

Corrugated Box Production Optimization Using Theory of Constraints (TOC) and DBR - Drum-Buffer-Rope (DBR): Optimasi Produksi Corrugated Box Menggunakan Theory of Constraints (TOC) dan DBR - Drum-Buffer-Rope (DBR)

Dian Nissa Fitri Budiani

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Rr Rochmoeljati

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

General Background: Efficient production processes are critical for manufacturing companies to meet output targets and maintain competitiveness. **Specific Background:** PT XYZ, a corrugated box manufacturer, is experiencing production delays due to bottlenecks at specific workstations. **Knowledge Gap:** Previous studies have rarely explored the integrated application of the *Theory of Constraints* (TOC) and *Drum Buffer Rope* (DBR) methods specifically within the corrugated box industry. **Aims:** This study aims to identify bottlenecks and propose improvements in PT XYZ's production process by applying TOC and implementing the DBR scheduling method. **Results:** Bottlenecks were found at the Converting (SK-2) and Stitching (SK-4) workstations. Through the five focusing steps of TOC and DBR's structured flow management using drums, buffers, and ropes, along with extended work hours at bottleneck stations, throughput increased from IDR 5,424,572 to IDR 8,040,195—a 32.53% rise. **Novelty:** This study presents a comprehensive application of TOC and DBR in the corrugated box sector, combining it with linear programming to optimize resource allocation and bottleneck exploitation. **Implications:** The findings highlight how TOC and DBR can serve as a strategic framework to improve operational efficiency and output in manufacturing systems constrained by limited capacity.

Highlights:

- Converting and Stitching stations identified as production bottlenecks.
- Overtime at bottlenecks increased throughput by 32.53%.
- TOC and DBR integration proved effective in streamlining production.

Pendahuluan

Proses produksi merupakan inti dari kegiatan operasional suatu perusahaan karena berfungsi untuk menciptakan nilai tambah dari berbagai sumber daya, seperti mesin, tenaga kerja, dan bahan baku. Apabila proses produksi berjalan secara efisien, perusahaan dapat meningkatkan produktivitas, menekan biaya, dan memperoleh keuntungan yang lebih tinggi. Namun, ketidakseimbangan dalam pengelolaan produksi sering kali menimbulkan kendala seperti keterlambatan, penumpukan material di stasiun kerja tertentu, serta pemborosan waktu, yang pada akhirnya berdampak negatif terhadap kinerja perusahaan. Di era persaingan industri yang semakin sengit, perusahaan diharuskan untuk memproduksi barang dengan kualitas yang tinggi, harga kompetitif, dan waktu produksi cepat. Salah satu aspek krusial yang menentukan pencapaian tersebut adalah kapasitas produksi. Apabila tidak dikelola secara optimal, kapasitas produksi yang terbatas dapat menimbulkan keterlambatan pengiriman, peningkatan biaya operasional, serta menurunnya kepuasan pelanggan [1][2]. Oleh karena itu, pemahaman dan pengelolaan kapasitas produksi yang efektif menjadi kunci dalam menyusun strategi perencanaan dan penjadwalan yang responsif terhadap fluktuasi pada permintaan pasar.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengangkat pentingnya efisiensi produksi melalui pendekatan manajemen operasi, salah satunya adalah penggunaan *Theory of Constraints* (TOC). *Constraint* memiliki arti segala sesuatu yang menghambat sistem dalam mencapai kinerja [3]. TOC merupakan metode perbaikan sistem yang menitikberatkan pada identifikasi dan pengelolaan hambatan utama (*bottleneck*) dalam proses produksi [4]. *Bottleneck* ini merupakan keterbatasan kapasitas suatu sumber daya yang berdampak pada kemampuan produksi atau fluktuasi permintaan [5]. Metode TOC telah digunakan di berbagai sektor industri untuk meningkatkan performa sistem secara keseluruhan. Salah satu implementasi praktis dari TOC adalah metode *Drum-Buffer-Rope* (DBR), yang bertujuan untuk menyelaraskan ritme produksi, menjaga ketersediaan material di titik kendala, serta mengatur aliran proses agar tidak terjadi penumpukan [6][7]. Meskipun sudah banyak digunakan, penelitian-penelitian tersebut umumnya belum mengkaji penerapan kombinasi TOC dan DBR secara spesifik dalam industri kemasan berbasis *corrugated box*.

PT XYZ merupakan perusahaan yang sekarang bergerak pada bidang produksi *corrugated box* yang berlokasi di Lamongan, Jawa Timur. Berdasarkan observasi awal, perusahaan menghadapi permasalahan berupa hambatan proses produksi (*bottleneck*) yang terjadi pada tahap *Converting* dan *Stitching*. Hambatan ini mengakibatkan penumpukan material dan waktu tunggu yang tinggi, sehingga mengganggu kelancaran aliran produksi dan menurunkan efektivitas operasional. Permasalahan ini menunjukkan perlunya pendekatan yang sistematis dan terstruktur untuk mengidentifikasi serta mengatasi *bottleneck* demi menciptakan alur produksi yang lebih efisien. Berdasarkan tinjauan terhadap studi terdahulu, terdapat *research gap*, yaitu minimnya kajian yang secara langsung menerapkan pendekatan *Theory of Constraints* dan metode *Drum-Buffer-Rope* dalam industri *corrugated box*. Maka dari itu, penelitian ini menjadi penting dilakukan untuk mengisi kekosongan tersebut dan memberikan kontribusi dalam pengembangan strategi peningkatan efisiensi produksi di sektor manufaktur lokal. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis *bottleneck* dalam proses produksi *corrugated box* di PT XYZ menggunakan pendekatan *Theory of Constraints* (TOC), serta merancang usulan perbaikan melalui penerapan metode *Drum-Buffer-Rope* (DBR) guna meningkatkan kelancaran alur produksi dan efektivitas operasional perusahaan.

