

PERENCANAAN PENJADWALAN *FLOW SHOP* DENGAN METODE *DRUM BUFFER ROPE* DAN CAMPBELL, DUDEK, SMITH (CDS) UNTUK MENGURANGI KETERLAMBATAN DAN *WORK IN PROCESS INVENTORY* DI PT AKS

PLANNING FLOW SHOP SCHEDULING BY DRUM BUFFER ROPE AND CAMPBELL, DUDEK, SMITH (CDS) METHOD TO REDUCE DELAY AND WORK IN PROCESS INVENTORY IN PT AKS

Akma Septia Viady¹, Pratya Poeri Suryadhini, S.T, M.T², Meldi Rendra, S.T, M.Eng³

^{1, 2, 3}Program S1 Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

¹akmaseptia@gmail.com, ²pratya@telkomuniversity.ac.id, ³meldirendra@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

PT. AKS merupakan perusahaan yang bergerak di bidang tekstil, hasil kain yang diproduksi perusahaan salah satunya kain-kain berbahan polyester. Keterlambatan pemenuhan pesanan menjadi permasalahan perusahaan. Salah satu penyebab keterlambatan adalah tidak lancarnya aliran produksi akibat *bottleneck* pada mesin Belah yang disebabkan jumlah job yang masuk melebihi kemampuan mesin dalam memproses kain ditambah dengan jumlah *unit load* yang harus dikerjakan dari satu stasiun kerja ke stasiun kerja berikutnya mengakibatkan lamanya *manufacturing lead time* penyelesaian pesanan. Penjadwalan kain dengan metode *drum buffer rope* diterapkan pada permasalahan tersebut yaitu menjadikan stasiun kerja kendala sebagai *drum* yang menjadi titik pengendali sistem keseluruhan. Penerapan sistematika *rope (backward scheduling)* pada operasi sebelum mesin Belah dengan *buffer time* dapat meminimasi *queue time* dan mengontrol penumpukan WIP. Hasil dari urutan pekerjaan yang dibantu dengan algoritma Campbell, Dudek, dan Smith (CDS) serta penerapan *forward scheduling* pada operasi setelah mesin Belah dengan perhitungan *unit load 3* dapat meminimasi *idle* dan *manufacturing lead time* pada aktivitas produksi. Hasil dari penjadwalan usulan menghasilkan rata-rata *manufacturing lead time* sebesar 390,31 menit, turun sebanyak 61,88% dari kondisi aktual yang sebesar 1024,04 menit, lalu *queue time* dihasilkan sebesar 76,41 menit turun sebanyak 82,45% dari kondisi aktual sebesar 435,55 menit, dan terakhir keterlambatan order menjadi sebanyak 162 rol turun sebesar 35,71% dari kondisi aktual yang sebanyak 252 rol kain terlambat.

Kata Kunci: *Drum buffer rope, algoritma CDS, unit load, manufacturing lead time, queue time.*

Abstract

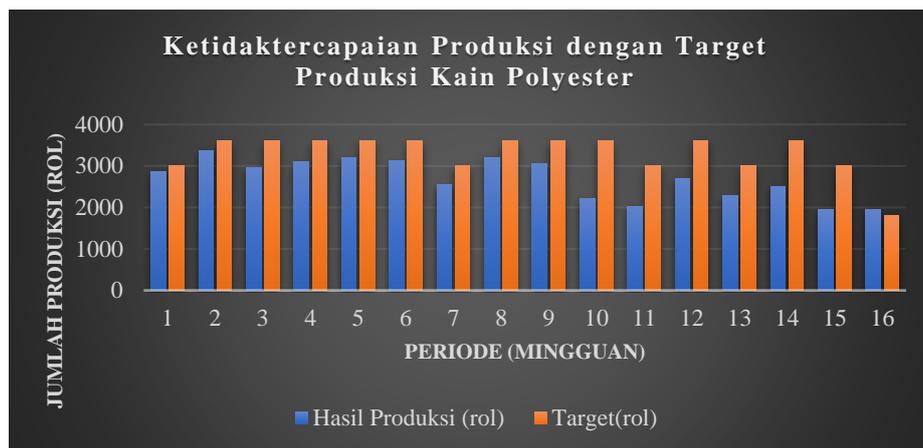
PT. AKS is a company engaged in textile, the fabric produced by the company one of which is a polyester. Lateness in completion order becomes a company issue. One of the causes of production delay is a fluency production disturbed cause a bottleneck in the Belah machine due to incoming jobs amount exceeding the ability of the machine to produce cloth added with the number of unit loads that must be worked from one work station to another work station resulting in length of manufacturing lead time to completion order. The scheduling with drum buffer rope method is applied to this problem. The constraint work station be created the drum that becomes the controlling point of the whole system. Implementation of rope (backward scheduling) before Belah operation with buffer time can reduced queue time and controls WIP buildup. The result of sequencing job by Campbell, Dudek, and Smith (CDS) algorithms and also implementation of forward scheduling on operation after Belah Machine with unit load 3 calcalations can reduced idle and manufacturing lead time in production activity. Based on the calculation of the proposed condition, the average manufacturing lead time was 390,31 minutes, go down 61.88% from the actual condition 1024,04 minutes. Then, the queue time generated 76.41 minutes decreased 82.45% from actual amount 435.55 minutes, and the last, level lateness order to be 162 rolls decreased by 35.71% from actual conditions as much as 252 rolls lateness.

