi	Urutan	Makespan
1	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18	12335.22
2	17-8-5-13-11-4-14-2-16-3-9-15-7-18-12-10-6-1	11215.76
3	5- 17- 8- 13- 16- 11- 4- 14- 3- 9- 15- 7- 12- 18- 6- 1- 10- 2.	2274.67
4	17-2-16-14-4-8-5-13-7-12-15-11-9-3-1-10-6-18	2331.46
5	17-2-16-4-8-5-13-7-12-15-11-9-3-1-6-18	2314.30
6	2- 17- 8- 13- 16- 11- 4- 14- 3- 9- 15- 7- 12- 18- 6- 1- 10- 5.	2331.86.
7	5- 17- 8- 13- 11- 16- 2- 3- 9- 14- 4- 15- 7- 12- 1- 10- 6- 18	2143.3685

Setelah melakukan seluruh iterasi menggunakan algoritma CDS, data nilai makespan dikumpulkan dari keenam iterasi tersebut. Dari hasil pengumpulan data, disusun tabel nilai makespan, dan kemudian dipilih nilai makespan terkecil. Sehingga, waktu total optimal yang diperoleh adalah sebesar 11215.76 jam dengan urutan pengerjaan job 2- 5- 17- 8- 13- 16- 11- 4- 14- 3- 9- 15- 7- 12- 18- 6- 1- 10. Hasil perhitungan manual dan perhitungan menggunakan Microsoft Excel juga menunjukkan nilai makespan minimal sebesar 11215.76.

Hasil penerapan algoritma Campbell-Dudek-Smith (CDS) menunjukkan peningkatan signifikan dalam penentuan urutan pekerjaan yang lebih efisien. Dari beberapa iterasi yang dilakukan, nilai makespan terkecil yang diperoleh adalah 11215,76, dibandingkan dengan nilai awal sebesar 12335,22. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma CDS berhasil menemukan urutan pekerjaan yang lebih optimal, mengurangi total waktu penyelesaian pekerjaan. Urutan pekerjaan optimal yang diperoleh adalah 17-8-5-13-11-4-14-2-16-3-9-15-7-18-12-10-6-1.

Penggunaan urutan ini memungkinkan perusahaan untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi dalam proses produksinya. Konsistensi hasil yang diperoleh dari perhitungan manual dan menggunakan Microsoft Excel menunjukkan bahwa metode evaluasi yang digunakan dapat diandalkan. Algoritma CDS mampu mengidentifikasi urutan pekerjaan yang lebih optimal melalui pembentukan subset mesin dan penerapan aturan Johnson pada setiap subset, sehingga berbagai kombinasi urutan pekerjaan dapat dievaluasi dan dipilih yang terbaik. Berdasarkan hasil ini untuk menggunakan urutan pekerjaan yang dihasilkan dari iterasi kedua untuk mengurangi makespan dan meningkatkan efisiensi produksi.

E. Penjadwalan Usulan

Berdasarkan usulan yang mengimplementasikan metode Campbell Dudek Smith), urutan penjadwalan pekerjaan adalah sebagai berikut: 17-8-5-13-11-4-14-2-16-3-9-15-7-18-12-10-6-1. Dengan penerapan ini, didapatkan nilai makespan sebesar 11,215.76 jam.

Selain itu, hasil dari implementasi ini juga menunjukkan peningkatan dalam pengelolaan waktu, dengan jumlah job yang terlambat berkurang dari 9 menjadi 5, serta quantity yang terlambat turun dari 249.5 menjadi 116 unit. Hal ini menggambarkan efektivitas metode CDS dalam mengoptimalkan jadwal produksi untuk mengurangi jumlah pekerjaan yang terlambat dan volume produksi yang terhambat secara signifikan. Penjadwalan usulan dapat dilihat pada table dibawah ini.