Metode

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada PT. XYZ yang berada di Lamongan, Jawa Timur yang fokus pada optimalisasi lini produksi *corrugated box*, khususnya pada stasiun kerja yang mengalami *bottleneck*. Penelitian dilaksanakan mulai Februari 2025 hingga data yang dibutuhkan tercukupi. Tujuan utamanya adalah mengidentifikasi *bottleneck* dan mengusulkan perbaikan dengan pendekatan *Theory of Constraints* serta metode *Drum-Buffer-Rope*.

B. Alur Pemecahan Masalah

Berikut merupakan alur pemecahan masalah pada penelitian ini yang dimana bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Pemecahan Masalah

Langkah-langkah untuk pemecahan masalah yang perlu dilakukan pada penelitian ini yaitu bisa dilihat pada penjelasan sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Berdasarkan kategorinya, teknik dalam pengumpulan data ada dua, dimana ada data primer dan juga data sekunder. Data primer dihasilkan dari pengukuran waktu siklus setiap stasiun kerja, sementara data sekunder meliputi informasi terkait permintaan produksi periode Februari 2024-Januari 2025, sumber daya kerja, serta faktor efisiensi dan juga utilitas. Setelah seluruh data terkumpul, dilakukan pengujian keseragaman dan uji kecukupan menggunakan rumus pada Persamaan 1 hingga Persamaan 4. Selanjutnya, data hasil pengukuran dikelompokkan ke dalam beberapa subkelompok (subgroup) untuk keperluan analisis lebih lanjut [8] [9].

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (1)$$

$$BKA = Z + \sigma\bar{x} \quad (2)$$

$$BKB = Z - \sigma\bar{x} \quad (3)$$

Jika data sudah seragam, maka selanjutnya adalah uji kecukupan dengan rumus:

$$N' = \left(\frac{\frac{2}{a} \sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}}{\sum x_i} \right)^2 \quad (4)$$

Keterangan:

\bar{x} = Rata – rata dari waktu pengamatan

n = Banyak data yang diukur

σ = Standar Deviasi

a = Derajat Ketelitian

N' = Kecukupan data

BKA = Batas Kontrol Atas

BKB = Batas kontrol bawah

2. Pengolahan Data

Metode pengolahan data dalam penelitian ini salah satunya melibatkan perhitungan dari waktu normal juga waktu baku. Untuk waktu normal merupakan waktu kerja dengan pertimbangan faktor penyesuaian, dimana berasal dari hasil pengalian rata-rata waktu siklus dan faktor penyesuaian. Kemudian untuk, waktu baku digunakan untuk menyelesaikan tugas yang diterima tenaga kerja dalam kondisi normal [10]. Untuk perhitungannya bisa dilihat pada persamaan 5 dan persamaan 6.

$$Wn = Ws \times p \quad (5)$$

$$Wb = Wn \times \frac{100\%}{100\%-Allowance (\%)} \quad (6)$$

Keterangan:

Wn = Waktu Normal

Ws = Waktu Siklus

P = Faktor Penyesuaian

Wb = Hasil Waktu Baku

3. Identifikasi *Constraint*

Langkah identifikasi *constraint* dilakukan secara menyeluruh sepanjang proses guna mengetahui pada titik mana terdapat adanya *constraint* pada sebuah sistem. Proses identifikasi ini mencakup aktivitas yang berkaitan dengan proses kerja [11]. Berikut Rumus yang digunakan untuk menghitung ketersediaan dan kebutuhan kapasitas bisa dilihat pada persamaan 7, 8, dan 9:

$$CA = Waktu Tersedia \times Efisiensi \times Utinitas \quad (7)$$

$$CR = \sum a_{ik} b_{kj} \quad (8)$$

$$\text{Varians} = CA - CR \quad (9)$$

Keterangan:

CA = Kapasitas Tersedia

CR = Kapasitas Dibutuhkan

a_{ik} = Waktu Standar Untuk Menyelesaikan Elemen k Di Stasiun Kerja i

b_{kj} = Total Dari Produk k Yang Mau Diproses

4. Eksploitasi *Constraint*

Setelah titik *bottleneck* yang terjadi berhasil diidentifikasi, maka tahap selanjutnya adalah perlu dilakukan suatu eksploitasi *constraint*. Tahapan ini bertujuan untuk menentukan jumlah produksi optimal berdasarkan sumber daya yang tersedia, sehingga *output* yang dihasilkan dapat dimaksimalkan.

5. Sub Ordinasi Non-*Constraint*

Langkah ini dilakukan untuk menyalaraskan semua sumber daya yang tidak mengalami *bottleneck* dengan ritme kerja *bottleneck*. Penyesuaian dilakukan menggunakan metode *Drum-Buffer-Rope* (DBR) yang terdiri dari tiga elemen utama: *drum* sebagai pengatur irama produksi, *buffer* sebagai penyangga waktu atau material untuk menghindari *idle*, dan *rope* sebagai pengontrol aliran material [12]. Penerapan metode ini bertujuan agar seluruh proses terfokus pada mendukung kinerja *bottleneck*.

6. Elevasi *Constraint*

Tahap ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas atau mengatasi hambatan yang terjadi pada stasiun kerja yang mengalami *bottleneck*. Langkah ini dilakukan agar stasiun tersebut tidak lagi menjadi kendala dalam sistem produksi dan dapat mengimbangi permintaan yang ditetapkan.