Keywords: *Drum buffer rope, algoritma CDS, unit load, manufacturing lead time, queue time.*

1. Pendahuluan

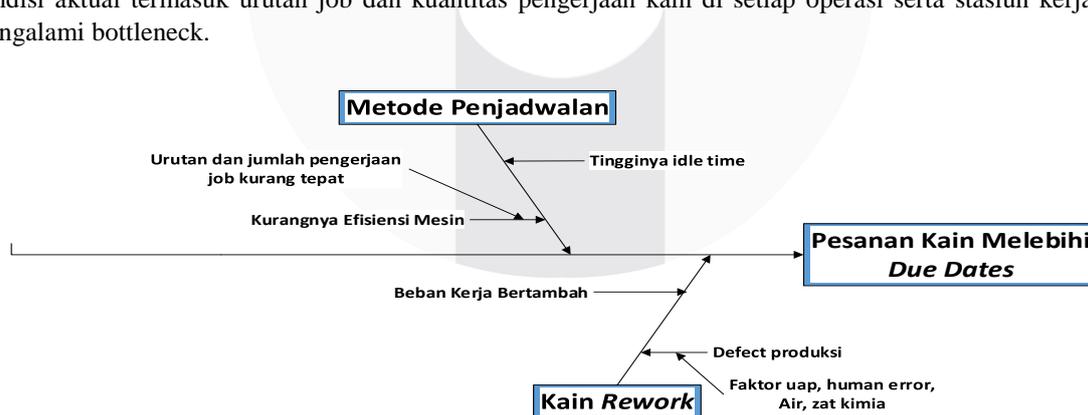
PT. AKS merupakan perusahaan yang bergerak di bidang bisnis tekstil. Produk yang dihasilkan perusahaan berupa kain setengah jadi serta kulit yang menjadi bahan baku untuk produk pakaian dan sepatu yang diproduksi

perusahaan lain. Dalam memenuhi permintaan konsumennya, perusahaan menerapkan sistem *make to order*, pesanan yang diterima dan sering diproduksi perusahaan berupa dua jenis kain yaitu polyester dan katun. Pesanan kain-kain tersebut di produksi oleh divisi-divisi berbeda di perusahaan untuk dasarnya, kemudian pesanan tersebut bermuara di satu divisi yaitu divisi Dyeing dan Finishing. Selama 4 bulan terakhir permintaan kain polyester menjadi tinggi, sehingga perusahaan menetapkan target perhari sebanyak 15 ton / 600 roll untuk kain polyester, 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. Pada Gambar 1 menunjukkan selama 4 bulan terakhir / 16 periode (mingguan) yaitu dari Januari hingga April 2018 perusahaan tidak dapat mencapai target produksinya di hampir keseluruhan periode terakhir, sehingga penelitian ini di fokuskan pada alur proses produksi kain polyester.



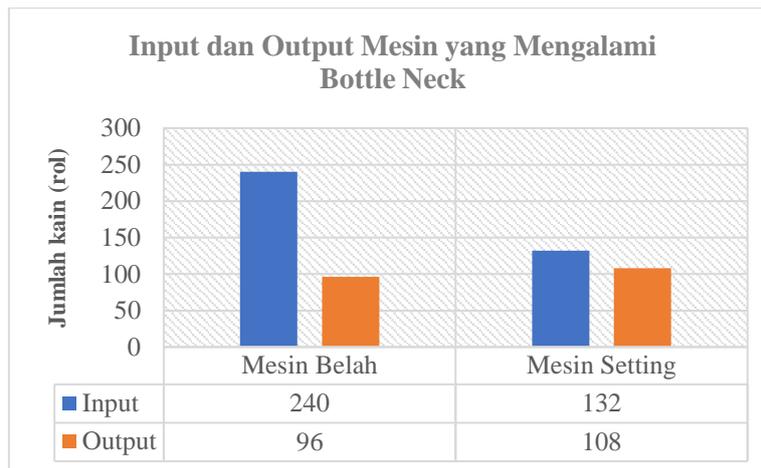
Gambar 1 Ketidaktercapaian Produksi dengan Target Produksi Kain Polyester (PT AKS, 2018)

Berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara dilapangan, ketidaktercapaian produksi yang mengakibatkan pengiriman permintaan melebihi *due dates* yang dijanjikan dipengaruhi banyak faktor, seperti pada Gambar 2. Faktor lingkungan dan manusia menyebabkan terjadinya defect pada produk sehingga harus di rework, sedangkan faktor metode dalam hal ini penjadwalan terhadap pekerjaan dan mesin-mesin yang kurang tepat menyebabkan tingginya *idle time* serta *bottleneck* pada stasiun kerja yang berujung pada penumpukan-penumpukan barang setengah jadi atau *work in process (WIP) inventory*. Pada penelitian yang lain dilakukan usulan terhadap kain *rework* serta *defect*, sehingga pada penelitian ini berfokus pada permasalahan penjadwalan kondisi aktual termasuk urutan job dan kuantitas pengerjaan kain di setiap operasi serta stasiun kerja yang mengalami *bottleneck*.



Gambar 2 Diagram fishbone sebab akibat pesanan kain melebihi *due dates*

Di divisi Dyeing dan Finishing, stasiun kerja yang sering dan banyak mengalami penumpukan WIP berada di stasiun kerja mesin belah dan setting. Kapasitas input produk ke mesin belah selama 4 jam adalah sebanyak 6000 kg kain atau sebanyak 237 roll, sedangkan kapasitas output dari mesin belah selama 4 jam sebanyak 2400 kg atau sebanyak 96 roll. Pada mesin Setting, jumlah input kain sebanyak 3300 kg kain selama 4 jam atau sebanyak 132 roll sedangkan output dari mesin setting sebanyak 2700 kg selama 4 jam atau sebanyak 108 roll, secara mendetail jumlah output dan input dari mesin yang mengalami *bottleneck* seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Input dan Output Mesin yang Mengalami *Bottleneck*

Pada kondisi aktual pekerjaan tidak memiliki urutan pengerjaan yang harus didahulukan (prioritas) untuk dikerjakan sehingga pengerjaan dilakukan secara acak terhadap kain ketika kain setengah jadi berada di lantai produksi. Hal tersebut berdampak pada keterlambatan untuk menghasilkan kain akibat adanya bottleneck, keterlambatan pada penyelesaian pesanan di salah satu stasiun kerja berdampak pada penyelesaian pesanan di stasiun kerja lainnya. Disisi lain, pengerjaan kain di setiap operasi yang terlalu banyak menyebabkan idle time yang lama untuk mesin di operasi selanjutnya. Oleh karena itu, dibutuhkan penjadwalan dan pengaturan terhadap stasiun kerja yang terjadi penumpukan WIP untuk mengurangi keterlambatan pemenuhan order dan meminimasi manufacturing lead time.

2. Tinjauan Pustaka dan Metode Penelitian

2.1 *Optimezed Production Technology (OPT)*

Optimezed Production Technology (OPT) dalam perencanaan pengendalian produksi merupakan teknik pendekatan untuk membantu penjadwalan produksi agar lebih optimal dengan mempertimbangkan bottleneck. OPT bertujuan untuk meningkatkan troughput secara simultan dengan mengurangi inventori dan biaya operasi, perluasan konsep OPT menekankan pada optimasi pemanfaatan stasiun constraints dan biasa dikenal dengan Theory of Constraint [1].

2.2 *Theory of Constraint (TOC)*

Theory of Constraint merupakan metode untuk melakukan perbaikan pada sistem yang memiliki kendala. Metode TOC menekankan identifikasi dan pengelolaan terhadap constraint (kendala) yang dimiliki sistem. Pendekatan TOC dilakukan untuk menerima keberadaan pabrik tidak seimbang yang memiliki beberapa sumber daya dengan kemampuan output relative kurang dari yang lain [2]. Goldratt mengembangkan lima langkah dalam TOC sebagai upaya perbaikan sistem secara berkelanjutan, yaitu [1]:

1. Identifikasi kendala (constraint) pada sistem.
2. Eksploitasi kendala, tujuan dari langkah ini untuk mengelola dan menghilangkan kendala dengan biaya minimum.
3. Subordinasikan semua sumber lain ke sumber kendala, langkah ini merupakan pendukung langkah kedua dengan langkah awal mengefektifkan stasiun kerja kendala dan membuat stasiun kerja non kendala (non constraint) mengikuti stasiun kerja kendala (constraint).
4. Evaluasi kendala. Langkah ini dilakukan ketika langkah awal hingga ke tiga belum berhasil menangani kendala yang ada, langkah yang dapat dilakukan pada tahap ini adalah melakukan perubahan besar pada sistem, seperti reorganisasi atau modifikasi substansi sistem.
5. Mengulangi proses keseluruhan. Langkah ini bertujuan melakukan perbaikan secara terus menerus terhadap keseluruhan sistem, ketika langkah-langkah perbaikan berhasil mengatasi kendala, maka akan kembali ke langkah awal dan menjadikannya suatu siklus perbaikan dikarenakan suatu solusi memiliki kemungkinan untuk menimbulkan kendala baru, dan langkah ini menjadi kewaspadaan terhadap hal tersebut.