TABEL VIII. PENJADWALAN USULAN

Job	Cycle Time	Quantity	Processing Time	Complextion Time	Due Date	Lateness	Total Quantity	Job yang Terlambat
2	380	6	456.78	456.78	2500	-2043.22	-	-
5	500	1	412	868.78	4100	-3231.22	-	-
17	500	0.5	407.52	1276.3	120000	-118723.7	-	-
8	400	0.99	411.91	1688.21	6000	-4311.79	-	-
13	500	2.5	425.43	2113.64	9700	-7586.36	-	-
16	500	7	465.73	2579.37	120000	-117420.63	-	-
11	500	4.7	445.13	3024.5	8500	-5475.5	-	-

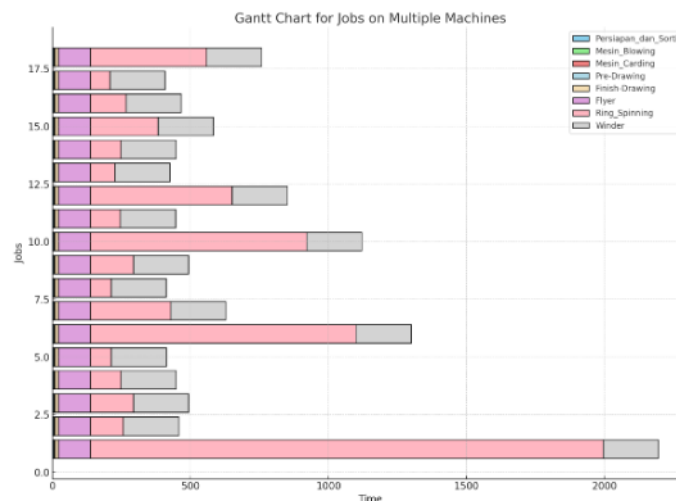
Job	Cycle Time	Quantity	Processing Time	Complexion Time	Due Date	Lateness	Total Quantity Job yang Terlambat
4	500	5	447.82	3472.32	3600	-127.68	-
14	500	5	447.82	3920.14	10200	-6279.86	-
3	500	10	492.6	4412.74	3100	1312.74	3
9	500	10	492.6	4905.34	6900	-1994.66	-
15	500	20	582.15	5487.49	10000	-4512.51	-
7	600	25	626.93	6114.42	5800	314.42	5
12	900	50	850.81	6965.23	9300	-2334.77	-
18	700	2	757.87	7723.1	120000	-112276.9	-
6	1000	100	1298.57	9021.67	5200	3821.67	34
1	1920	200	2194.09	11215.76	2160	9055.76	51
10	1000	80	1119.46	12335.22	7800	4535.22	23
Makespan							11215.76
Jumlah Job yang terlambat							5
Total Quantity yang terlambat							116

Penjadwalan usulan berdasarkan metode Campbell-Dudek-Smith (CDS) menghasilkan urutan pekerjaan yang optimal 17-8-5-13-11-4-14-2-16-3-9-15-7-18-12-10-6-1. Dengan penerapan ini, nilai makespan berhasil dikurangi dari 12335,22 jam menjadi 11215,76 jam, mencerminkan peningkatan efisiensi yang signifikan dalam penyelesaian pekerjaan. Selain itu, jumlah pekerjaan yang terlambat berkurang dari 9 menjadi 5, dan total quantity pekerjaan yang terlambat turun dari 249,5 unit menjadi 116 unit. Penurunan jumlah pekerjaan terlambat sebesar 44,4% dan penurunan quantity terlambat sebesar 53,5% menunjukkan bahwa metode CDS efektif dalam mengelola waktu dan mengurangi keterlambatan.

Dalam analisis rinci, terlihat bahwa beberapa pekerjaan masih mengalami keterlambatan, seperti Pekerjaan 3, 7, 6, 1, dan 10. Meskipun demikian, karena prioritas mereka dalam urutan penjadwalan, pekerjaan dengan tenggat waktu yang lebih kritis berhasil diselesaikan tepat waktu atau lebih awal. Pekerjaan 3 dan 7 mengalami keterlambatan masing-masing sebesar 1312,74 jam dan 314,42 jam, sementara Pekerjaan 6, 1, dan 10 menunjukkan lateness yang lebih signifikan. Namun, pekerjaan seperti Pekerjaan 2, 5, 17, 8, 13, 16, 11, 4, 14, dan 9 berhasil diselesaikan sebelum tenggat waktu, yang menunjukkan efektivitas metode CDS dalam mengurangi tekanan pada pekerjaan dengan tenggat waktu ketat.