Hasil dan Pembahasan

A. Pengumpulan Data

Untuk pengumpulan data disini meliputi data permintaan, data sumber daya kerja, data efisiensi dan utilitas, dan pengukuran waktu baku dimana didapatkan dari perhitungan waktu siklus dengan jam henti, pengukuran waktu jam henti yang dimaksud adalah metode pengukuran waktu kerja (saat sedang melakukan beraktivitas) dengan menggunakan alat utama berupa *stopwatch* untuk mencatat durasi aktivitas tersebut [13], pada produksi *corrugated box* dengan tipe B1 dan Deicut dengan lima stasiun kerja yaitu *Corrugating*, *Converting*, *Gluing*, *Stitching*, dan *Packing*. Untuk pengukuran tenaga kerja dan waktu penting bagi perusahaan sebagai acuan untuk menilai capaian kerja, serta membantu dalam pengendalian produksi [14]. Dan berikut merupakan data yang digunakan dalam pengolahan data pada permasalahan ini:

Bulan	B1	Deicut	Hari Kerja
Feb 2024	1480	443	23
Mar 2024	1735	969	24
Apr 2024	1303	543	24
Mei 2024	1745	708	22
Jun 2024	1599	956	23
Jul 2024	1483	768	26
Ags 2024	1588	814	27
Sep 2024	1593	697	25
Okt 2024	1653	737	27
Nov 2024	1513	686	25
Des 2024	1625	676	25
Jan 2025	438	610	26

Tabel 1. Data Permintaan Produk dan Hari Kerja

Stasiun Kerja	Jumlah Mesin	Jam Kerja/Hari	Ef	U
<i>Corrugating</i>	4	8	96%	92%
<i>Converting</i>	3	8	90%	92%
<i>Gluing</i>	3	8	90%	92%
<i>Stitching</i>	3	8	95%	92%
<i>Packing</i>	4	8	80%	92%

Tabel 2. Sumber Daya Kerja, Faktor Efisiensi, Faktor Utilitas

B. Pengolahan Data

Berdasarkan hasil perhitungan uji keseragaman dan juga uji kecukupan data, diperoleh pengukuran waktu baku untuk masing-masing dari stasiun kerja diproses produksi *corrugated box* dengan tipe B1 dan Deicut, yang tertera pada Tabel 3 berikut.

Stasiun Kerja	Waktu Baku (menit)	
	B1	Deicut
Corrugating	8,11	7,85
Converting	11,43	11,38
Gluing	5,02	4,17
Stitching	13,46	12,94
Packing	9,69	10,13

Tabel 3. Pengukuran Waktu Baku

C. Identifikasi *Constraint*

Identifikasi stasiun kerja yang menjadi *bottleneck* dilakukan yaitu membandingkan antara kapasitas tersedia (CA) dan kapasitas yang dibutuhkan (CR). Perbedaan antara keduanya menjadi indikator utama untuk menilai apakah kapasitas di setiap stasiun kerja mencukupi. Bila selisih tersebut bernilai negatif, berarti kapasitas yang tersedia tidak mampu memenuhi permintaan produksi, sehingga stasiun kerja tersebut dikategorikan sebagai *bottleneck*. Sebaliknya, apabila selisih bernilai positif, maka kapasitas dianggap memadai dan tidak menjadi sumber hambatan dalam proses produksi, untuk hasilnya tertera pada Tabel 4 berikut.

Stasiun Kerja	Bulan	CA	CR	Varians	Presentase	Keterangan
1	Feb 2024	39002	15481	23521	39,69%	NonBottleneck
	Mar 2024	40698	21680	19018	53,27%	NonBottleneck
	Apr 2024	40698	14831	25867	36,44%	NonBottleneck
	Mei 2024	37306	19711	17595	52,84%	NonBottleneck
	Jun 2024	39002	20475	18527	52,50%	NonBottleneck
	Jul 2024	44089	18058	26032	40,96%	NonBottleneck
	Ags 2024	45785	19270	26515	42,09%	NonBottleneck
	Sep 2024	42394	18392	24002	43,38%	NonBottleneck
	Okt 2024	45785	19193	26592	41,92%	NonBottleneck
	Nov 2024	42394	17657	24737	41,65%	NonBottleneck
	Des 2024	42394	18487	23907	43,61%	NonBottleneck
2	Jan 2025	44089	8342	35747	18,92%	NonBottleneck
	Feb 2024	27423	21956	5467	80,06%	NonBottleneck
	Mar 2024	28616	30857	-2241	107,83%	Bottleneck
	Apr 2024	28616	21072	7544	73,64%	NonBottleneck
	Mei 2024	26231	28001	-1770	106,75%	Bottleneck
	Jun 2024	27423	29155	-1731	106,31%	Bottleneck
	Jul 2024	31000	25689	5311	82,87%	NonBottleneck
	Ags 2024	32193	27413	4780	85,15%	NonBottleneck
	Sep 2024	29808	26139	3669	87,69%	NonBottleneck
	Okt 2024	32193	27279	4913	84,74%	NonBottleneck
	Nov 2024	29808	25099	4709	84,20%	NonBottleneck