2.3 Drum Buffer Rope Scheduling (DBR)

Drum buffer rope adalah teknik production control yang mengimplementasikan tahapan dari TOC yaitu exploiting, subordinating, dan elevating [3]. *Drum buffer rope scheduling* memiliki nama lain *bottleneck scheduling*, teknik ini membuat stasiun kerja yang mengalami kendala berupa bottleneck menjadi titik pengendali untuk sistem keseluruhan. *Buffer* dihubungkan dengan bagian *order release* pada bagian awal lini produksi melalui mekanisme arus balik yang dinamakan *rope*. Dispatching point akan menurunkan material secukupnya sehingga inventori di lantai produksi bisa dikendalikan. Metode *drum buffer rope* memiliki langkah-langkah dalam penerapannya yaitu:

1. Melakukan penjadwalan pada *bottleneck resource*
2. Melakukan *backward scheduling* dari stasiun kerja *bottleneck resource* ke operasi pertama atau bagian *order release*
3. Melakukan *forward scheduling* dari *bottleneck resource* ke operasi akhir
4. Menentukan *buffer time* pada stasiun kerja kendala (*bottleneck*)

2.4 Algoritma Campbell, Dudek dan Smith (CDS)

Algoritma CDS adalah metode penjadwalan untuk mendapatkan urutan job optimal dari n job untuk m mesin. Penjadwalan ini menggunakan algoritma Johnson dengan cara heuristic dan membuat beberapa alternatif urutan job yang merupakan iterasi dari hasil perhitungan yang dapat dipilih untuk menjadi penjadwalan yang paling optimal. Pada tahap 1, $a_j = P_{1j}$ dan $b_j = P_{2j}$, yang bermaksud waktu proses pada mesin pertama dan waktu proses pada mesin terakhir menjadi masalah alternatif pertama. Pada tahap 2, $a_j = P_{1j} + p_{2j}$ dan $b_j = P_{m-1,j} + p_{mj}$, yang berarti pada tahap ini 2 waktu proses pertama dan 2 waktu proses terakhir diintegrasikan terhadap masing-masing job menjadi alternatif ke dua [4]. $a_j = \sum_{k=1}^i P_{kj}$ dan $b_j = \sum_{k=m-i+1}^m P_{kj}$ Pada masing-masing iterasi, urutan job atau alternatif usulan dipilih menggunakan algoritma Johnson, jumlah iterasi didapatkan dari $(m-1)$, dimana m adalah jumlah mesin yang digunakan.

2.5 Algoritma Johnson

Algoritma Johnson adalah algoritma yang digunakan untuk meminimasi makespan dari maksimal 2 mesin pada model *flowshop*. Penjadwalan Johnson diformulasikan ketika job j diidentifikasi memiliki waktu proses P_{1j} , diperlukan di mesin 1 dan P_{2j} diperlukan pada mesin 2 setelah operasi pada mesin 1 selesai [4]. Teorema Johnson, jika Job i mendahului job j pada urutan optimal jika $\{a_i, b_j\} \leq \min\{a_j, b_i\}$. Penerapan algoritma Johnson yaitu [4]:

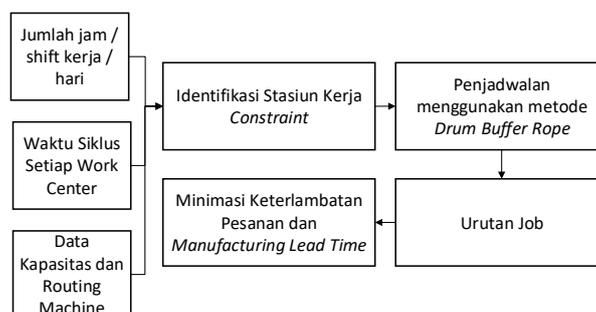
1. Mencari waktu proses minimum dari job yang belum dijadwalkan
2. Jika waktu proses job minimum berada di mesin satu maka tempatkan job pada urutan pertama sedangkan jika waktu proses job minimum berada di mesin dua maka tempatkan job tersebut di urutan terakhir.
3. Hilangkan job yang telah dijadwalkan dari pertimbangan pemilihan dan kembali ke langkah a hingga mendapatkan urutan dari semua job

2.6 Unit Load

Unit load adalah bagaimana memindahkan sejumlah entitas dalam sekali perpindahan. Besarnya beban yang dibawa mempengaruhi biaya yang dibutuhkan dalam sekali perpindahan, semakin besar beban yang dibawa maka semakin kecil biaya yang dibutuhkan. Unit Load menjelaskan bahwa material sebaiknya ditangani dengan segala sesuatu yang paling efisien. [5]

3. Metodologi Penelitian

Berikut merupakan model konseptual penelitian:



