

# OPTIMALISASI PERENCANAAN KAPASITAS PRODUKSI DENGAN METODE *THEORY OF CONSTRAINTS* DAN *ROUGH CUT CAPACITY PLANNING*

## OPTIMIZATION OF PRODUCTION CAPACITY PLANNING WITH THE THEORY OF CONSTRAINTS AND ROUGH-CUT CAPACITY PLANNING METHODS

<sup>1</sup>Oktaviana Claudia Situmorang\*, <sup>2</sup>Ririn Regiana Dwi Satya, <sup>3</sup>Aditya Herliawan

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Indraprasta PGRI

<sup>1</sup>oktavianaclaudias79@gmail.com, <sup>2</sup>ririn\_regiana@unindra.ac.id, <sup>3</sup>herliawan.aditya.2@gmail.com

### INFO ARTIKEL

Diterima: 17 Juli 2022

Direvisi: 26 Oktober 2022

Disetujui: 13 November 2022

#### Kata Kunci:

*Constraints*, Kapasitas, LINDO, *Rough Cut Capacity Planning (RCCP)*, *Theory Of Constraints (TOC)*

#### Keywords:

*Constraints*, Capacity, LINDO, *Theory Of Constraints (TOC)*, *Rough Cut Capacity Planning (RCCP)*

### ABSTRAK

PT. MTI memiliki sebuah masalah yang sering terjadi pada perencanaan kapasitas produksinya, dimana sering terjadi keterlambatan pengiriman pada produk yang dipesan. Salah satu penyebabnya juga diakibatkan adanya penumpukan proses produksi pada salah satu stasiun kerja sehingga mengakibatkan aliran proses produksi menjadi terhambat. *Theory Of Constraints (TOC)* merupakan metode perbaikan proses yang membantu dalam pengambilan keputusan dalam mengelola sumber daya. Metode TOC juga sangat bermanfaat untuk melakukan optimalisasi kapasitas produksi dengan menganalisa dan meminimalisir stasiun yang mengalami *bottleneck* yang menghambat jalannya produksi. Selain itu metode *Rough Cut Capacity Planning (RCCP)* merupakan sebuah metode untuk menghitung kebutuhan kapasitas dan membandingkannya dengan kapasitas yang tersedia. Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data permintaan produk, waktu pengerjaan produk, struktur produk, dan waktu jam kerja. Dari hasil pengolahan data dengan pendekatan TOC didapatkan hasil bahwa stasiun kerja yang mengalami *bottleneck* yaitu stasiun kerja *welding* dan besar pemberian *buffer* pada stasiun kerja kendala adalah sebesar 5,22 jam untuk sebelum stasiun kerja kendala dan 4,97 jam untuk setelah stasiun kerja kendala. Dan hasil pengolahan data dengan RCCP dan *software* LINDO didapatkan hasil optimal kapasitas produksi yang mampu dihasilkan oleh PT. MTI adalah sebesar 181 unit perbulan dengan pembagian 101 unit untuk *Pallet 1A*, dan 80 unit untuk *Pallet 3A*, dan berdasarkan perbandingan MPS terbesar dinyatakan bahwa kapasitas yang dimiliki perusahaan belum cukup untuk memenuhi permintaan terbesar pada MPS dibulan November. Sehingga perusahaan perlu melakukan penambahan waktu jam kerja lembur atau dengan menambah beberapa unit mesin pada stasiun kerja terkendala pada stasiun kerja *welding*.

### ABSTRACT

PT. MTI has a problem that often occurs in planning its production capacity, where there are often delays in the delivery of ordered products. One of the causes is also the inhibition of the production process at one of the workstations, resulting in the flow of the production process. *Theory Of Constraints (TOC)* is an improvement method that helps in making decisions in managing resources. The TOC method is also very useful for optimizing production capacity by analyzing and minimizing time constraints that support production. In addition, the *Rough Cut Capacity Planning (RCCP)* method is a method for calculating capacity requirements and comparing them with the available capacity. The data used in this study are product demand data, product processing time, product structure, and working hours. From the results of data processing with the TOC approach, it was found that the workstation experiencing obstacles was the welding workstation and the amount of buffering at the workstation was 5.22 hours before the workstation and 4.97 hours after the obstacle station. And the results of data processing with RCCP and LINDO software get the optimal production capacity produced by PT. MTI is 181 units per month with the distribution of 101 units for *Pallet 1A*, and 80 units for *Pallet 3A*, and based on the largest MPS comparison, it is stated that the company's capacity is not sufficient to meet the largest demand for MPS in November. So the company needs to increase the working hours overtime or by adding several units of machines to the workstation constrained by the welding station.