Stasiun Kerja	Bulan	CA	CR	Varians	Presentase	Keterangan
3	Des 2024	29808	26265	3543	88,11%	<i>NonBottleneck</i>
	Jan 2025	31000	11948	19052	38,54%	<i>NonBottleneck</i>
	Feb 2024	27423	9273	18150	33,81%	<i>NonBottleneck</i>
	Mar 2024	28616	12748	15868	44,55%	<i>NonBottleneck</i>
	Apr 2024	28616	8802	19813	30,76%	<i>NonBottleneck</i>
	Mei 2024	26231	11708	14523	44,64%	<i>NonBottleneck</i>
	Jun 2024	27423	12011	15412	43,80%	<i>NonBottleneck</i>
	Jul 2024	31000	10645	20356	34,34%	<i>NonBottleneck</i>
	Ags 2024	32193	11363	20829	35,30%	<i>NonBottleneck</i>
	Sep 2024	29808	10900	18908	36,57%	<i>NonBottleneck</i>
	Okt 2024	32193	11368	20825	35,31%	<i>NonBottleneck</i>
	Nov 2024	29808	10453	19355	35,07%	<i>NonBottleneck</i>
4	Des 2024	29808	10973	18835	36,81%	<i>NonBottleneck</i>
	Jan 2025	31000	4743	26257	15,30%	<i>NonBottleneck</i>
	Feb 2024	28947	25646	3301	88,60%	<i>NonBottleneck</i>
	Mar 2024	30205	35882	-5677	118,79%	<i>Bottleneck</i>
	Apr 2024	30205	24558	5647	81,30%	<i>NonBottleneck</i>
	Mei 2024	27688	32640	-4952	117,88%	<i>Bottleneck</i>
	Jun 2024	28947	33884	-4937	117,06%	<i>Bottleneck</i>
	Jul 2024	32723	29891	2832	91,35%	<i>NonBottleneck</i>
	Ags 2024	33981	31899	2082	93,87%	<i>NonBottleneck</i>
	Sep 2024	31464	30453	1011	96,79%	<i>NonBottleneck</i>
	Okt 2024	33981	31777	2204	93,51%	<i>NonBottleneck</i>
	Nov 2024	31464	29234	2230	92,91%	<i>NonBottleneck</i>
5	Des 2024	31464	30611	853	97,29%	<i>NonBottleneck</i>
	Jan 2025	32723	13786	18937	42,13%	<i>NonBottleneck</i>
	Feb 2024	32502	18831	13671	57,94%	<i>NonBottleneck</i>
	Mar 2024	33915	26631	7284	78,52%	<i>NonBottleneck</i>
	Apr 2024	33915	18129	15786	53,45%	<i>NonBottleneck</i>
	Mei 2024	31089	24084	7005	77,47%	<i>NonBottleneck</i>
	Jun 2024	32502	25182	7320	77,48%	<i>NonBottleneck</i>
	Jul 2024	36741	22153	14588	60,29%	<i>NonBottleneck</i>
	Ags 2024	38154	23636	14518	61,95%	<i>NonBottleneck</i>
	Sep 2024	35328	22499	12829	63,69%	<i>NonBottleneck</i>
	Okt 2024	38154	23486	14668	61,56%	<i>NonBottleneck</i>

Stasiun Kerja	Bulan	CA	CR	Varians	Presentase	Keterangan
	Nov 2024	35328	21613	13715	61,18%	<i>NonBottleneck</i>
	Des 2024	35328	22597	12731	63,96%	<i>NonBottleneck</i>
	Jan 2025	36741	10425	26316	28,37%	<i>NonBottleneck</i>

Tabel 4. Identifikasi *Constraint*

Berdasarkan Tabel 4 tersebut, diketahui bahwa *bottleneck* terjadi pada stasiun kerja *Converting* (SK-2) dan *Stitching* (SK-4) di bulan Maret, Mei dan Juni 2024. Hal ini disebabkan oleh kapasitas waktu produksi yang tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan produksi. Kondisi ini menunjukkan adanya kendala pada stasiun-stasiun tersebut dalam mendukung aliran produksi yang optimal.

D. Eksploitasi *Constraint*

Berdasarkan data yang diperoleh, diketahui bahwa produk *corrugated box* tipe B1 memiliki nilai *throughput* sebesar Rp18.000, sementara tipe Diecut menghasilkan Rp24.000. Untuk mencapai *throughput* dan jumlah produksi yang optimal, diperlukan upaya eksplorasi terhadap *constraint* dengan meningkatkan kinerja stasiun kerja yang menjadi *bottleneck*. Proses ini dilakukan menggunakan pendekatan *linear programming*. Pemrograman linier adalah teknik matematis untuk mangatur penggunaan sumber daya terbatas agar bisa mencapai hasil optimal, seperti keuntungan yang maksimal atau bisa meminimalkan biaya. Modelnya terdiri dari fungsi tujuan dan sejumlah persamaan linier [15]. Berdasarkan hasil identifikasi *bottleneck* pada Tabel , ditemukan bahwa stasiun kerja *converting* (SK-2) dan *Stitching* (SK-4) merupakan titik kendala dalam proses produksi. Oleh karena itu, fokus eksplorasi *constraint* diarahkan pada kedua stasiun kerja ini setiap bulan, dengan rincian sebagai berikut:

$$\text{Maks. : } Z = 18000x_1 + 24000x_2$$

$$s.t. \quad : 8,11x_1 + 7,85x_2 \leq 40689 \dots (SK - 1)$$

$$11,43x_1 + 11,38x_2 \leq 28616 \dots (SK - 2)$$

$$5,02x_1 + 4,17x_2 \leq 28616 \dots (SK - 3)$$

$$13,46x_1 + 12,95x_2 \leq 30205 \dots (SK - 4)$$

$$9,69x_1 + 10,13x_2 \leq 33915 \dots (SK - 5)$$

$$x_1 \leq 17755$$

$$x_2 \leq 8607$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Perhitungan model matematis *Linear Programming* yang telah dibuat digunakan sebagai data *input* dalam *worksheet* pada *software* WinQSB untuk memperoleh solusi yang optimal. Tampilan *input* perhitungan tersebut disajikan pada Gambar 4.

