

Usulan Perbaikan Lintasan Produksi untuk Mereduksi *Waste* pada Departemen Kerja Produksi dengan Kombinasi *Lean Manufacturing* dan *Theory of Constraints*

Mangunah Istikomah*, Endang Prasetyaningsih

Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*mangunah.istik@gmail.com, endangpras@gmail.com

Abstract. CV. BJT is an industry that produces fabrics with high value. The problem faced by CV.BJT is the imbalance of production flow that results in unmet production targets, so that the throughput obtained is not maximum. The imbalance of production flow occurs because the allocated capacity is not managed and scheduled properly, which is causing Work in Process (WIP) and waiting waste. Basically, CV.BJT has set the standard of WIP which is 30% of the overall WIP. However, in fact, WIP buildup was found by 33,33% at Stenter workstation. The causative factor is capacity constraints. Therefore, improvement efforts are needed to overcome the problems faced by CV.BJT. This research aims to reduce waste also manage and schedule constraint workstations. Improvement efforts are made by implementing a combination of Lean Manufacturing and Theory of Constraints. The improvements can reduce waiting time from 406,51 to 182,65 minutes /batch. This is due to the implementation of conWIP system that makes WIP decreased by 31,25% from the initial condition. While the constraints workstation is managed and scheduled by Drum Buffer Rope method, so that the capacity of future conditions can meet production targets. When the production target is met, the throughput increases from Rp 9.255.067.125 to Rp 10.297.640.532. The impact of improvement efforts can reduce production lead time from 2.229,48 to 2.005,62 minutes /batch.

Keywords: *Lean Manufacturing, Theory of Constraints (TOC), Drum Buffer Rope (DBR), ConWIP.*

Abstrak. CV. BJT merupakan industri yang menghasilkan kain dengan *value* tinggi. Permasalahan yang dihadapi oleh CV.BJT yaitu ketidakseimbangan aliran produksi yang mengakibatkan target produksi tidak terpenuhi, sehingga *throughput* yang diperoleh tidak maksimum. Ketidakseimbangan aliran produksi terjadi karena kapasitas yang dialokasikan tidak dikelola dan dijadwalkan dengan baik, sehingga menimbulkan *Work in Process (WIP)* dan *waiting waste*. Pada dasarnya, CV.BJT sudah menetapkan standar adanya WIP yakni sebesar 30% dari WIP keseluruhan. Namun, kenyataannya masih ditemukan penumpukan WIP sebesar 33,33% di stasiun kerja *Stenter*. Faktor penyebabnya yaitu *capacity constraints*. Oleh karena itu, perlu adanya upaya perbaikan untuk mengatasi permasalahan yang dihadapi oleh CV.BJT. Penelitian ini bertujuan untuk mereduksi *waste* dan mengelola serta menjadwalkan stasiun kerja *constraints*. Upaya perbaikan dilakukan dengan menerapkan kombinasi *Lean Manufacturing* dan *Theory of Constraints*. Perbaikan tersebut dapat mereduksi waktu tunggu dari 406,51 menjadi 182,65 menit/*batch*. Hal tersebut karena adanya pemberlakuan sistem ConWIP yang membuat WIP menurun sebesar 31,25% dari kondisi awal. Sementara stasiun kerja *constraints* dikelola dan dijadwalkan dengan metode *Drum Buffer Rope*, sehingga kapasitas kondisi *future* dapat memenuhi target produksi. Ketika target produksi terpenuhi, maka *throughput* meningkat dari Rp. 9.255.067.125 menjadi Rp. 10.297.640.532. Dampak dari upaya perbaikan dapat mereduksi *production lead time* dari 2.229,48 menjadi 2.005,62 menit/*batch*.

Kata kunci: *Lean Manufacturing, Theory of Constraints (TOC), Drum Buffer Rope (DBR), ConWIP.*

A. Pendahuluan

CV. BJT merupakan industri yang menghasilkan kain celup dan kain *printing*. *Strategy manufacturing* yang diterapkan dalam menanggapi permintaan konsumen yaitu *hybrid* antara *Make to Order* (MTO) dan *Make to Stock* (MTS). Kain celup dengan warna dasar seperti merah, hitam, biru, dan putih merupakan kain yang dihasilkan untuk *strategy* MTS, sedangkan kain yang dihasilkan pada *strategy* MTO yaitu seluruh jenis kain yang menyesuaikan dengan pesanan konsumen.

Kegiatan produksi di CV. BJT disesuaikan dengan target yang sebelumnya telah direncanakan. Target produksi disusun berdasarkan 20% untuk memenuhi kebutuhan MTS dan 80% untuk kebutuhan MTO. Salah satu aspek yang dipertimbangkan dalam merencanakan target produksi yaitu kapasitas yang tersedia pada sistem. Walaupun demikian, pada nyatanya CV. BJT selalu mengalami kekurangan dalam pemenuhan target produksi. Berdasarkan hasil studi dokumen dengan bagian PPIC, diketahui bahwa rata-rata kekurangan produksi pada tahun 2019 yakni sebesar 323.333 yard/bulan. Salah satu faktor penyebabnya yaitu ketidakseimbangan aliran produksi. Hal tersebut terjadi karena kapasitas yang dialokasikan tidak dijadwalkan serta dikelola dengan baik dan benar, sehingga menimbulkan penumpukan *Work in Process* (WIP) dan kegiatan *waiting* di beberapa stasiun kerja. Menurut Chiarini (2013) penumpukan WIP dan kegiatan *waiting* merupakan bagian dari jenis pemborosan (*waste*).