\*Corresponding author: oktavianaclaudias79@gmail.com

## I. PENDAHULUAN

Perencanaan dan pengendalian adalah dua fungsi manajemen yang tidak dapat dipisahkan dalam setiap bidang kegiatan termasuk kegiatan produksi. Perencanaan adalah langkah pertama dalam proses manajemen yang meliputi

penetapan tujuan dan sasaran yang ingin dicapai dan keputusan tentang bagaimana cara untuk mencapai tujuan dan sasaran tersebut [1].

Perencanaan dan pengendalian kapasitas produksi sejatinya sangat perlu dilakukan sebagai upaya perusahaan untuk meminimalisir terjadinya *bottleneck* pada suatu stasiun kerja yang akan berpengaruh pada target produksi

yang ingin dicapai. Kapasitas didefinisikan sebagai jumlah output (produk) maksimum yang dapat dihasilkan suatu fasilitas produksi dalam suatu selang waktu tertentu [2]. Dengan menerapkan manajemen kapasitas yang baik, maka perusahaan akan mampu memaksimalkan output yang ada. Dengan begitu perusahaan dapat memastikan kapasitas yang tersedia agar terhindar dari keterlambatan pengiriman produk ke konsumen.

PT. MTI merupakan perusahaan swasta nasional yang bergerak dibidang fabrikasi manufaktur yang memproduksi *pallet* besi dengan kualitas ekspor. Dalam sistem produksinya PT. MTI menggunakan sistem *Make to Order*, di mana proses produksi dilakukan sesuai dengan permintaan yang sudah dipesan sebelumnya. PT. MTI memiliki sebuah masalah yang sering terjadi pada kapasitas produksi, di mana dalam proses produksi *pallet* sering kali tidak mencapai target permintaan yang sudah dipesan. Hal ini terjadi akibat terjadinya *bottleneck* yang terjadi di stasiun kerja yang mengakibatkan aliran proses produksi menjadi terhambat. Berikut merupakan data pemesanan dan keterlambatan pengiriman produk di PT. MTI.

TABEL I  
DATA KETERLAMBATAN PRODUK

Bulan	Tanggal Terima Order	Jumlah /Unit	Lama Pengerjaan	Batas Waktu Pengiriman	Keterlambatan
Januari	7-1-2020	126	25 Hari	28-1-2020	4 Hari
Februari	12-2-2020	100	20 Hari	29-2-2020	3 Hari
Maret	9-3-2020	165	28 Hari	4-4-2020	1 Hari
April	13-4-2020	80	17 Hari	30-4-2020	-
Mei	20-5-2020	135	26 Hari	13-5-2020	1 Hari

Dari Tabel I dapat dijelaskan bahwa PT. MTI dalam melakukan produksinya masih terdapat keterlambatan pengiriman yang disebabkan lamanya pengerjaan produk. Perusahaan belum mampu mengoptimalkan kapasitas produksinya sehingga waktu pengerjaan produk tidak tepat waktu. Hal tersebut terjadi akibat kurangnya perencanaan dan pengendalian kapasitas produksi yang disebabkan adanya *bottleneck* pada salah satu stasiun kerja.

*Theory of Constrains* (TOC) adalah metode untuk perbaikan proses yang dapat membantu perusahaan dalam pengambilan keputusan untuk pengelolaan sumber daya. Metode ini juga dapat membantu perancangan volume produksi yang sesuai dengan kapasitas produksi yang optimal dengan profit [2]. TOC berfokus pada perbaikan sistem yang didefinisikan sebagai serangkaian proses independent [3]. TOC dapat diterapkan dalam permasalahan produksi, logistik, rantai pasok, manajemen proyek, penelitian dan pengembangan, dan sebagainya [4]. Metode TOC, sangat bermanfaat untuk melakukan optimalisasi kapasitas produksi dengan menganalisa dan meminimalisir stasiun yang mengalami *bottleneck* yang menghambat jalannya produksi. Suatu kendala sistem membatasi

performansi dari sistem itu, sehingga semua upaya ditujukan untuk memaksimalkan performansi dari kendala ini [5].

*Rough Cut Capacity Planning* (RCCP) merupakan metode untuk menghitung kebutuhan kapasitas secara kasar dan membandingkannya dengan kapasitas yang tersedia [1]. RCCP juga dapat didefinisikan sebagai proses konversi dan rencana produksi ke dalam kebutuhan kapasitas yang berkaitan dengan sumber-sumber daya kritis seperti tenaga kerja, mesin dan peralatan, kapasitas gudang, dll [6].