Variable -->	X1	X2	Direction	R. H. S.
Maximize	18000	24000		
C1	8.11	7.85	<=	40698
C2	11.43	11.38	<=	28616
C3	5.02	4.17	<=	28616
C4	13.46	12.95	<=	30205
C5	9.69	10.13	<=	33915
C6	1	0	<=	17755
C7	0	1	<=	8607
C8	1	0	>=	0
C9	0	1	>=	0
LowerBound	0	0		
UpperBound	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous		

Gambar 2. *Input* data pada *software* WinQSB

Untuk *output* dari perhitungan dari *linear programming* dengan *software* WinQSB ditunjukan pada gambar 3. di bawah ini.

09:20:57		Tuesday	June	10	2025		
Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c[i]	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c[i]	Allowable Max. c[i]
1 X1	0	18.000,0000	0	-6.945,1740	at bound	-M	24.945,1700
2 X2	2.332,4320	24.000,0000	55.978.380,0000	0	basic	17.317,9800	M
Objective Function	(Max.) =	55.978.380,0000					
Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1 C1	18.309,5900	<=	40.698,0000	22.388,4100	0	18.309,5900	M
2 C2	26.543,0800	<=	28.616,0000	2.072,9180	0	26.543,0800	M
3 C3	9.726,2430	<=	28.616,0000	18.889,7600	0	9.726,2440	M
4 C4	30.205,0000	<=	30.205,0000	0	1.853,2820	0	32.563,9000
5 C5	23.627,5400	<=	33.915,0000	10.287,4600	0	23.627,5400	M
6 C6	0	<=	17.755,0000	17.755,0000	0	0	M
7 C7	2.332,4320	<=	8.607,0000	6.274,5670	0	2.332,4330	M
8 C8	0	>=	0	0	0	-M	0
9 C9	2.332,4320	>=	0	2.332,4320	0	-M	2.332,4320

Gambar 3. *Output* data pada *software* WinQSB

Berdasarkan *output* dari *software* WinQSB tersebut dapat disimpulkan hasil diketahui nilai $x_1 = 0$ dan $x_2 = 2332$. Maka untuk nilai dari $Z = 18000x_1 + 24000x_2$ adalah $Z = 18000(0) + 24000(2332) = \text{Rp } 55.987.380$

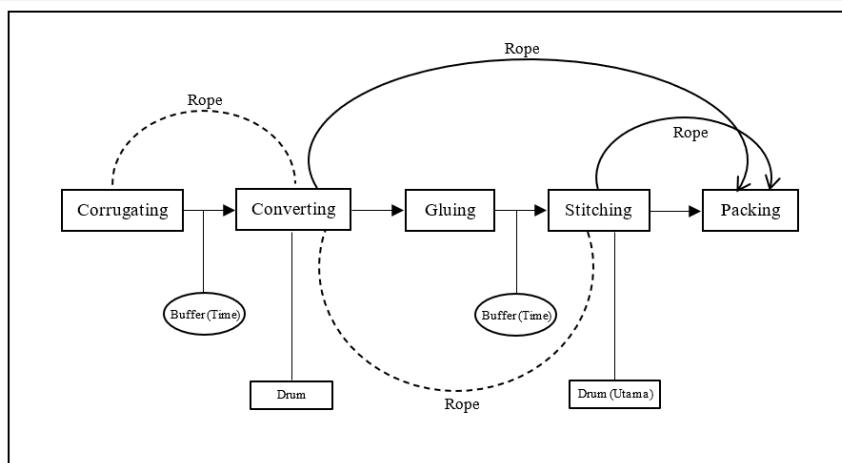
E. Sub Ordinasi Non-Constraint

Eksplorasi terhadap *constraint* bertujuan untuk mengoptimalkan *output* dari titik kendala dalam sistem produksi. Namun, upaya ini harus didukung oleh keputusan operasional yang selaras dengan kapasitas dari stasiun kerja yang menjadi *constraint*. Untuk memastikan kinerja sistem tetap stabil, stasiun kerja *non-constraint* perlu disesuaikan atau dengan menerapkan metode *Drum-Buffer-Rope*. Berdasarkan hasil identifikasi, stasiun kerja *converting* (SK-2) dan *stitching* (SK-4) diketahui sebagai *bottleneck*, sehingga keduanya berperan sebagai *drum* dalam tahap ini. Setelah itu, dilakukan penentuan *buffer* menggunakan pendekatan *time buffer*.

Stasiun Kerja	Bulan	Kapasitas Tersedia	Kapasitas yang Dibutuhkan	Time Buffer
2	Mar 2024	28616	30857	2241
	Mei 2024	26231	28001	1770
	Jun 2024	27423	29155	1731
4	Mar 2024	30205	35882	5677
	Mei 2024	27688	32640	4952
	Jun 2024	28947	33884	4937

Tabel 5. Perhitungan *Time Buffer*

Berdasarkan hasil perhitungan, untuk nilai *time buffer* diperoleh dari selisih antara kapasitas dibutuhkan dan kapasitas tersedia. Dimana pada bulan Maret, stasiun kerja *Stitching* (SK-4) tercatat memiliki nilai *bottleneck* tertinggi, yaitu sebesar 35882 menit. Oleh karena itu, diperlukan pembuatan peta *Drum-Buffer-Rope* untuk menyinkronkan stasiun kerja *bottleneck* tersebut dengan stasiun kerja lainnya. Untuk peta DBR bisa dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Peta Drum-Buffer Rope