Penurunan makespan sebesar 1119,46 jam dari kondisi awal menunjukkan bahwa metode CDS lebih efektif dalam memanfaatkan waktu dan sumber daya untuk menyelesaikan pekerjaan secara lebih efisien. Dengan berkurangnya jumlah pekerjaan yang terlambat dan total quantity yang terlambat, metode CDS menunjukkan peningkatan signifikan dalam pengelolaan produksi. Pengurangan ini membantu perusahaan dalam memenuhi tenggat waktu yang lebih ketat dan meningkatkan kepuasan pelanggan.

Berdasarkan hasil ini, perusahaan disarankan untuk terus menggunakan metode CDS dalam penjadwalan produksinya, terutama dalam situasi dengan banyak pekerjaan yang memiliki tenggat waktu ketat. Evaluasi berkala terhadap urutan penjadwalan dan penyesuaian berdasarkan kondisi aktual akan membantu perusahaan mengatasi perubahan dinamika produksi dan permintaan pasar. Mengembangkan sistem penjadwalan adaptif yang berbasis algoritma seperti CDS juga akan memberikan fleksibilitas lebih dalam menanggapi perubahan permintaan dan ketersediaan sumber daya



Gambar. 2 Gantt Chart

F. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil kerja praktek ini adalah sebagai berikut

1. Penerapan algoritma CDS menunjukkan peningkatan signifikan dalam menentukan urutan pekerjaan yang lebih efisien. Dari beberapa iterasi yang dilakukan, nilai makespan terkecil yang diperoleh adalah 11.215,76, dibandingkan dengan nilai awal sebesar 12.335,22. Penurunan ini menunjukkan bahwa algoritma CDS berhasil menemukan urutan pekerjaan yang lebih optimal, sehingga mengurangi total waktu penyelesaian pekerjaan. Urutan pekerjaan optimal yang diperoleh adalah 17-8-5-13-11-4-14-2-16-3-9-15-7-18-12-10-6-1.
2. Perbandingan antara kondisi awal dan usulan penjadwalan menunjukkan bahwa metode CDS mampu mengurangi makespan dari 12.335,22 jam menjadi 11.215,76 jam. Selain itu, jumlah pekerjaan yang terlambat berhasil dikurangi dari 9 menjadi 5, dengan total quantity pekerjaan yang terlambat menurun dari 249,5 unit menjadi 116 unit. Hal ini membuktikan efektivitas metode CDS dalam meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi keterlambatan, dan mendukung pencapaian target waktu produksi yang lebih baik.
3. Hasil penelitian ini memiliki implikasi praktis yang signifikan bagi PT. X, khususnya dalam mengoptimalkan proses produksi dan meningkatkan daya saing perusahaan. Dengan penerapan metode CDS, PT. X dapat meminimalkan waktu idle pada mesin, mengurangi biaya operasional akibat keterlambatan, serta meningkatkan tingkat kepuasan pelanggan melalui penyelesaian pesanan tepat waktu.
4. Keberhasilan metode CDS di PT. X menunjukkan potensinya untuk diadopsi di sektor manufaktur lainnya, terutama pada industri yang menghadapi tantangan dalam penjadwalan produksi dengan urutan pekerjaan kompleks. Metode ini relevan untuk berbagai sektor, seperti otomotif, tekstil, dan elektronik, di mana efisiensi produksi dan pengurangan waktu siklus menjadi prioritas utama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Jumadi. (2021) "Comparison Between Genetic Algorithm with Differential Evolution in Study Scheduling," IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., vol. 1098, no. 3, hlm. 032082, Mar 2021.
- [2] E. Patricia dan H. Suryono. (2017) "Analisis Penjadwalan Kegiatan Produksi Pada PT. Muliaglass Float Division Dengan Metode Forward Dan Backward," vol. 43, no. 1, hal. 71–79.
- [3] M. D. Arini, and S. P. Hadi. (2021). "Pengaruh Motivasi, Budaya Organisasi, Dan Lingkungan Kerja Terhadap Kinerja Karyawan Pada Pt. Dan X Sukohardjo (Studi Pada Karyawan Divisi Weaving)," Jurnal Ilmu Administrasi Bisnis, vol. 10, no. 1, pp. 736-741, Apr. 2021.
- [4] Prasetyaningsih, E., Deferinanda, C., & Amaranti, R. (2019). Bottleneck Reduction at The Shoes Production Line using Theory of Constraints Approach. 2019 International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC), 170-175.
- [5] Anggara, T., Pratikto, P., & Sonief, A. (2020). Penjadwalan Perawatan dengan Metode Campbell Dudel Smith (CDS) untuk Meningkatkan Produksi Mesin Recycle Waste Tembakau. Jurnal Rekayasa Mesin.