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh [2], pada penelitian tersebut digunakan metode TOC untuk mengatasi stasiun kerja kendala (*bottleneck*), dimana dalam perhitungannya didapatkan hasil bahwa stasiun kerja *bottleneck* terjadi pada stasiun kerja 7 yang memiliki kapasitas produksi lebih sedikit dibanding stasiun kerja sebelumnya. Selanjutnya pada penelitian yang dilakukan oleh [7] pada penelitiannya yang menggunakan metode TOC untuk mengatasi permasalahan *bottleneck* yang terjadi pada PT XYZ, dari hasil penelitian terdapat stasiun kerja *bottleneck* pada stasiun kerja *casting* dan mendapat perubahan utilisasi dari 147% menjadi 98%. Penelitian sebelumnya juga dilakukan oleh [6], pada penelitiannya menggunakan metode RCCP untuk menganalisis kebutuhan kapasitas produksi di PT Wijaya Karya Beton, berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan terdapat kekurangan kapasitas yang terjadi pada *work centre* III, V, VI, VII, dan dilakukan penyesuaian dan penambahan jam kerja lembur untuk setiap *work centre* tersebut.

Dari uraian di atas, dengan menerapkan metode TOC dan RCCP diharapkan perusahaan mampu mengetahui perencanaan kapasitas yang optimal sehingga proses produksi dapat berjalan lancar. Senada dengan tujuan dari penelitian ini untuk mengoptimalkan kapasitas produksi yang ada dengan pendekatan *Theory Of Constraints* (TOC) dan *Rough Cut Capacity Planning* (RCCP).

## II. METODE PENELITIAN

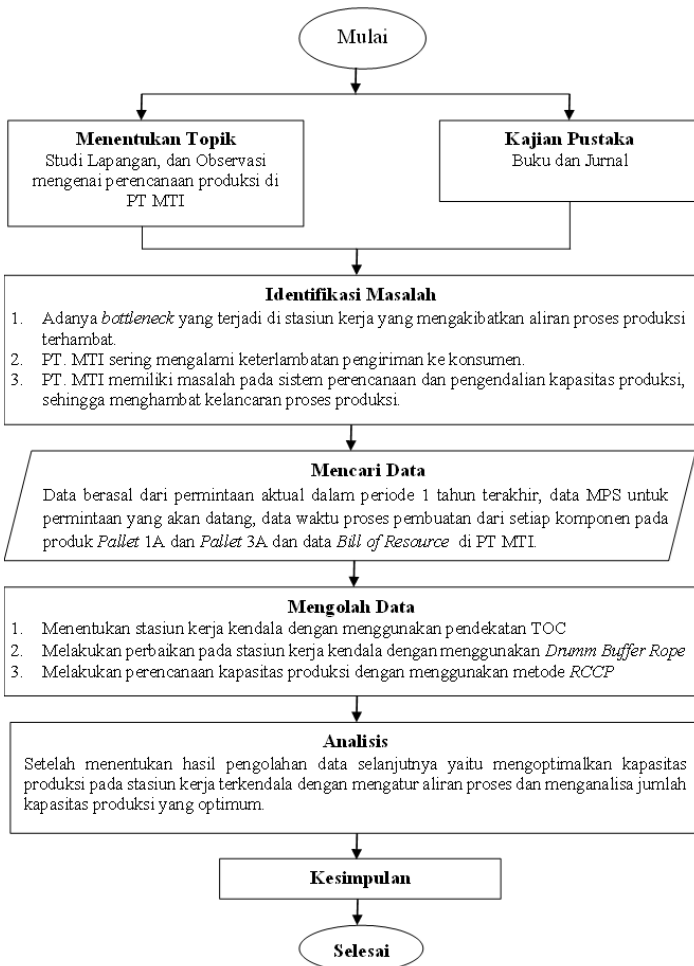
Penelitian dilakukan di PT. MTI yang berlokasi di Jl. Inspeksi Kalimalang Setia Darma, Kab. Bekasi, Provinsi Jawa Barat. Berikut adalah *flowchart* penelitian yang dilakukan dalam penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 1.

### A. Pengumpulan Data

Pada penelitian ini dilakukan beberapa metode dalam pengumpulan data, agar didapatkan kelengkapan data dan informasi. Metode pengumpulan data yang dilakukan kali ini menggunakan beberapa metode yaitu:

#### 1. Studi Pustaka

Penelitian ini dilakukan dengan mencari, membaca, mencatat dan mempelajari sumber-sumber literatur seperti buku-buku, jurnal dan skripsi yang berhubungan dengan *Theory of Constraint*, *Rough Cut Capacity Planning*.