Dalam peta tersebut, metode *Drum-Buffer-Rope* diterapkan pada stasiun kerja yang teridentifikasi sebagai *bottleneck*, yaitu stasiun *Stitching* dan *Converting*. Drum ditempatkan pada kedua stasiun tersebut sebagai penanda bahwa keduanya merupakan titik kendala yang dibatasi oleh kapasitas waktu. *Time buffer* yang telah dihitung sebelumnya diletakkan sebelum stasiun *bottleneck*, dengan tujuan untuk menjaga kelancaran aliran produksi (*throughput*) dari proses sebelumnya, sekaligus meminimalkan gangguan dan mencegah terjadinya penumpukan produk di dalam sistem produksi.

F. Elevasi Constraint

Tahap elevasi dilakukan sebagai langkah lanjutan dalam upaya perbaikan, di mana usulan pada tahap ini bertujuan untuk menghilangkan constraint dalam proses produksi. Berdasarkan hasil analisis dan eksplorasi pada stasiun kerja *converting* (SK-2) dan *packing* (SK-5), diketahui bahwa kapasitas pada kedua stasiun tersebut masih perlu ditingkatkan. Solusi yang diajukan adalah dengan menambahkan jam kerja lembur sebagai bentuk optimalisasi. Penambahan lembur ini direncanakan akan diterapkan di stasiun *converting* (SK-2) dan *packing* (SK-5) pada bulan Maret, Mei, dan Juni 2025, dengan durasi lembur 2 jam per hari. Solusi penambahan lembur dipilih karena merupakan pendekatan yang paling cepat dan tidak memerlukan investasi besar. Perhitungan mengenai kapasitas waktu tersedia (CA), kapasitas waktu dibutuhkan (CR), serta varians setelah penambahan waktu lembur ditampilkan pada Tabel 6.

Stasiun Kerja	Bulan	CA	CR	Varians	Persentase	Keterangan
2	Mar 2024	35770	30857	4913	86,27%	NonBottleneck
	Mei 2024	32789	28001	4788	85,40%	NonBottleneck
	Jun 2024	34279	29155	5124	85,05%	NonBottleneck
4	Mar 2024	37757	35882	1874	95,04%	NonBottleneck
	Mei 2024	34610	32640	1970	94,31%	NonBottleneck
	Jun 2024	36184	33884	2299	93,65%	NonBottleneck

Tabel 6. Penambahan Waktu Lembur

Oleh karena itu, perlu dilakukan reformulasi model menggunakan pendekatan linear programming untuk mengakomodasi penambahan kapasitas, dengan rincian sebagai berikut::

$$\text{Maks. : } Z = 1500x_1 + 2200x_2$$

$$\text{s.t. : } 8,11x_1 + 7,85x_2 \leq 40698 \dots (\text{SK} - 1)$$

$$11,43x_1 + 11,38x_2 \leq 35770 \dots (\text{SK} - 2)$$

$$5,02x_1 + 4,17x_2 \leq 28616 \dots (\text{SK} - 3)$$

$$13,46x_1 + 12,95x_2 \leq 37757 \dots (\text{SK} - 4)$$

$$9,69x_1 + 10,13x_2 \leq 33915 \dots (SK - 5)$$

$$x_1 \leq 17755$$

$$x_2 \leq 8607$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Model matematis *Linear Programming* yang telah dihitung digunakan sebagai *input* dalam *worksheet* pada *software* WinQSB untuk memperoleh solusi yang optimal. Tampilan input tersebut disajikan pada Gambar 5.

Variable -->	X1	X2	Direction	R. H. S.
Maximize	18000	24000		
C1	8.11	7.85	<=	40698
C2	11.43	11.38	<=	35770
C3	5.02	4.17	<=	28616
C4	13.46	12.95	<=	37757
C5	9.69	10.13	<=	33915
C6	1	0	<=	17755
C7	0	1	<=	8607
C8	1	0	>=	0
C9	0	1	>=	0
LowerBound	0	0		
UpperBound	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous		

Gambar 5. Input data pada *software* WinQSB

Sehingga dihasilkan *output* perhitungan dari *linear programming* dengan *software* WinQSB ditunjukkan pada gambar 5 di bawah ini.

	09:21:59		Tuesday	June	10	2025		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c[ij]	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c[ij]	Allowable Max. c[ij]
1	X1	0	18.000,0000	0	-6.945,1740	at bound	-M	24.945,1700
2	X2	2.915,5980	24.000,0000	69.974.360,0000	0	basic	17.317,9800	M
	Objective Function	(Max.) = 69.974.360,0000						
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	22.887,4500	<=	40.698,0000	17.810,5500	0	22.887,4500	M
2	C2	33.179,5100	<=	35.770,0000	2.590,4890	0	33.179,5100	M
3	C3	12.158,0500	<=	28.616,0000	16.457,9500	0	12.158,0500	M
4	C4	37.757,0000	<=	37.757,0000	0	1.853,2820	0	40.704,8800
5	C5	29.535,0100	<=	33.915,0000	4.379,9870	0	29.535,0100	M
6	C6	0	<=	17.755,0000	17.755,0000	0	0	M
7	C7	2.915,5980	<=	8.607,0000	5.691,4010	0	2.915,5990	M
8	C8	0	>=	0	0	0	-M	0
9	C9	2.915,5980	>=	0	2.915,5980	0	-M	2.915,5980