Dalam menjalankan kegiatan produksi, CV. BJT sudah menetapkan standar atau batas wajar adanya WIP pada setiap mesin yaitu sebesar 30% dari WIP keseluruhan. Namun, kenyataannya masih ditemukan penumpukan WIP yang melebihi standar yaitu pada stasiun kerja *Stenter* sebesar 33,33%, sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 1**. Salah satu penyebabnya yaitu *capacity constraints*.

Tabel 1. *Work In Process* (WIP) antar stasiun kerja pada bulan Januari-Desember 2019

No	Departemen Kerja	Stasiun Kerja	Jumlah Mesin	Rata-rata WIP (batch/siklus)	Rata-rata WIP (batch/siklus/mesin)	Persentase WIP (%/mesin)
1	Persiapan Penyempurnaan	<i>Pile Up Kain</i>	1	0	0	0
2		<i>Kodefikasi</i>	1	3	3	20
3		<i>Sewing</i>	2	1	1	6,67
4		<i>Relaxing dan Scouring</i>	2	2	1	6,67
5	<i>Dyeing</i>	<i>Dyeing</i>	8	8	1	6,67
6		<i>Scutcher</i>	2	0	0	0
7	<i>Printing</i>	<i>Printing</i>	1	0	0	0
8		<i>Steaming</i>	3	9	3	20
9		<i>Washing</i>	1	0	0	0
10	<i>Finishing</i>	<i>Stenter</i>	2	9	5	33,33
11		Pemotongan Pinggir Kain	2	0	0	0
12	<i>Packaging</i>	Final Inspeksi	10	5	1	6,67
13		<i>Rolling Dob Fold</i>	13	1	0	0
14		<i>Packing Kain</i>	13	0	0	0
Jumlah WIP					15	100%

Sumber data: CV. BJT, 2019

Dampak adanya penumpukan WIP di stasiun kerja *Stenter* menyebabkan kualitas kain yang menunggu untuk diproses menurun. Salah satu contoh penurunan kualitasnya yaitu *watermark* pada permukaan kain. Hal tersebut terjadi karena adanya reaksi obat kimia dengan air, kain, dan udara dalam durasi waktu lebih dari 15 menit, sehingga kain dengan kualitas yang tidak sesuai harus diproses ulang (*rework*) pada stasiun kerja *Dyeing*. Adanya permasalahan tersebut menyebabkan tingkat produktivitas CV. BJT menurun, sehingga *output* yang dihasilkan tidak sesuai dengan target produksi. Ketika target produksi tidak mampu terpenuhi, maka menyebabkan perusahaan kehilangan kesempatan untuk memperoleh *throughput* yang maksimum. Oleh karena itu, CV. BJT harus mampu mengendalikan, menjadwalkan, dan

meningkatkan kapasitas yang tersedia dengan baik dan benar.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini yaitu: “Apa saja penyebab adanya *waste* dan *constraints* pada saat proses produksi kain?”, “Bagaimana cara untuk menyeimbangkan aliran produksi agar tidak menimbulkan *waste* dan mengelola *constraints* agar dapat meningkatkan *throughput*?”, dan “Berapa jumlah WIP maksimum yang diperbolehkan ada pada setiap stasiun kerja, agar dapat mencapai *throughput* yang diinginkan?”. Selanjutnya, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini sebagai berikut:

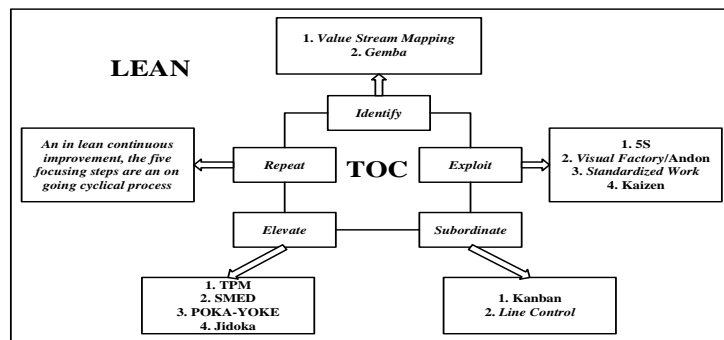
1. Mengidentifikasi penyebab munculnya *waste* dan *constraints* pada saat proses produksi kain.
2. Memberikan usulan perbaikan pada aliran produksi sebagai upaya untuk mengeliminasi kegiatan yang tidak memberikan nilai tambah serta mengelola *constraints* agar mencapai *throughput* maksimum.
3. Menetapkan standar WIP maksimum yang diperbolehkan ada pada setiap stasiun kerja guna mencapai *throughput* yang diinginkan.

Untuk mengatasi permasalahan di lantai produksi CV. BJT digunakan pendekatan *Lean Manufacturing* dan TOC secara bersamaan. Hal tersebut dikarenakan *Lean Manufacturing* dapat digunakan untuk mengatasi masalah pemborosan (*waste*) yang mempengaruhi kapasitas. Adapun TOC digunakan sebagai upaya untuk menyeimbangkan aliran produksi dengan memaksimalkan dan memanfaatkan *constraints*. Penerapan *Lean Manufacturing* dan TOC secara bersamaan telah dilakukan oleh beberapa peneliti, antara lain Dettmer (2001) dengan tujuan untuk meningkatkan performansi; Alvarez, Reyes, dan Aldas (2017) dengan tujuan untuk mengurangi waktu pengiriman dan reduksi *inventory*; dan Pacheco, dkk (2018) dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan, kelemahan, dan kesenjangan dalam mengintegrasikan pendekatan konsep *Theory of Constraints* dan *Lean Manufacturing*.