Gambar 1 Flowchart penelitian

2. Studi Lapangan

Teknik pengumpulan data yang digunakan untuk memperoleh data dalam penelitian ini dilakukan dengan cara penelitian lapangan, yaitu penelitian dilakukan secara langsung di PT. MTI. Dimana data yang dikumpulkan berupa data permintaan produk, data waktu pengerjaan produk, data struktur produk pada *Pallet 1A*, dan *Pallet 3A*, dan data waktu jam kerja pada PT. MTI.

Data yang dikumpulkan yaitu data *Master Production Schedule* (MPS) serta data pengukuran waktu siklus. Data MPS digunakan untuk mengetahui rencana produksi yang harus dilakukan oleh perusahaan dalam memproduksi produk pada periode tertentu. Menurut [8], MPS termasuk perencanaan jangka menengah dimana hanya memperhitungkan untuk 1 tahun kedepan. Berdasarkan pernyataan tersebut, data yang dikumpulkan yaitu data MPS untuk dua belas bulan kedepan yakni bulan Januari 2020 sampai Desember 2020 yang dapat dilihat pada Tabel II, dimana data MPS ini hanya terdiri dari 2 produk yaitu produk *Pallet 1A* dan *Pallet 3A* yang sesuai dengan permintaan yang didapat perusahaan pada periode tersebut. Serta data pengukuran waktu siklus pada produksi masing-masing produk tersebut yang dapat dilihat pada Tabel III dan Tabel IV.

TABEL II  
DATA MPS PEMBUATAN PRODUK

Bulan	MPS	Satuan
Januari 2020	126	Unit
Februari 2020	100	Unit
Maret 2020	165	Unit
April 2020	80	Unit
Mei 2020	135	Unit
Juni 2020	140	Unit
Juli 2020	130	Unit
Agustus 2020	144	Unit
September 2020	105	Unit
Oktober 2020	151	Unit
November 2020	215	Unit
Desember 2020	123	Unit

TABEL III  
WAKTU SIKLUS PALLET 1A (DETIK)

No	Stasiun Kerja	WS
1	Cutting	1427
2	Drilling	461
3	Welding	3009
4	Finishing	1724
5	Assembling	520
6	Painting	2080

TABEL IV  
WAKTU SIKLUS PALLET 3A (DETIK)

No	Stasiun Kerja	WS
1	Cutting	1752
2	Drilling	482
3	Welding	2086
4	Finishing	1094
5	Assembling	1094
6	Painting	1800

B. Pengolahan Data

Pada penelitian ini dilakukan pengolahan data dengan menggunakan pendekatan TOC untuk melakukan perencanaan dan pengendalian kapasitas produksi pada PT. MTI. TOC dapat menuntun dalam mengidentifikasi dan menangani kendala yang dapat menghalangi tercapainya tujuan, kendala tersebut bukan sembarang kendala melainkan kendala yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap jalannya produksi [9]. Dalam penerapannya untuk melakukan perbaikan, terdapat 5 langkah secara berurutan diantaranya yaitu:

- a. *Identify of Constraint*
- b. *Eksplloit The Constraint*
- c. *Subordinate Everything Else*
- d. *Elevate The Constraint*
- e. Jika *Constraint* dihilangkan, Kembali ke langkah 3

Dalam penerapan TOC akan melakukan analisa untuk mengetahui stasiun kerja yang mengalami kendala (*bottleneck*), setelah teridentifikasi *constraint*-nya dilanjutkan dengan perbaikan pada stasiun kerja kendala dengan *drumm buffer rope* dan dilakukan perencanaan kapasitas dengan RCCP yang dilanjutkan dengan optimalisasi dengan *software* LINDO. Oleh karenanya dilakukan beberapa perhitungan didalam penerapan TOC dengan beberapa perhitungan diantaranya:

1. Kapasitas

Kapasitas adalah hasil produksi atau volume pemrosesan (*throughput*), atau jumlah unit yang dapat ditangani, diterima, disimpan, atau diproduksi oleh sebuah fasilitas pada suatu periode waktu [1]. Menurut [10], mengartikan kapasitas adalah hasil produksi (*output*) maksimal dari sistem pada suatu periode tertentu. Persamaan yang digunakan untuk menghitung ketersediaan kapasitas ialah:

$$\text{Kapasitas Tersedia} = \text{Jumlah Hari Kerja} \times \text{Jam kerja} \times \text{Efisiensi} \times \text{Utilitas} \times \text{Jumlah mesin} \quad (1)$$

a. Kapasitas per hari

$$\text{Kapasitas Tersedia} = (\text{Waktu normal} + \text{waktu lembur}) \times 90\% \quad (2)$$

b. Waktu Efektif Kerja

Waktu efektif kerja adalah jumlah waktu kerja formal karyawan dikurangi dengan waktu kerja yang hilang karena tidak bekerja (*allowance*) agar dapat menyelesaikan pekerjaan tepat waktu serta memaksimalkan waktu kerja guna mendapatkan hasil kerja yang cerdas, efisien dan hasil produktivitas yang lebih maksimal.