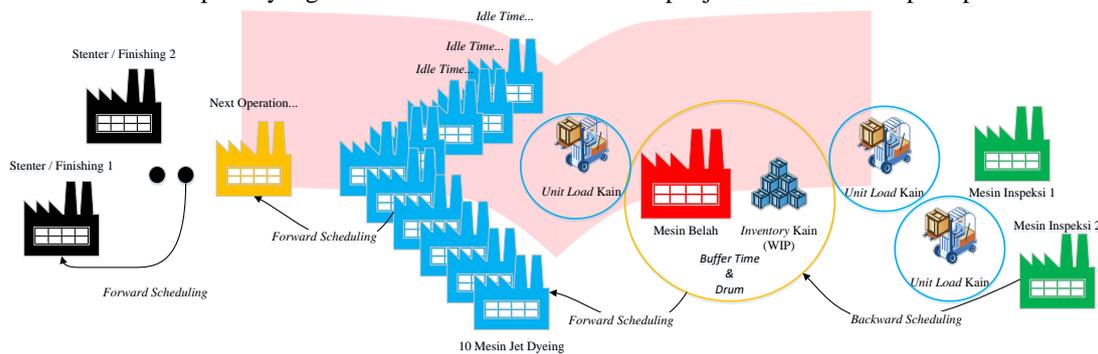
Gambar 4. Model Konseptual

Pada model konseptual, dapat diketahui bahwa data masukan yang akan digunakan berupa data jumlah jam/shift/hari yang dimiliki perusahaan, waktu siklus setiap stasiun kerja, dan data kapasitas serta routing dari mesin. Semua data tersebut merupakan informasi yang akan digunakan untuk mengetahui keadaan proses produksi. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap stasiun kerja mana yang memiliki kendala sehingga berpengaruh ke stasiun kerja lainnya. Kemudian melakukan proses penjadwalan terhadap keseluruhan proses di divisi dyeing dan finishing, dengan mempertimbangkan stasiun kerja yang mengalami kendala sebagai titik pengendali dan aktivitas yang dilakukan disesuaikan dengan permasalahan yang terjadi dilantai produksi berdasarkan estimasi waktu penyelesaian hingga kain selesai di proses sehingga dapat meminimasi setiap keterlambatan pemesanan dan manufacturing lead time yang diakibatkan permasalahan yang terjadi.

4. Pembahasan (Kondisi Usulan)

4.1 Identifikasi Stasiun Kerja yang dijadikan Drum

Drum adalah sumber daya yang memproses job yang merupakan *constraint* karena menjadi penyebab tidak tercapainya tujuan. Permasalahan pada mesin belah yaitu *bottleneck* karena *output* yang dapat dihasilkan mesin belah lebih kecil dari inputan yang masuk di mesin belah. Ilustrasi penjadwalan usulan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Ilustrasi Penjadwalan Usulan

4.2 Menghitung Total Time

Total time yang dimaksud merupakan waktu total setiap operasi yang dilalui job termasuk waktu proses (PT) dan waktu setup (ST) tanpa waktu perpindahan (MT). Adapun perhitungan untuk mendapatkan waktu total adalah:

$$\text{Total Time}_i = \text{PT}_i + \text{ST}_i \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

PT=Waktu Proses ST=Setup Time I = Operasi ke-

4.3 Mengurutkan operasi Belah dengan Rule EDD, SPT dan Random

Keterlambatan order ditetapkan ketika kain yang ada dilantai produksi pada hari itu tidak selesai pada hari itu juga, sehingga keterlambatan diidentifikasi ketika target produksi perhari tidak tercapai atau kain selesai melebihi jam produktif hari tersebut. Dengan demikian, *lastest finish* setiap kain sama sehingga dilanjutkan pada aturan berikutnya yaitu SPT dan Random, pada aturan SPT jenis kain diurutkan berdasarkan *total time* terkecil, akan tetapi pada proses belah atau di stasiun kerja *constraint*, *total time* setiap jenis kain sama sehingga aturan pengurutan job dilakukan dengan *random*. Hasil dari penjadwalan dengan aturan random dapat dilihat pada Table 1.