B. Metodologi

Lean manufacturing dan TOC merupakan konsep yang digunakan untuk memperbaiki permasalahan secara sistem. Kedua konsep tersebut memiliki fokus pelanggan sebagai acuan yang digunakan dalam perbaikan secara terus menerus (Dettmer, 2001). Terdapat langkah utama yang harus dilakukan untuk mengintegrasikan kedua konsep yaitu harus mengadopsi perspektif *Throughput*, menentukan batas-batas sistem yang akan ditingkatkan, menentukan tujuan, dan menganalisis bagaimana tujuan itu dapat diukur dengan melakukan pengurangan biaya dan *inventory* (Dettmer, 2001). TOC dapat berfungsi sebagai mekanisme yang sangat efektif untuk memprioritaskan proyek perbaikan, sementara *Lean Manufacturing* dapat menyediakan berbagai alat dan teknik perbaikan, sebagaimana digambarkan pada **Gambar 1** (Itasca, 2019).

Konsep dasar *lean* yaitu pendekatan keseluruhan sistem yang berfokus pada identifikasi dan eliminasi aktivitas yang tidak memiliki nilai tambah dalam suatu aliran (Sproull, 2019). Hal tersebut dilakukan agar tujuan untuk menghasilkan produk dengan *zero defect production*, 100% *Value added*, pelanggan yang menarik kegiatan produksi (*pull system*). Aktivitas dalam proses produksi menurut Hines dan Taylor (2000) terbagi menjadi tiga bagian, yaitu *Value adding activity* (VA), *Non-value adding activity* (NVA), dan *Necessary non-value adding activity* (NNVA). Aktivitas NVA dan NNVA merupakan pemborosan (*waste*), karena tidak memberikan nilai tambah pada produk. Sebagaimana Chiarini (2013) menyatakan bahwa terdapat tujuh jenis pemborosan yang dapat diklasifikasikan, yaitu *Overproduction*, *Waiting*, *Transportation*, *Overprocessing*, *Inventory*, *Motion*, *Defectiveness*.



Gambar 1. Diagram Tahapan TOC dengan memanfaatkan alat *Lean Manufacturing* sebagai upaya perbaikan

Sementara itu, filosofi sistem manajemen yang mampu mengupayakan perbaikan secara terus-menerus pada *constraints* untuk mencapai tujuan perusahaan yaitu TOC (Tersine, 1994). TOC juga dapat meningkatkan *throughput* dan kapasitas yang menjadi kendala pada sistem dengan cara mengelola dan menjadwalkan kendala tersebut. Menurut Techt (2015) TOC memiliki tiga indikator kinerja utama atau *Key Performance Indicators* (KPI) dasar yang dapat digunakan untuk menilai suatu keputusan yaitu *throughput*, *inventory*, dan *Operating Expense*. Umble dan Srikant (1996) menjelaskan terdapat beberapa jenis *constraints* yang sering ditemukan pada sistem yaitu *market constraints*, *material constraints*, *capacity constraints*, *logistical constraints*, dan *managerial constraints*.

Cox dan Schleier (2010) menjelaskan bahwa mekanisme penjadwalan dan kontrol yang dapat digunakan untuk mengimplementasikan TOC di lantai produksi yaitu *Drum Buffer Rope* (DBR). Proses pengaturan *drum* dimulai dengan mengidentifikasi pekerjaan yang perlu dilakukan pada *constraints* dengan total *output* yang dibutuhkan. *Buffer* adalah material hulu *drum* memastikan bahwa tidak pernah kosong. Tujuan dari *buffer* adalah melindungi *throughput* sistem dari kendala internal proses produksi. *Rope* adalah mekanisme pensinyalan dari *buffer* untuk menarik material ke hulu dengan kecepatan laju *drum*. Implementasi *rope* berupa *Backward Scheduling*. Penugasan pekerjaan berurutan mulai dari posisi terakhir dan melanjutkan mundur (*backward*) menuju posisi pertama. Keuntungan penjadwalan ini adalah dapat mengurangi WIP (Sule, 2008). Selain itu WIP perlu dikontrol dengan menggunakan ConWIP. Leonardo, dkk (2017) menyatakan bahwa sistem ConWIP dapat mengendalikan pabrik pada tingkat pekerjaan yang konstan di proses meskipun tidak berusaha untuk mengontrol lokasi WIP dalam sistem.

C. Hasil dan Pembahasan

Upaya perbaikan pada penelitian ini dilakukan dengan cara menerapkan langkah-langkah TOC dan memanfaatkan *tools Lean Manufacturing* yang dapat dilihat pada uraian berikut:

Identifikasi *Constraints* dengan *tools Value Stream Mapping* (VSM).

Seperti yang sudah diketahui bahwa terdapat penumpukan WIP yang melebihi standar perusahaan yaitu pada stasiun kerja *Stenter* sebesar 33,33%. Salah satu penyebabnya karena kapasitas yang tersedia sebesar 61.560 menit/bulan, sedangkan kapasitas yang dibutuhkan sebesar 78.860,60 menit/bulan, sehingga memberikan arti bahwa stasiun kerja *Stenter* tidak mampu memenuhi kebutuhan atau *constraints*. Adanya penumpukan WIP dan *waiting waste* membuat *production lead time current state* menjadi panjang yaitu sebesar 2.229,48 menit/*batch*, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 2**. Dimana *production lead time* terdiri dari waktu kegiatan VA, NVA, dan NNVA, sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 2**.