c. Takt Time

Takt Time adalah suatu kecepatan yang harus dicapai oleh lini produksi agar bisa memenuhi kebutuhan pelanggan.

$$TT = \frac{\text{TOTAL WAKTU YANG EFEKTIF}}{\text{PERMINTAAN AKTUAL YANG DIPERLUKAN}} \quad (3)$$

d. Rasio Produksi

Rasio produksi adalah jumlah unit yang diproduksi selama 1 bulan. Produk Pallet terbagi menjadi 2 produk yaitu Pallet 1A dan Pallet 3A.

e. Volume Produksi Harian

Volume produksi harian adalah jumlah produk yang dihasilkan selama 1 hari kerja.

$$\frac{\text{Jumlah Produksi Tipe 1A}}{\text{Total Produksi}} \quad (4)$$

f. Perhitungan Utilisasi

Jumlah jam yang terpakai lebih rendah dari pada jumlah jam kerja tersedia karena beberapa faktor seperti *downtime* mesin dan absensi. Rasio jam kerja yang dipakai terhadap jam kerja yang tersedia disebut utilisasi.

$$\text{utilisasi} = \frac{\text{jumlah jam terpakai untuk bekerja per periode}}{\text{jumlah jam kerja tersedia per periode}} \times 100\% \quad (5)$$

g. Perhitungan Efisiensi

Efisiensi adalah sebuah ukuran produktivitas perkerja, *work center*, departemen atau pabrik dan diukur sebagai rasio jumlah jam standar yang dipakai untuk memproduksi terhadap jumlah jam yang terpakai untuk bekerja.

$$\text{efisiensi} = \frac{\text{jumlah jam standar yang dipakai untuk memproduksi}}{\text{jumlah jam terpakai untuk bekerja}} \times 100\% \quad (6)$$

h. Kapasitas yang dibutuhkan

Rumus kapasitas yang dibutuhkan, yaitu:

$$\text{Waktu dibutuhkan} = \frac{\sum \text{Waktu SK} \times \text{Vol. P Harian}}{60} \quad (7)$$

2. Rough Cut Capacity Planning (RCCP)

RCCP digunakan untuk membuat keputusan pada penyesuaian kapasitas serta menghitung kebutuhan kapasitas secara kasar dan membandingkannya dengan kapasitas yang tersedia [8]. Berikut langkah-langkah dalam RCCP:

- Memperoleh informasi tentang rencana produksi
- Mengetahui Struktur Produk
- Menghitung Standar Waktu Kerja
- Menghitung kebutuhan sumber daya (*Bill of Resource*)
- Menghitung kebutuhan sumber daya spesifik dan membuat laporan.

3. Software Lindo

Software Lindo atau (*Linear Interaktif Discrete Optimizer*) yang merupakan *software* yang digunakan untuk mencari penyelesaian dari masalah pemrograman linear [11]. Prinsip kerja *software* ini adalah memasukan data, dan menyelesaikan serta menaksirkan kebenaran, dan kelayakan data.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Selanjutnya pada tahap pengolahan data dilakukan dengan melakukan pendekatan berdasarkan prinsip perbaikan *Theory of constraint* (TOC). Dalam perbaikan kapasitas dengan menggunakan TOC didasarkan pada langkah-langkah yang terdapat pada TOC, yaitu:

A. Identify Of Constraint

Identifikasi *constraint* merupakan Langkah awal yang terdapat dalam *the five focusing steps*. Kegiatan ini berarti melakukan identifikasi terhadap faktor yang membatasi sebuah kinerja sistem terkait dengan pencapaian sistem. Berdasarkan pernyataan tersebut, dapat disimpulkan bahwa kendala yang terjadi pada proses produksi di PT. MTI bersumber dari beberapa faktor yaitu seperti pasar (*market*), kapasitas mesin (*capacity*), politik (*politic*), bahan baku (*raw material*), permasalahan logistic, dan kesalahan dalam perencanaan produksi (*administrative*).

B. Eksploit The Constraint

*Eksploit the constraint* merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mengoptimalkan sumber daya yang ada sehingga kinerja dari *constraint* dapat lebih maksimal. Pada tahapan ini dilakukan dengan beberapa langkah yang diantaranya yaitu:

1. Pengukuran waktu kerja

Pengukuran waktu kerja pada dasarnya merupakan suatu usaha untuk menentukan lamanya waktu kerja yang dibutuhkan oleh seorang operator (yang sudah terlatih) untuk menyelesaikan suatu pekerjaan yang spesifik, pada tingkat kecepatan kerja yang

normal,serta dalam lingkungan kerja yang terbaik pada saat itu [12].