Tabel 1 Daftar Kain Hasil Pengurutan dengan Rule EDD, SPT, dan *Random* (Sample job)

Kode Job	Earliest Start setiap job		Processing Time Belah (menit)	Urutan Job
	ES	LF		
J01	0	1440	29,71	1
J02	0	1440	29,71	2
J03	0	1440	29,71	3
J04	0	1440	29,71	4
J05	0	1440	29,71	5
J06	0	1440	29,71	6
J07	0	1440	29,71	7
J08	0	1440	29,71	8
J09	0	1440	29,71	9

4.4 Mengurutkan Job dengan metode Campbell, Dudek, dan Smith

Pada pengurutan job dengan aturan random membuat urutan job tidak memiliki perbedaan dengan kondisi aktual sehingga tidak merubah apapun pada kondisi usulan dan ketika di acak lagi urutannya dapat membuat urutan job tidak lebih baik dari sebelumnya atau sebaliknya. Akan tetapi, agar mempercepat proses pengurutan job untuk mendapatkan urutan terbaik dilakukan dengan menggunakan aturan Campbell, Dudek dan Smith (CDS). Metode ini dapat menghasilkan kondisi usulan terbaik dari n job m mesin, sebelum dilanjutkan ke tahapan berikutnya dari aturan DBR. Penjadwalan dengan aturan CDS adalah sebagai berikut:

1. Melakukan perhitungan terhadap nilai K yang merupakan jumlah iterasi / hasil alternatif urutan job. Didapatkan nilai $K = m - 6 = 5$. Hasil perhitungan kelima alternatif urutan job seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Perhitungan Alternatif job dengan CDS (*sample job*)

Job	K = 1		K = 2		K = 3		K = 4		K = 5	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
J01	22,03	59,79	51,33	113,02	293,38	129,12	309,48	371,17	362,71	400,47
J02	22,03	59,79	51,33	123,02	308,38	139,12	324,48	396,17	387,71	425,47
J03	22,03	59,79	51,33	133,02	323,38	149,12	339,48	421,17	412,71	450,47
J04	22,03	74,79	51,33	128,02	293,38	144,12	309,48	386,17	362,71	415,47
J05	22,03	74,79	51,33	138,02	308,38	154,12	324,48	411,17	387,71	440,47
J06	22,03	74,79	51,33	148,02	323,38	164,12	339,48	436,17	412,71	465,47
J07	22,03	54,79	51,33	108,02	293,38	124,12	309,48	366,17	362,71	395,47
J08	22,03	54,79	51,33	118,02	308,38	134,12	324,48	391,17	387,71	420,47
J09	22,03	54,79	51,33	128,02	323,38	144,12	339,48	416,17	412,71	445,47

2. Melakukan perhitungan untuk mendapatkan urutan job dengan algoritma johnson, dan setelah mendapat urutan job melakukan simulasi perhitungan terhadap keseluruhan alternatif job yang didapatkan. Waktu terbaik merupakan hasil alternatif dari iterasi 3. Secara mendetail hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Urutan Job Terbaik berdasarkan *Makespan* Terkecil (Keseluruhan Job)

iterasi	Waktu (menit)
1	2121,27
2	2121,27
3	2177,07
4	2118,18
5	2118,18

4.5 Menjadwalkan Operasi di Mesin Belah

Stasiun kerja Belah menjadi titik yang dijadikan pengendali untuk dijadwalkan karena adanya bottleneck. Tahapan penjadwalan di mesin Belah adalah [6]:

- a. Menghitung manufacturing lead time setelah operasi belah pada urutan pertama. MLT operasi setelah belah didapatkan dengan perhitungan sebagai berikut:
 $MLT \text{ setelah Belah} = \sum(ST + PT + MT \text{ operasi setelah } i) \dots \dots \dots (2)$
 Maka MLT setelah mesin belah adalah: $\sum(261,40 + 20,95 + 54,67 + 61,93) + (3,27 + 6,54 + 5,60 + 1,18) = 415,54 \text{ menit}$
- b. Menghitung latest finish pada Mesin Belah dengan cara *backward*. Latest finish urutan pertama dapat diperoleh dengan:
 $LF \text{ Belah Kode job } 1 = LF \text{ stenter} - MLT \text{ setelah Belah} \dots \dots \dots (3)$
 Maka diperoleh LF Belah Kode job J01 = $1440 - 415,54 =$ di menit 1024,46
- c. Menghitung earliest finish di operasi Belah. Earliest finish di mesin belah untuk urutan job pertama didapatkan dengan cara:
 $EF \text{ Belah Kode job } 1 = LF \text{ Belah Kode job } 1 - \text{space time} \dots \dots \dots (4)$
 Maka EF Belah Kode job1 = $1024,46 - 968,83 = 55,63$
- d. Menghitung earliest start di operasi Belah. Selanjutnya untuk mendapatkan earliest start di operasi belah (i) dapat menggunakan persamaan:
 $ES \text{ Belah Kode job } 1 = EF \text{ Belah kode job } 1 - \text{Total Time} \dots \dots \dots (5)$
 Maka ES Belah Kode job 1 = $55,63 - 29,71 = 25,92$.