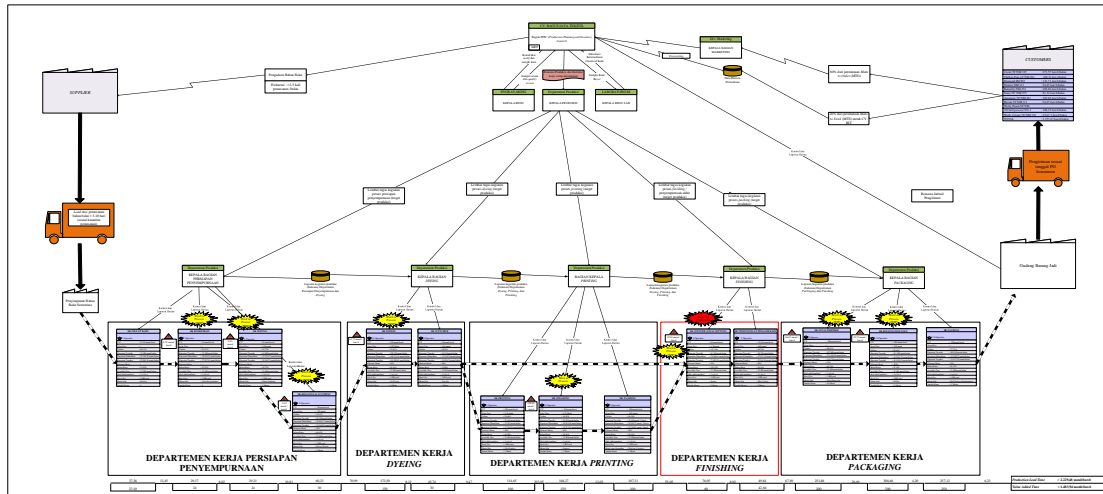
Besar kecilnya waktu yang digunakan oleh kegiatan NNVA dan NVA akan mempengaruhi terhadap persentase *Process Cycle Efficiency* (PCE). Adapun persentase PCE *current state* di lantai produksi CV. BJT yaitu:
$$PCE = \frac{1.483,94 \text{ menit/batch}}{2.229,48 \text{ menit/batch}} \times 100\% = 66,56 \%$$
 Berdasarkan hasil tersebut, diketahui bahwa terdapat 33,44% waktu yang digunakan di lantai produksi ialah untuk kegiatan yang tidak memberikan nilai tambah atau *waste*, sehingga masih ada peluang untuk

meningkatkan *efficiency system* agar mendekati 100% dengan menerapkan *kaizen* atau *continues improvement*.

Tabel 2. Rekapitulasi waktu setiap kategori aktivitas

No	Kategori Kegiatan	Total waktu (menit/batch)	Persentase waktu (%)
1	<i>Value adding activity</i>	1.483,94	67
2	<i>Non-value adding activity</i>	406,51	15
3	<i>Necessary non-value adding activity</i>	339,03	18
Production lead time		2.229,48	

Sumber: Data Penelitian yang Sudah Diolah, 2021



Gambar 2. Value Stream Map (Current State)

Setelah VSM *current* dirancang, langkah selanjutnya yaitu identifikasi secara detail jenis *waste* yang ada pada VSM. Langkah ini dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat kendala lain selain *capacity constraints* yang mempengaruhi CV. BJT dalam mencapai memenuhi target produksi. Identifikasi *waste* dilakukan menggunakan kuesioner 7 *waste*, *Value Stream Analysis Tools* (VALSAT), dan *detailed mapping*. Berdasarkan hasil pembobotan kuesioner 7 *waste*, diketahui bahwa persentase untuk jenis *waste over production* 3%, *defect* 19%, *inventory* 29%, *Excess Processing* 8%, *transportation* 5%, *waiting* 26%, dan *unnecessary motion* 10%. Selanjutnya dilakukan upaya perbaikan pada jenis *waste* dengan *score* tertinggi dan berpengaruh terhadap tujuan perusahaan yaitu *inventory* dan *waiting*. Hasil dari pembobotan *waste* akan digunakan sebagai *input* pada VALSAT guna memilih dan mengetahui *tools* yang sesuai dengan jenis *waste* di lantai produksi CV. BJT.

Hasil matriks VALSAT menunjukkan bahwa *score mapping tools* tertinggi yaitu *Process Activity Mapping* (PAM) dengan *score* 338. Terpilihnya *tools* PAM memberi arti bahwa *waste* yang teridentifikasi pada VSM memiliki kaitan dengan kegiatan proses produksi kain. *Tools* yang terpilih berdasarkan VALSAT akan digunakan pada tahapan *detailed mapping* dan analisa perbaikan *waste*. **Tabel 3** merupakan rekapitulasi pengelompokan kegiatan PAM (*Current state*). Berdasarkan **Tabel 3**, diketahui bahwa terdapat aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah sebesar 33,44%. *Delay/waiting* merupakan penyumbang terbesar yaitu 18% total *production lead time*. Oleh karena itu, kegiatan tersebut harus segera direduksi agar tidak merugikan perusahaan. Setelah *waste* diketahui, langkah selanjutnya yaitu mengidentifikasi akar penyebab timbulnya *waste* di lantai produksi. Identifikasi penyebab timbulnya *waste* dilakukan dengan menggunakan *fishbone diagram*, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 3**.