Perhitungan waktu standar setiap stasiun kerja digunakan data objektif dari operator yang diamati serta data *allowance*. Penentuan nilai terlebih dahulu dikelompokkan setiap operasi dari keseluruhan proses rantai produksi berdasarkan stasiun kerjanya.

- a. Waktu Normal  
Perhitungan mempertimbangkan faktor penyesuaian objektif.  
$$WN = \text{Waktu siklus} \times \text{objektif} \quad (8)$$

- b. Waktu Standar  
Perhitungan ini mempertimbangkan faktor kelonggaran (*allowance*).  
$$WB = WN \times \frac{100\%}{100\% - \%Allowance} \quad (9)$$

Pada perhitungan waktu standar ini dilakukan berdasarkan waktu siklus masing-masing produk pada setiap stasiun kerja yang dilewatinya. Dimana hasil dari perhitungan waktu standar dapat dilihat pada Tabel V dan Tabel VI.

TABEL V  
WAKTU STANDAR PALLET 1A (DETIK)

No	Stasiun Kerja	WS	WN	WB
1	Cutiing	1427	1655,32	1804,30
2	Drilling	461	543,98	625,58
3	Welding	3009	3550,62	4225,24
4	Finishing	1724	1982,60	2359,29
5	Assembling	520	618,80	705,43
6	Painting	2080	2350,40	2749,97

TABEL VI  
WAKTU STANDAR PALLET 3A (DETIK)

No	Stasiun Kerja	WS	WN	WB
1	Cutiing	1752	2032,32	2194,91
2	Drilling	482	568,76	648,39
3	Welding	2086	2461,48	2904,55
4	Finishing	1094	1258,10	1484,56
5	Assembling	1094	1258,10	1484,56
6	Painting	1800	2034,00	2420,46

2. Peramalan permintaan

*Forecasting* atau peramalan merupakan sebuah metode sebagai alat bantu dalam melakukan suatu perencanaan yang efisien dan efektif [7]. Peramalan merupakan suatu kegiatan memperkirakan atau memprediksi kejadian dimasa yang akan datang tentunya dengan bantuan penyusunan rencana terlebih dahulu, dimana rencana ini dibuat berdasarkan kapasitas dan kemampuan permintaan/produksi yang telah dilakukan di perusahaan [6]. Pada tahapan peramalan ini dilakukan dengan menggunakan metode *Single Exponential Smoothing* dengan menggunakan *software* POM-QM pada metode ini tidak dipengaruhi oleh *trend* maupun musim [13]. Hasil dari tahapan peramalan ini dapat dilihat pada Tabel VII.

TABEL VII  
HASIL FORECASTING

Bulan	Demand (y)	Forecast
Januari	126	
Februari	100	126
Maret	165	113
April	80	139
Mei	135	109,5
Juni	140	122,25
Juli	130	131,12
Agustus	144	130,56
September	105	137,28
Oktober	151	121,14
November	215	136,07
Desember	123	175,53
<b>TOTALS</b>	<b>1614</b>	
<b>AVERAGE</b>	<b>134,5</b>	
<b>Next Period Forecast</b>	<b>149,268</b>	

3. Menentukan stasiun kerja kendala

Dalam menentukan stasiun kerja kendala dilakukan dengan membandingkan tingkat kapasitas tersedia yang dimiliki perusahaan dengan kapasitas yang dibutuhkan dalam memproduksi produk. *Pallet 1A* dan *Pallet 3A*. Kapasitas yang tersedia pada PT MTI pada bulan November 2020 dapat dilihat pada Tabel VIII.

TABEL VIII  
KAPASITAS TERSEDIA (DETIK)

Tanggal	Hari	Waktu Normal	Waktu Lembur	Kapasitas Tersedia
2	Senin	28800	0	25920
3	Selasa	28800	0	25920
4	Rabu	28800	0	25920
5	Kamis	28800	0	25920
6	Jumat	28800	0	25920
7	Sabtu	18000	0	16200
9	Senin	28800	0	25920
10	Selasa	28800	0	25920
11	Rabu	28800	0	25920
12	Kamis	28800	0	25920
13	Jumat	28800	0	25920
14	Sabtu	18000	0	16200
16	Senin	28800	0	25920
17	Selasa	28800	0	25920
18	Rabu	28800	0	25920
19	Kamis	28800	0	25920
20	Jumat	28800	0	25920
21	Sabtu	18000	0	16200
23	Senin	28800	0	25920
24	Selasa	28800	0	25920
25	Rabu	28800	0	25920
26	Kamis	28800	0	25920
27	Jumat	28800	0	25920
28	Sabtu	18000	0	16200
30	Senin	28800	0	25920