4.6 Melakukan Subordinasi dengan Stasiun kerja non-Constraint

- a. Melakukan *forward scheduling* untuk operasi setelah stasiun kerja Kendala. ES dan EF pada mesin belah yang telah didapatkan pada perhitungan sebelumnya, digunakan untuk melakukan perhitungan terhadap operasi setelah belah (i) dengan cara:
 $ES \text{ operasi } ke_{i+1} = EF \text{ operasi }_i + Moving \ Time_i \dots\dots\dots(6)$
- b. Melakukan *backward scheduling* untuk operasi sebelum belah ES dan EF yang telah didapatkan pada mesin Belah juga digunakan untuk mendapatkan ES dan EF untuk operasi sebelum mesin belah. Tujuan penjadwalan mundur adalah untuk mendapatkan job yang akan di proses di mesin belah sesuai kebutuhan mesin Belah sehingga dapat mengurangi penumpukan kain di depan stasiun kerja. EF operasi sebelum mesin Belah (i) diperoleh dengan cara:
 $EF \text{ operasi } ke_{i-1} = ES \text{ operasi }_i - Moving \ Time_{i-1} \dots\dots\dots(7)$

4.6 Meningkatkan Performansi di constraint Sistem

- a. Menghitung *buffer time* pada stasiun kerja kendala
 Buffer time pada drum dihitung untuk dijadikan waktu penyangga yang bertujuan melindungi stasiun kerja kendala dari faktor yang dapat mengganggu laju produksi sistem seperti delay pada stasiun kerja bottleneck. Ukuran yang disarankan untuk *buffer time* adalah $\leq 10\%$ dari total lead time kondisi aktual. Akan tetapi cara terbaik dalam menentukan *buffer time* adalah dengan melakukan perhitungan sesuai kebutuhan di lantai produksi [3]. Besarnya *buffer time* yang diterapkan di perusahaan sebesar 5% dikarenakan jumlah tersebut cukup ideal karena pengaruhnya terhadap penambahan lead time tidak terlalu signifikan sehingga masih dapat dikendalikan.
- b. Menghitung *unit load* terbaik
Unit load bertujuan untuk mendapatkan jumlah yang optimal untuk dipindahkan dan diproses dari satu stasiun kerja ke stasiun kerja lainnya. Perhitungan unit load dilakukan dengan *try and error* terhadap jumlah lot roll kain yang nantinya akan dibandingkan berdasarkan waktu akhir tercepat. Pada kondisi aktual perusahaan menggunakan unit load sebesar 12 roll atau kapasitas maksimum MHE. Kondisi tersebut membuat mesin belah (stasiun constraint) harus mengerjakan kain dalam jumlah banyak dan membuat proses selanjutnya harus menunggu job lebih lama. Maka eksploitasi kendala dilakukan dengan mengantarkan kain dan memprosesnya di mesin Belah dalam jumlah 3, 4, atau 6 berdasarkan lot packaging kain dan minimal kapasitas kain di mesin jet dyeing. Perubahan total waktu yang digunakan dalam penjadwalan pada perubahan unit load berdasarkan aktivitas di lantai produksi yang berpengaruh terhadap berubahnya unit load itu sendiri. Unit load terbaik dipilih berdasarkan waktu terkecil, hasil dari perbandingan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Perbandingan *Unit load* berdasarkan *makespan* terkecil (Keseluruhan Job)

<i>Unit Load</i>	Waktu (menit)
12 roll (Kondisi Aktual)	2121,27
6 roll	1920,11
4 roll	1903,47
3 roll	1901,47

4.7 Menghitung Performansi Sistem Kondisi Usulan

- a. Hasil performansi penjadwalan sample pada kondisi usulan di dapatkan dengan mengetahui lamanya waktu job yang dikerjakan dari operasi pertama hingga terakhir. Lama waktu tersebut biasa disebut *manufacturing lead time* (MLT) yang dapat diperoleh dengan cara:
 $MLT \text{ job}_i = EF \text{ operasi akhir Job}_i - ES \text{ operasi awal Job}_i \dots\dots\dots(8)$
- b. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan waktu antrian kain di mesin yang diakibatkan penjadwalan aktual. Menurut Rieswiean (2014) [6] dalam Latifani (2017) [7] waku antrian dapat dihitung dengan cara:
 $Queue \ time \ Mi \ \text{kode Job}_i = ES \ Job_i \ Mi - EF \ Job_i \ Mi_{i-1} - MT \dots\dots\dots(9)$
- c. Langkah berikutnya melakukan perbandingan antara perhitungan *sample-sample* kain yang telah dijadwalkan dengan waktu kerja tersedia perusahaan untuk mendapatkan jumlah kain yang dapat diselesaikan tepat pada waktunya dan kain yang terlambat diselesaikan. Waktu tersedia perusahaan adalah 8 jam kerja / shift sehingga waktu total dalam sehari adalah 1440 menit karena perusahaan menerapkan 3 sift kerja.
- d. Perhitungan terakhir adalah menghitung interval waktu total untuk penyelesaian seluruh job atau biasa disebut *makespan*. Job yang dijadwalkan sebanyak 600 roll sesuai target perusahaan dalam sehari, satu jenis job dari divisi lain sebanyak 12 roll menyatu, sehingga terdapat 50 job yang dijadwalkan pada kondisi aktual, sedangkan jumlahnya akan bertambah sesuai *unit load* pada kondisi usulan. *Makespan* didapatkan dengan melihat waktu akhir ketika seluruh job telah terselesaikan.