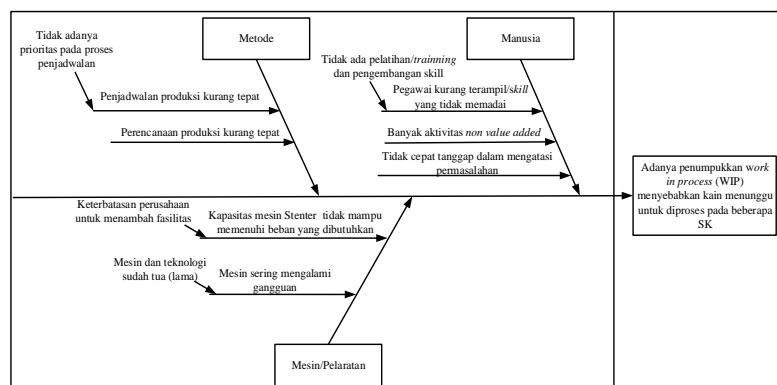
Waste yang akan direduksi, dipilih berdasarkan *score* tertinggi pada tahap pembobotan *waste* dan kegiatan NVA pada *detailed mapping*. *Output* dari kedua tahap tersebut memiliki keterkaitan, kegiatan NVA pada *detailed mapping* yaitu *delay/waiting*, dimana penyebabnya karena ada penumpukan *inventory* berupa WIP. Sementara itu, *waste* yang memiliki *score* tertinggi pada tahap pembobotan *waste* yaitu *inventory*, sehingga *waste* yang akan direduksi dipertimbangkan

dari kedua tahapan tersebut. Adapun faktor penyebab timbulnya *waste* tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Tabel 3. Ringkasan Pengelompokan Kegiatan PAM (*Current state*)

Aktifitas	Jumlah kegiatan	Persentase	Activity Classification (menit)		
			Value adding activity	Non-value adding activity	Necessary non-value adding activity
<i>Operation</i>	45	65%	1.283,94	-	162,54
<i>Inspection</i>	2	9%	200	-	8,34
<i>Storage</i>	12	3%	-	-	60,23
<i>Transportation</i>	15	5%	-	-	107,92
<i>Delay</i>	8	18%	-	406,51	-
Total	82	100%	2.229,48		
Production Lead time					

Sumber: Data Penelitian yang Sudah Diolah, 2021



Gambar 3. Fishbone Diagram timbulnya *waste* WIP yang menyebabkan kain menunggu untuk diproses pada beberapa stasiun kerja

Setelah *constraints* dan *waste* teridentifikasi, langkah selanjutnya yaitu menerapkan eksploitasi untuk mengendalikan stasiun kerja *constraints* yang menyebabkan timbulnya *inventory* dan *waiting waste*. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mereduksi kedua jenis *waste* yaitu dengan menyeimbangkan lintasan produksi, agar aliran material dan informasi antar sumber daya sinkron. Jika lintasan produksi pada sebuah pabrik seimbang, maka akan mempersingkat *production lead time*, dan meningkatkan produktivitas (hasil produksi).

1. Eksploitasi *Constraints* dengan DBR dan *Logical Approach Synchronous Manufacturing*

Drum merupakan *constraints*, dimana digunakan sebagai titik pengendali untuk memastikan bahwa stasiun kerja *upstream* memproduksi sesuai dengan kebutuhan *constraints*, sehingga tidak menimbulkan WIP dan utilitas *constraints* 100%. Upaya yang dilakukan agar tingkat utilitas stasiun kerja *Stenter* 100% yaitu dengan memaksimalkan kapasitas melalui variabel hari kerja dan peningkatan efisiensi mesin, sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 4**. Berdasarkan hasil peningkatan kapasitas tersedia pada stasiun kerja *Stenter*, diketahui bahwa kapasitas tersedia kondisi *future* sebesar 79.027,20 menit/bulan. Sementara itu, kapasitas yang dibutuhkan pada stasiun kerja *Stenter* untuk memenuhi target produksi agar mencapai *throughput* maksimum sebesar 78.860,61 menit/bulan, sehingga kondisi *future* stasiun kerja *Stenter* mampu memenuhi target produksi. Selain itu, terdapat kelebihan kapasitas sebesar 166,59 menit/bulan yang mana dapat dialokasikan sebagai *allowance* bagi operator selama satu bulan atau dimanfaatkan untuk memenuhi permintaan kain, jika sewaktu-waktu CV. BJT mengalami peningkatan permintaan.

Setelah stasiun kerja *constraints* ditingkatkan, maka selanjutnya yaitu menentukan tingkat produksi yang akan memaksimalkan *throughput* dengan menggunakan *Logical Approach Synchronous Manufacturing*. Berdasarkan hasil perhitungan, diketahui bahwa *throughput* yang diperoleh oleh CV. BJT pada kondisi *future* menjadi meningkat dari Rp. 9.255.067.125 menjadi

Rp.10.297.640.532. Hal tersebut dapat terjadi karena aliran produksi di CV. BJT sudah diseimbangkan dengan upaya memaksimalkan kapasitas tersedia stasiun kerja *Stenter*. Setelah *drum* diketahui dan kapasitas stasiun kerja *Stenter* ditingkatkan, langkah selanjutnya yaitu menentukan *rope*. Implementasi *rope* dilakukan berdasarkan titik kendali (*control point*) yang diperintahkan oleh stasiun kerja *Stenter* ke *Pile Up Kain (non constraints)*. Implementasi *rope* dilakukan pada tahapan ketiga TOC yaitu subordinasi *non constraints*.