Gambar 6. Output data pada *software* WinQSB

Berdasarkan hasil *output* dari *software* WinQSB diketahui nilai $x_1 = 0$ dan $x_2 = 3654,63$. Maka untuk nilai dari $Z = 18000x_1 + 24000x_2$ adalah $Z = 18000(0) + 24000(2915) = 69.974.360$

Untuk peningkatan biaya lembur pekerja, perusahaan perlu mengeluarkan biaya lembur. Jika dalam satu hari dilakukan lembur selama 2 jam maka total biaya yang dikeluarkan perusahaan adalah Rp 26.000 per tenaga kerja, maka total tambahan waktu dapat dikonversikan kedalam jumlah hari lembur. Diawal kondisi SK-2 memiliki kapasitas waktu sebesar 28616 menit, dan untuk SK-4 sebesar 30205 menit. Setelah dilakukan penambahan jam lembur maka waktu meningkat untuk SK-2 menjadi 35770 menit dan SK-4 menjadi 37757 menit. Dari tambahan tersebut menghasilkan peningkatan untuk SK-2 sebesar 7154 menit (119 jam) dan SK-4 sebesar 7552 menit (126 jam). Berikut merupakan perhitungan biaya lembur secara rincinya

$$SK - 2 = \frac{119 \text{ Jam}}{2 \text{ Jam}} = 60 \text{ Hari}$$

$$SK - 4 = \frac{126 \text{ Jam}}{2 \text{ Jam}} = 63 \text{ Hari}$$

Biaya Lembur = Rp 26.000 × 2 Pekerja = Rp 52.000

Stasiun kerja	Hari Kerja	Biaya Lembur/Hari	Total Biaya Lembur
2	60	Rp 52.000	Rp 3.120.000
4	63	Rp 52.000	Rp 3.276.000
Total			Rp 6.396.000

Tabel 7. Biaya Lembur Per Hari

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } Throughput \text{ Akhir} &= \text{Rp } 69.974.360 - \text{Rp } 6.396.000 \\ &= \text{Rp } 63.578.360 \end{aligned}$$

Perbandingan hasil *throughput* yang didapatkan pada proses perbaikan constraints pada stasiun kerja pada sistem yang mengalami *bottleneck* dapat dilihat pada Tabel 8.

	X1	X2	Throughput
Kondisi Awal	0	2332	55.978.380
Setelah Perbaikan	0	3348	63.578.360

Tabel 8. Rekapitulasi *Throughput*

$$\begin{aligned} \text{Hasil kenaikan } throughput &= \text{Hasil Akhir } Throughput - \text{Hasil Awal } Throughput \\ &= \text{Rp } 63.578.360 - \text{Rp } 55.978.380 \\ &= \text{Rp } 7.599.980 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peningkatan peningkatan } throughput &= 100\% - \left[\left(\frac{55.978.380}{63.578.360} \right) \times 100\% \right] \\ &= 100\% - 88\% \\ &= 12\% \end{aligned}$$

Dari tabel tersebut, menunjukkan bahwa *throughput* pada kondisi awal sebesar Rp 55.978.380, sedangkan *throughput* setelah penambahan waktu lembur sebesar Rp 63.578.360. Sehingga didapatkan kenaikan *throughput* sebesar Rp 7.599.980 atau persentase kenaikan sebesar 12%, dicapai dengan biaya lembur sebesar Rp 6.396.000. Artinya, rasio keuntungan terhadap biaya lembur mencapai 1,19 kali lipat. Namun, untuk menilai efisiensi jangka panjang, perusahaan juga perlu mempertimbangkan dampak kelelahan operator, potensi overtime fatigue, dan biaya pemeliharaan mesin akibat jam kerja berlebih.

Simpulan

Hasil analisis yang dikerjakan dengan pendekatan *Theory of Constraints* (TOC) mengungkapkan bahwa titik *bottleneck* utama dalam proses produksi berada di dua stasiun kerja yaitu *Converting* (SK-2) dan *Stitching* (SK-4). Kondisi ini menyebabkan terjadinya hambatan pada aliran produksi secara keseluruhan, sehingga perlu dilakukan penanganan khusus untuk mengatasi keterbatasan kapasitas di kedua stasiun tersebut. Dengan menerapkan tahapan-tahapan TOC mulai dari identifikasi *bottleneck*, eksploitasi sumber daya yang ada, subordinasi proses lain terhadap *bottleneck*, hingga tahap elevasi dengan penambahan kapasitas, serta diiringi oleh pengaturan alur kerja yang terstruktur menggunakan metode *Drum-Buffer-Rope* (DBR), maka dilakukan pengendalian ketat terhadap kapasitas dan waktu produksi di setiap stasiun kerja. Pada tahap elevasi, langkah yang diambil adalah penambahan waktu lembur sebanyak 8 jam per hari pada stasiun *bottleneck* tersebut, yang berhasil memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan *throughput*. Hasilnya, *throughput* meningkat dari Rp 55.978.380 pada kondisi awal menjadi Rp 63.578.360 setelah penambahan lembur, yang berarti terjadi kenaikan sebesar 12%. Berdasarkan hasil tersebut, bisa disimpulkan bahwa penggunaan kombinasi metode *Theory of constraints* dan *Drum Buffer Rope* secara menyeluruh dan sistematis terbukti efektif dalam mengoptimalkan proses produksi, sehingga secara signifikan

mampu meningkatkan jumlah *output* yang dihasilkan dan membantu mencapai target produksi yang telah ditetapkan. Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain keterbatasan data aktual yang hanya mencakup satu tahun produksi, serta ketergantungan pada data historis yang belum tentu mewakili kondisi normal. Untuk pengembangan lebih lanjut, perusahaan dapat melakukan pendekatan automasi pada proses converting dan stitching juga berpotensi meningkatkan efisiensi dan mengurangi ketergantungan terhadap lembur. Evaluasi berkala terhadap efektivitas strategi yang diterapkan juga penting dilakukan sebagai bagian dari upaya perbaikan berkelanjutan.