Selanjutnya melakukan perhitungan waktu efektif kerja. Waktu efektif kerja adalah jumlah waktu kerja formal karyawan dikurangi dengan *allowance* agar dapat menyelesaikan pekerjaan tepat waktu serta memaksimalkan waktu kerja guna mendapatkan hasil kerja yang cerdas, efisien dan hasil produktivitas yang lebih maksimal. Waktu efektif kerja dapat dilihat pada Tabel IX.

TABEL IX  
WAKTU KERJA EFEKTIF (DETIK)

Hari	Jam Kerja Normal	Jam Kerja Lembur	Jumlah	Waktu Efektif
Senin	28800	0	28800	25920
Selasa	28800	0	28800	25920
Rabu	28800	0	28800	25920
Kamis	28800	0	28800	25920
Jumat	28800	0	28800	25920
Sabtu	18000	0	18000	16200
Senin	28800	0	28800	25920
Selasa	28800	0	28800	25920
Rabu	28800	0	28800	25920
Kamis	28800	0	28800	25920
Jumat	28800	0	28800	25920
Sabtu	18000	0	18000	16200
Senin	28800	0	28800	25920
Selasa	28800	0	28800	25920
Rabu	28800	0	28800	25920
Kamis	28800	0	28800	25920
Jumat	28800	0	28800	25920
Sabtu	18000	0	18000	16200
Senin	28800	0	28800	25920
Selasa	28800	0	28800	25920
Rabu	28800	0	28800	25920
Kamis	28800	0	28800	25920
Jumat	28800	0	28800	25920
Sabtu	18000	0	18000	16200
Senin	28800	0	28800	25920
Total	676800	0	676800	609120

Berdasarkan Tabel IX, diketahui bahwa total waktu kerja efektif selama 1 bulan adalah sebesar 609120 detik. Selanjutnya menghitung *takt time*, *takt time* adalah suatu kecepatan yang harus dicapai oleh lini produksi.

$$TT = \frac{\text{TOTAL WAKTU YANG EFEKTIF}}{\text{PERMINTAAN AKTUAL YANG DIPERLUKAN}} \quad (10)$$

$$TT = \frac{609120}{215}$$

$$TT = 2833,12 \text{ detik/unit}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa *takt time* atau waktu yang harus dipenuhi dan dicapai oleh PT MTI dalam proses pembuatan produk *pallet* sebesar 2833,12 detik/unit atau 47,22 menit/unit.

Langkah selanjutnya ini adalah mencari rasio produksi untuk mengetahui volume produksi harian pada masing-masing produk. Produk Pallet terbagi menjadi 2 produk yaitu *Pallet 1A* dan *Pallet 3A*. Jumlah unit masing-masing produk yang dihasilkan per bulan dapat dilihat pada perhitungan berikut.

Rasio Produk Pallet type 1A = 130

Rasio Produk Pallet type 3A = 85

$$\text{Rasio Produk Pallet type 1A} = \frac{130}{215} = 0,60$$

$$\text{Rasio Produk Pallet type 3A} = \frac{85}{215} = 0,46$$

Sehingga volume harian produk atau jumlah produk yang dihasilkan selama 1 hari kerja dapat dilihat pada Tabel X. Berdasarkan Tabel X dapat diketahui bahwa jumlah unit

yang dihasilkan selama 1 hari kerja yaitu sebesar 6-9 unit produk yang dapat dihasilkan.

TABEL X  
VOLUME HARIAN PRODUK

Hari	Waktu Efektif	Volume Produksi Harian	Pallet 1A	Pallet 3A
Senin	25920	9	6	4
Selasa	25920	9	6	4
Rabu	25920	9	6	4
Kamis	25920	9	6	4
Jumat	25920	9	6	4
Sabtu	16200	6	3	2
Senin	25920	9	6	4
Selasa	25920	9	6	4
Rabu	25920	9	6	4
Kamis	25920	9	6	4
Jumat	25920	9	6	4
Sabtu	16200	6	3	2
Senin	25920	9	6	4
Selasa	25920	9	6	4
Rabu	25920	9	6	4
Kamis	25920	9	6	4
Jumat	25920	9	6	4
Sabtu	16200	6	3	2
Senin	25920	9	6	4
Total	609120	215	130	85

Berikutnya adalah menghitung tingkat kebutuhan kapasitas stasiun kerja yang dapat dilihat pada Tabel XI. Berdasarkan Tabel XI dapat diketahui bahwa stasiun kerja *Welding* mengalami kekurangan kapasitas dengan presentasi utilisasi yang dimiliki sebesar 143% yang dapat dikatakan bahwa stasiun kerja *Welding* mengalami kendala (*Bottleneck*).