Tabel 4. Simulasi dalam memaksimalkan kapasitas stasiun kerja *Stenter*

	<i>Current</i>	<i>Future</i>	
Jam Kerja Efektif	7,50	8	jam/shift
shift	3	3	shift/hari
Hari Kerja	6	7	hari/minggu
Jumlah kerja Bulan	24	28	hari/bulan
<i>Total Availability</i>	540	672	Jam/bulan
<i>Efficiency Machine</i>	95	98	%
Jumlah Mesin	2	2	mesin
Kapasitas Tersedia	61.560	79.027,20	menit/bulan
Kebutuhan Kapasitas	78.860,61		menit/bulan
Gap kapasitas	-17.300,61	166,59	menit/bulan

Sumber: Data Penelitian yang Sudah Diolah, 2021

Subordinasi *Non-Constraints* dengan ConWIP dan Penjadwalan *Backward*

Subordinasi *non constraints* dilakukan berdasarkan hasil implementasi dari eksploitasi terhadap kapasitas yang dimiliki oleh stasiun kerja *constraints*. Demi menjaga tingkat utilitas stasiun kerja *constraints* 100% dan memastikan stasiun kerja *non-constraints* telah memenuhi kebutuhan secara tepat waktu, perlu adanya penerapan sistem ConWIP dan penjadwalan *flow shop* pada stasiun kerja *upstream* dengan algoritma *Campbell Dudek and Smith (CDS)* dan pendekatan *backward*.

Langkah awal perbaikan pada tahap subordinasi *non constraints* yaitu dengan menerapkan sistem ConWIP dengan tujuan untuk mengontrol, mengendalikan dan mengurangi tingkat WIP agar CV. BJT dapat mencapai *throughput* yang diinginkan. Guna mengetahui jumlah maksimum WIP yang boleh tersebar di jalur ConWIP agar *throughput* yang diperoleh maksimum dapat dilihat sebagai berikut.

$$\text{Level WIP kritis } (W_0) = \sum T_0 \times r_b \text{ minimum}$$

$$\text{Level WIP kritis } (W_0) = 616,99 \text{ menit} \times 0,035 \text{ batch/menit}$$

$$\text{Level WIP kritis } (W_0) = 21,85 \approx 22 \text{ batch}$$

Dimana, T_0 merupakan rata-rata waktu proses pada stasiun kerja, sedangkan r_b merupakan kapasitas paling kritis di jalur ConWIP. Berdasarkan hasil perhitungan, diketahui bahwa jumlah maksimum WIP yaitu sebesar 22 *batch*. Setelah mengetahui jumlah maksimum WIP yang boleh ada di jalur ConWIP, maka selanjutnya yaitu mengendalikan dan mengontrol agar aliran produksi seimbang (tidak menimbulkan *waste*). Salah satu upaya yang dilakukan yaitu dengan memberlakukan sistem berbasis kartu ConWIP. Adapun perhitungan jumlah kartu ConWIP sebagai berikut:

$$\text{TH } (w) = \frac{w}{w+W_0-1} r_b$$

$$0,018 = \frac{w \times (0,035)}{w+21,85-1}$$

$$0,018 = \frac{w \times (0,035)}{w+20,85}$$

$$0,018 + 0,365 = w \times 0,035$$

$$1 w = 0,49 w + 10,42$$

$$0,51 w = 10,42$$

$$w = \frac{10,42}{0,51}$$

$$w = 20,43 \approx 20 \text{ kartu ConWIP}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, jumlah kartu ConWIP yang akan digunakan untuk mengendalikan aliran produksi di CV. BJT yaitu sebanyak 20 kartu. Banyaknya jumlah kartu berkaitan juga dengan banyaknya pekerjaan yang sedang berlangsung di jalur ConWIP, dimana 1 kartu mewakili 1 *batch*. Sementara itu, untuk mengetahui WIP maksimum pada setiap stasiun kerja dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{WIP Stasiun kerja Stenter} &= TH \times CT \\ \text{WIP Stasiun kerja Stenter} &= 0,035 \text{ batch/menit} \times 56,46 \text{ menit} \\ \text{WIP Stasiun kerja Stenter} &= 2 \text{ batch} \end{aligned}$$

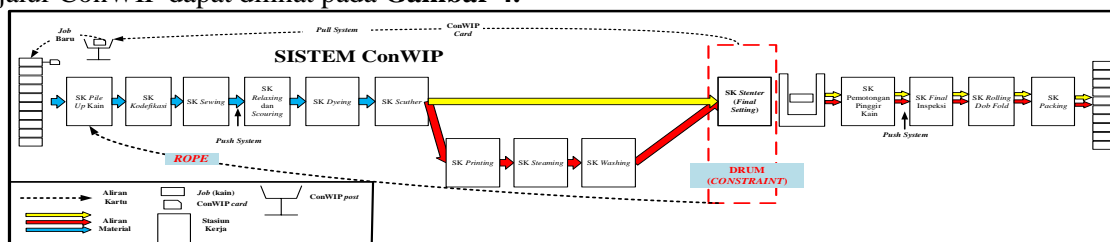
Perhitungan jumlah maksimum WIP yang diperbolehkan pada setiap stasiun kerja dipengaruhi oleh 2 faktor yaitu *throughput* atau *the bottleneck rate* paling kritis, dan *cycle time* (CT) atau nilai T_0 . Dimana pada penelitian ini *the bottleneck rate* paling kritis yaitu stasiun kerja *Stenter* sebesar 0,035 *batch/menit*. Adapun rekapitulasi perhitungan standar atau batas limit WIP dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Rekapitulasi perhitungan *standard* atau batas limit WIP