- [6] Saif, U., Yue, L., & Awadh, M. (2022). Coordinated Planning and Scheduling of Multiple Projects With New Projects Arrival Under Resource Constraint Using Drum Buffer Rope Heuristic. *IEEE Access*, 10, 84244-84266.
- [7] Sulistiowati, Martin. 2004. Penerapan TOC Sebagai Alat Bantu Untuk Mengidentifikasi Kendala Dalam Proses Produksi Pada PT. Panca Mas Jaya Prakarsa. Malang: STIE Malang.
- [8] Stopka, O., Zitrický, V., Lupták, V., & Stopková, M. (2023). Application of specific tools of the Theory of Constraints – a case study. *Cognitive Sustainability*.
- [9] Telles, E., Lacerda, D., Morandi, M., Ellwanger, R., Souza, F., & Piran, F. (2022). Drum-Buffer-Rope in an engineering-to-order productive system: a case study in a Brazilian aerospace company. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- [10] Urban, W., & Rogowska, P. (2019). Systematic Literature Review of Theory of Constraints. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*.
- [11] Yovinda, A. (2022). Optimasi Penjadwalan Produksi Sanjai Rina Menggunakan Algoritma Campbell Dudek Smith. *Journal of Mathematics UNP*.
- [12] Antari, N., Harini, L., & Tastrawati, N. (2021). Analisis Penjadwalan Produksi Menggunakan Metode Campbell Dudek Smith Dan Dannenbring Dalam Meminimumkan Total Waktu Produksi Beras. *E-Jurnal Matematika*.
- [13] F., Sayuti, M., & T, A. (2020). Optimasi Penjadwalan Produksi Menggunakan Metode Campbell Dudek Smith (DI PT. XYZ). *Industry Xplore*.
- [14] Ervil, Riko, and Dela Nurmayuni. "Penjadwalan Produksi Dengan Metode Campbell Dudek Smith (Cds) Untuk Meminimumkan Total Waktu Produksi (Makespan)." *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 18, no. 2, 2018, pp. 97-101.
- [15] Gupta, J., Majumder, A., & Laha, D. (2019). Flowshop scheduling with artificial neural networks. *Journal of the Operational Research Society*, 71, 1619 - 1637.
- [16] GopalakrishnaH, D., & Vasisht, A. (2019). IoT Enabled Production Scheduling. 8, 16-23.
- [17] Janosz, M. (2023). The Theory of Constraints as a Method of Results Optimization in Complex Organization. *Archives of Foundry Engineering*.
- [18] Kristiana, Leo Rama., Sunarni, T., 2018, Aplikasi Pendekatan Theory of Constraints pada Maksimasi Throughput Produksi PT XYZ, *Jurnal Media Teknik dan Sistem Industri* Vol. 2 (no. 2) hal 11 – 19.
- [19] Li, Y., Goga, K., Tadei, R., & Terzo, O. (2020). Production Scheduling in Industry 1.0, 355-364.
- [20] Mashuri, C., Mujianto, A., Sucipto, H., & Arsam, R. (2020). Penerapan Algoritma Campbell Dudek Smith (CDS) untuk Optimasi Waktu Produksi Pada Penjadwalan Produksi. *Jurnal Sistem Informasi Bisnis*.