5. Hasil dan Analisis

Pada kondisi aktual terdapat banyak penumpukan kain setengah jadi di depan mesin Belah, yang mengidentifikasi tidak seimbangnya antara jumlah yang masuk ke mesin serta yang jumlah yang dapat dihasilkan mesin. Penggunaan metode *drum buffer rope* pada kondisi usulan dengan langkah awal menjadikan stasiun kerja kendala menjadi drum yang berfungsi sebagai titik pengontrol, dapat meningkatkan performansi keseluruhan sistem. Perbandingan hasil antara penjadwalan kondisi aktual dan usulan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Perbandingan Penjadwalan Kondisi Aktual dengan Usulan (Keseluruhan Job)

Performansi	Hasil Penjadwalan Kondisi Aktual	Hasil Penjadwalan Kondisi Usulan
Rata-rata MLT	1024,04 menit	390,31 menit
Rata-rata queue time	435,55 menit	76,41 menit
Jumlah keterlambatan	252 roll kain	162 roll kain
Makespan	2121,27 menit	1901,47 menit

Pada kondisi usulan, peningkatan dilakukan dengan langkah berikutnya mengeksploitasi sistem kendala, yaitu dengan menjadwalkan job kain pada stasiun kerja kendala terlebih dahulu, selanjutnya melakukan *rope* atau *backward scheduling* untuk menentukan waktu yang tepat agar kain sampai ke mesin Belah sesuai kemampuan mesin, dan untuk mengantisipasi keterlambatan yang terjadi pada mesin sebelum Belah maka diterapkan *buffer time* agar kain datang lebih cepat seakan-akan terdapat *buffer stock* di depan mesin Belah dengan jumlah yang dapat diperhitungkan. Terakhir melakukan *forward scheduling* untuk operasi setelah mesin belah yang dilanjutkan peningkatan performansi sistem dengan perhitungan terhadap *unit load* yang berhubungan dengan kuantitas yang dibawa dan diproses dari satu mesin ke mesin yang lain sehingga didapatkan kuantitas terbaik yang dapat meminimasi kendala pada sistem dan memperbaiki sistem secara keseluruhan

6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan, penerapan *backward scheduling* pada operasi sebelum mesin Belah dengan *buffer time* dapat meminimasi waktu antrian dan penumpukan WIP. Hasil dari urutan pekerjaan yang dibantu dengan algoritma Campbell, Dudek, dan Smith serta penerapan *forward scheduling* pada operasi setelah Belah dengan perhitungan *unit load* 3 dapat meminimasi *idle time* dan *manufacturing lead time* pada aktivitas produksi. Hasil dari penjadwalan usulan menghasilkan rata-rata *manufacturing lead time* sebesar 390,31 menit, turun sebanyak 61,88% dari kondisi aktual yang sebesar 1024,04 menit, lalu *queue time* dihasilkan sebesar 76,41 menit turun sebanyak 82,45% dari kondisi aktual sebesar 435,55 menit, dan terakhir keterlambatan order menjadi sebanyak 162 rol turun sebesar 35,71% dari kondisi aktual yang sebanyak 252 rol kain terlambat. Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa penjadwalan dengan metode *drum buffer rope* pada permasalahan PT AKS mengenai keterlambatan kain dan penumpukan WIP di depan stasiun kerja Belah dapat diminimasi.

Daftar Pustaka

- [1] Fogarty, D. W. (1991). *Production & Inventory Management*. Ohio: South Western Publishing
- [2] Bedworth, D., Bailey, James. 1982. *Integrated Production and Planning Control*. Canada: John Wiley and Sons Inc.
- [3] Sipper, D., Bulfin, R. L. 1997. *Production Planning, Control, and Integration*. New York: McGraw-Hill
- [4] Baker, Kenneth R., Trietsch, D. 2009. *Principles of Sequencing and Scheduling*. United States of Amerika: John Wiley and Son
- [5] Tompkins, James A., White, John A., Bozer, Yavuz A., & Tanchoco, J. M .A.. *Facilities Planning Fourth Edition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc. 2010
- [6] Rieswien, Rinda. (2014). *Perancangan Sistem Scheduling Job Menggunakan Drum Buffer Rope Untuk Meminimasi Keterlambatan Order dan Manufacturing Lead Time pada Bagian Machining MPM di PT Dirgantara Indonesia*. Bandung.
- [7] Latifani, Rahma S. (2017). *Usulan Penjadwalan Order Untuk Mengurangi Delay dan Manufacturing Lead Time Menggunakan Metode Drum Buffer Rope Di PTPN VIII, Ciater*. Bandung.