Stasiun Kerja	Jumlah Mesin	Raw Processing Time (menit/ batch)	The Bottleneck Rate (batch/ menit)	WIP (batch/siklus)
<i>Pile Up Kain</i>	1	17,41	0,06	0,62 ≈ 1
<i>Kodefikasi</i>	1	21,34	0,05	0,76 ≈ 1
<i>Sewing</i>	2	23,37	0,09	0,83 ≈ 1
<i>Relaxing dan Scouring</i>	2	28,04	0,07	0,99 ≈ 1
<i>Dyeing</i>	8	137,17	0,06	4,86 ≈ 4
<i>Scutcher</i>	2	23,79	0,08	0,84 ≈ 1
<i>Printing</i>	1	72,19	0,07	2,56 ≈ 3
<i>Steaming</i>	3	140,94	0,10	4,99 ≈ 5
<i>Washing</i>	1	96,26	0,05	3,41 ≈ 3
<i>Stenter</i>	2	56,46	0,035	2
Total		616,99		21,85 ≈ 22

Sumber: Data Penelitian yang Sudah Diolah, 2021

Usulan perbaikan dengan menerapkan sistem ConWIP pada lini produksi sebelum stasiun kerja *constraints* dapat mereduksi WIP sebesar 31,25% dibandingkan kondisi awal. Selain itu, dengan menerapkan sistem ConWIP mampu mereduksi waktu tunggu WIP pada stasiun kerja *Stenter* dari kondisi awal 53,74 menjadi 11,94 menit/*batch*. Berkurangnya waktu tunggu WIP berdampak positif pada eliminasi *defect waste* yang diakibatkan kain mengantri untuk diproses pada stasiun kerja *Stenter* dalam durasi lebih dari 15 menit. Adapun Skema Lini Produksi pada jalur ConWIP dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Skema Lini Produksi pada jalur ConWIP

Setelah standar maksimum WIP pada setiap stasiun kerja diberlakukan, langkah selanjutnya yaitu menjadwalkan kebutuhan stasiun kerja *Stenter* dari stasiun kerja *Pile up Kain*. Pendekatan penjadwalan yang digunakan yaitu *backward scheduling*. Penjadwalan tersebut diterapkan guna mengetahui kapan waktu yang tepat untuk mulai mengerjakan suatu pesanan agar dapat diselesaikan sesuai *due date* pada stasiun kerja *Stenter*, sehingga apabila pengerjaan *job* dari stasiun kerja *Pile Up Kain* sampai dengan stasiun kerja *Stenter* tidak sesuai dengan *due date*, maka target produksi tidak tercapai. Oleh karena itu, pendekatan *backward* diadopsi untuk membuat *due date* pengerjaan *job*.

Selain itu, dilakukan penentuan urutan *job* yang akan diproduksi terlebih dahulu atau *sequencing*. Salah satu cara yang digunakan untuk menentukan urutan *job* dengan mencari nilai makespan terkecil yaitu menggunakan algoritma CDS. Tujuan yang ingin dicapai dari penjadwalan ini adalah minimasi WIP dengan cara reduksi *mean flow time*, dan memenuhi target produksi dengan mencari nilai *makespan* terkecil. Adapun rekapitulasi mengenai total *makespan* dari setiap alternatif penjadwalan dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Rekapitulasi *Makespan*

Alternatif K (Iterasi)	<i>Makespan</i> (menit/bulan)
1	67.071,15
2	64.839,43
3	65.117,85
4	66.341,17
5	67.403,03
6	66.062,75
7	64.839,43
8	64.839,43
9	65.117,85

Berdasarkan penjadwalan dari iterasi ke-1 sampai dengan iterasi ke-9 diketahui bahwa terdapat 3 alternatif penjadwalan terbaik yaitu iterasi ke-2, ke-7, dan ke-8. Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan keseluruhan *job* (*makespan*) pada alternatif tersebut yaitu 64.839,43 menit/bulan, dengan *sequence* Ceruti - Amunzen - Balotelly - Diamond IM - Wolly Peach - Chiffon Fine - Hycon - Mossrape - Wolly Crepe - Saten. Urutan awal *job* yang akan diproduksi pada stasiun kerja *Stenter* berdasarkan iterasi terpilih yaitu kain Ceruti, sehingga kain yang diproses setelah stasiun kerja *Stenter* akan mengikuti berdasarkan urutan *sequence* tersebut. Sementara itu, untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan setiap jenis kain (*based on production targets*) dari stasiun kerja *Pile Up Kain* sampai dengan *Stenter* dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Rekapitulasi total waktu yang dibutuhkan setiap *job* (*base on due date Stenter*)

No	<i>Job</i>	Waktu yang dibutuhkan (menit/bulan)	<i>Starting Time</i> (bi)	<i>Completion Time</i> (Ci)
			Stasiun kerja <i>Stenter</i>	Stasiun kerja <i>Pile Up Kain</i>
1	Ceruti	43.476,35	0	43.476,35
2	Amunzen	41.033,94	8.147,17	49.181,10
3	Balotelly	39.199,91	14.398,74	53.598,65
4	Diamond IM	35.379,23	20.150,76	55.530,00
5	Wolly Peach	33.614,44	23.616,56	57.231,00
6	Chiffon Fine	32.330,57	26.566,47	58.897,03
7	Hycon	30.770,57	29.635,50	60.406,07
8	Mossrape	29.746,34	32.221,23	61.967,57
9	Wolly Crepe	28.507,30	35.062,15	63.569,44
10	Saten	27.848,30	36.991,13	64.839,43

Ketika upaya perbaikan sudah diterapkan secara keseluruhan, maka *production lead time* akan berkurang dari kondisi awal sebesar 2.229,48 menjadi 2.005,62 menit/*batch*. Sejalan dengan itu, ketika *production lead time* berkurang dan *value added time* tetap sama, maka akan meningkatkan persentase PCE dari kondisi awal sebesar 66,56% menjadi 73,99%.

D. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian ini yaitu:

1. Penyebab munculnya *waste* dan *constraints* memiliki keterkaitan, dimana faktor tersebut terdiri dari manusia/operator, metode, dan mesin/peralatan. Operator banyak melakukan kegiatan NVA dan operator tidak memanfaatkan kapasitas secara baik dan benar, sehingga mempengaruhi *output* yang dihasilkan. Pada faktor metode, tidak ada aturan

prioritas pada saat penjadwalan, sehingga menimbulkan permasalahan seperti stasiun kerja *idle*, dan WIP. Sementara pada faktor mesin/peralatan tidak dimanfaatkan dengan baik dan benar, sehingga menyebabkan permasalahan seperti timbulnya WIP, dan *capacity constraints*.

2. Upaya mengeliminasi *waste* dan mengendalikan *constraints* yaitu menggunakan sistem ConWIP dan memaksimalkan pemanfaatan stasiun kerja *Stenter* dengan menambah jam kerja serta meningkatkan efisien mesin *Stenter* menjadi 98%, agar tidak menimbulkan WIP yang mengakibatkan target tidak terpenuhi. Berlakunya sistem ConWIP dapat mereduksi waktu tunggu dan WIP, sedangkan memaksimalkan kapasitas SK *Stenter* mampu mengendalikan *constraints* agar menghasilkan *throughput* maksimum.
3. Standar WIP pada setiap stasiun kerja dijalur ConWIP yaitu *Pile Up Kain 1 batch/siklus*, *Kodefikasi 1 batch/siklus*, *Sewing 1 batch/siklus*, *Relaxing dan Scouring 1 batch/siklus*, *Dyeing 4 batch/siklus*, *Scutcher 1 batch/siklus*, *Printing 3 batch/siklus*, *Steaming 5 batch/siklus*, *Washing 3 batch/siklus*, *Stenter 2 batch/siklus*. Penentuan standar WIP sudah dipengaruhi oleh stasiun kerja *constraints* dan target produksi.

Acknowledge

Terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan ilmu, dukungan, dan doa kepada penulis, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dan diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] Alvarez, K., Aldas, D., dan Reyes, J., 2017. Towards Lean Manufacturing from Theory of Constraints: A Case Study in Footwear Industry, *International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Application (ICIMSA)*, [e-journal], pp 1-8. Tersedia pada: ResearchGate <<http://doi: 10.1109/ICIMSA.2017.7985615>> [Diakses 12 Agustus 2020].
- [2] Chiarini, A., 2013. *Lean Organization: from the tools of the Toyota Production System to Lean Office*. Bologna: Spinger.
- [3] Cox III, J. F., dan Schleier Jr, J. G. (eds.), 2010. *Theory Of Constraints Handbook*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [4] Dettmer, H. W., 2001. *Beyond Lean Manufacturing: Combining Lean and the Theory of Constraints for Higher Performance*. Los Angeles: Port Angeles.
- [5] Hines, P., dan Taylor, D., 2000. *Going Lean, Lean Enterprise Research Center*. Cardiff: Business School.
- [6] Itasca, IL., 2019. *Combining Theory of Constraints and Lean Manufacturing*. [online] Illinois: Vorne Industries Inc. Tersedia pada: <<https://www.leanproduction.com>> [Diakses 12 November 2020].
- [7] Leonardo, D. G., Sereno, B., Silva, D. S., dan Sampaio, M., 2017. Implementation of Hybrid Kanban-ConWip System: a Case Study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, [e-journal] 28(6), pp 714-736. Tersedia pada: <<https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2016-0043>> [Diakses 29 April 2020].
- [8] Pacheco, D. A d.J., Pergher, I., Antunes Junior, J.A.V, dan Roehe Vaccaro, G.L., 2018. Exploring The Integration Between Lean and The Theory of Constraints in Operations Management, *International Journal of Lean Six Sigma*, [e-journal] 10(3), pp 718-742. Tersedia pada: Emerald insight <<https://doi.org/10.1108/IJLSS-08-2017-0095>> [Diakses 3 Maret 2020].
- [9] Sproull, B., 2019. *Theory of Constraints, Lean, and Six Sigma Improvement Methodology: Making the Case for Integration*. New York: Productivity Press.
- [10] Sule, D. R., 2008. *Production Planning and Industrial Scheduling: Examples, Case Studies and Applications. Second Edition*. Boca Raton: CRC Press
- [11] Tersine, J. R., 1994. *Principles of Inventory and Material Management. Fourth Edition*. New Jersey: PTR Prentice Hall Inc.
- [11] Techt, U., 2015. *Goldratt and The Theory of Constraints: The Quantum Leap in*

- Management*. Stuttgart: Ibidem Press.
- [12] Umble, M. M., dan Srikant, M. L., 1996. *Synchronous Manufacturing-Principles for World-Class Excellence*. Wellington: The Spectrum Publishing Company.