References

- [1] F. E. Rubik and E. Rusnita, "Analisis Penerapan Rough Cut Capacity Planning (RCCP) dan Theory of Constraint (TOC) untuk Perencanaan Kapasitas Produksi di Konveksi Jogja," *Industrial Innovation and Industrial Engineering Technology* ITN Malang, no. September, pp. 249–253, 2024.
- [2] A. Sugiatna, "Analisis Perencanaan Kapasitas Produksi dengan Menggunakan Metoda Rough Cut Capacity Planning Pendekatan CPOF di PT. XYZ," *Sistemik: Jurnal Ilmiah Nasional Bidang Ilmu Teknik*, vol. 9, no. 2, pp. 28–32, 2021, doi: 10.53580/sistemik.v9i02.61.
- [3] R. Ervil and Z. N. Yulanda, "Identifikasi Kendala pada Proses Produksi dengan Menggunakan Theory of Constraints (TOC) dalam Mengoptimalkan Kapasitas Produksi PDAM Gunung Pangilun," *Jurnal Sains dan Teknologi: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknologi Industri*, vol. 20, no. 2, p. 162, 2020, doi: 10.36275/stsp.v20i2.295.
- [4] O. C. Situmorang, R. R. D. Satya, and A. Herliawan, "Optimalisasi Perencanaan Kapasitas Produksi dengan Metode Theory of Constraints dan Rough Cut Capacity Planning," *Barometer*, vol. 8, no. 1, pp. 19–28, 2023, doi: 10.35261/barometer.v8i1.6826.
- [5] M. G. Ramadhan and P. Moengin, "Perancangan Model Simulasi Lantai Produksi PT. Elangperdana Tyre Industry Menggunakan Metode Theory of Constraints untuk Meminimasi Waktu Produksi," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 10, no. 3, pp. 283–297, 2020, doi: 10.25105/jti.v10i3.8492.
- [6] R. F. Adhiputra, "Optimalisasi Kapasitas Produksi Produk PDS Fender pada PT. Arkha Jayanti Persada dengan Theory of Constraints Menggunakan Lindo dan POM-QM," *Journal of Industrial Services*, vol. 7, no. 1, p. 83, 2021, doi: 10.36055/jiss.v7i1.12049.
- [7] A. Bidiawati and L. Setiawati, "Kajian Drum-Buffer-Rope Berbasis Theory of Constraints untuk Menyeimbangkan Aliran Produksi," *Indonesian Journal of Industrial Quality Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 59–68, 2020, doi: 10.34010/ijqe.v8i1.2764.
- [8] N. Fathurohman, "Usulan Waktu Standar Kerja pada Produksi Kaos Polos Menggunakan Metode Stopwatch Time Study di Suckseed Konveksi Tasikmalaya," *Jurnal Mahasiswa Teknik Industri Universitas Galuh*, vol. 1, no. 1, pp. 31–40, 2020.
- [9] A. Latief, P. F. Melu, I. H. Lahay, and Hasanuddin, "Pengukuran Waktu Kerja Karyawan pada Pengemasan Es Kristal Menggunakan Metode Time Study," *Jambura Industrial Review*, vol. 1, no. 2, pp. 48–57, 2021, doi: 10.37905/jirev.1.2.48-57.
- [10] M. Rahayu and S. Juhara, "Pengukuran Waktu Baku Perakitan Pena dengan Menggunakan Waktu Jam Henti saat Praktikum Analisa Perancangan Kerja," *Jurnal Pendidikan dan Aplikasi Industri*, vol. 7, no. 2, pp. 93–97, 2020.
- [11] S. Salimah, M. Dzikron, and N. P. A. Hidayat, "Reduksi Stasiun Kerja Bottleneck pada Produksi Pakaian Gamis dan Koko dengan Menggunakan Theory of Constraints," *Jurnal Riset Teknik Industri*, vol. 1, no. 1, pp. 49–57, 2021, doi: 10.29313/jrti.v1i1.140.
- [12] G. F. Auliya, D. D. Damayanti, and P. P. Suryadhini, "Perancangan Penjadwalan Flow Shop dengan Metode Drum-Buffer-Rope untuk Meminimasi Makespan pada Proses Percetakan Buku Teks Pelajaran di PT. Tharsina Mediana Utama," *E-Proceeding of Engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 2617–2625, 2024.
- [13] D. D. Saputra, "Usulan Penerapan Theory of Constraints guna Mengoptimalkan Kapasitas Produksi pada PT. XYZ," *Scientific Journal of Industrial Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 7–11, 2020.
- [14] A. Y. Pradana and F. Pulansari, "Analisis Pengukuran Waktu Kerja dengan Stopwatch Time Study untuk Meningkatkan Target Produksi di PT. XYZ," *Juminten: Jurnal Manajemen Industri dan Teknologi*, vol. 2, no. 1, pp. 13–24, 2021, doi: 10.33005/juminten.v2i1.217.

-
- [15] S. Aini, A. Fikri, and R. Sukandar, "Optimalisasi Keuntungan Produksi Makanan Menggunakan Pemrograman Linier Melalui Metode Simpleks," *Jurnal Bayesian*, vol. 1, no. 1, pp. 1–16, 2021.