TABEL XI  
PERHITUNGAN KEBUTUHAN KAPASITAS

No	Stasiun Kerja	Kapasitas di butuhkan (jam)	Kapasitas Tersedia (jam)	Kurang/ Lebih Kapasitas	Utilisasi (%)	Keterangan
1	<i>Cutting</i>	116,9	169,2	52,22	69	OK
2	<i>Drilling</i>	37,9	169,2	131,30	22	OK
3	<i>Welding</i>	241,6	169,2	-72,40	143	<i>Bottleneck</i>
4	<i>Finishing</i>	115,1	169,2	54,07	68	OK
5	<i>Painting</i>	149,8	169,2	19,40	89	OK
6	<i>Assembly</i>	79,1	169,2	90,09	47	OK

### C. Subordinate Everything Else

*Subordinate Everything Else* merupakan tahapan untuk mengelola sumber daya *non-constraint* berdasarkan *constraint* yang telah diidentifikasi pada tahapan sebelumnya agar sumber daya yang mengalami kendala, dalam hal ini stasiun kerja *welding*

dapat diutilisasi seoptimal mungkin. Pada tahapan ini dilakukan perhitungan *buffer time* dan *lead time* pada masing-masing stasiun kerja *non-constraint*. Rekapitulasi perhitungan *buffer time* dan *lead time* sebelum dan sesudah stasiun kerja kendala dapat dilihat pada Tabel XII.

TABEL XII  
KEBUTUHAN BUFFER TIME (JAM)

No	Stasiun Kerja	Lead Time	Buffer Time	Total Buffer Time (Jam)
Sebelum SK Kendala				
1	Cutting	0,46	2,86	5,72
2	Drilling	0,46	2,86	
SK Kendala				
Setelah SK Kendala				
3	Finishing	0,26	1,68	4,72
4	Assembly	0,19	1,16	
5	Painting	0,3	1,88	

Dari Tabel XII dapat diketahui bahwa total *buffer time* yang dibutuhkan sebelum stasiun kerja kendala adalah sebesar 5,72 jam, dan setelah stasiun kerja kendala adalah sebesar 4,72 jam. Setelah mendapatkan hasil *buffer time* dan *lead time* yang diperlukan, selanjutnya membuat alur pada proses kedalam bentuk *drum buffer rope* yang dapat dilihat pada Gambar 2.

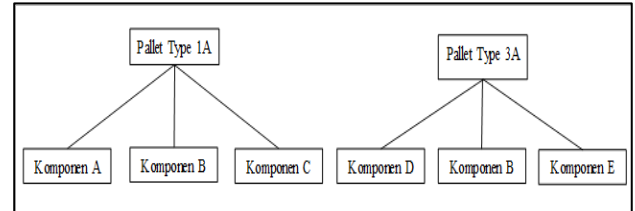
Berdasarkan Gambar 2 dapat ketahu bahwa terjadi *bottleneck* pada stasiun kerja ke 3 *welding*. Stasiun kerja *welding* mengalami *bottleneck* yang mengakibatkan penumpukan produk. Oleh karenanya untuk meminimalisir terjadinya penumpukan diberi *buffer time* atau waktu jeda pada stasiun kerja sebelum dan sesudah stasiun kerja kendala. Dan melakukan umpan balik informasi di setiap stasiun kerja sehingga aliran stasiun kerja dapat terus berjalan sampai selesai.

D. Elevate The Constraint

Pada tahap *Elevate The Constraint* dilakukan proses *improvement* dengan mengoptimalkan kapasitas melalui optimasi dengan menggunakan metode RCCP dan menggunakan *software LINDO* untuk mengetahui jumlah kapasitas optimum yang mampu dilakukan perusahaan. RCCP digunakan untuk membuat keputusan pada penyesuaian kapasitas serta menghitung kebutuhan kapasitas secara kasar dan membandingkannya dengan

kapasitas yang tersedia [8]. Berikut langkah-langkah dalam menggunakan RCCP adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui rencana produksi  
Data produksi pada produk *pallet 1A* dan *pallet 3A* adalah data MPS yang ada pada Tabel I.
2. Mengetahui struktur produk  
Struktur produk merupakan gambaran penyusun suatu produk yang terdiri dari beberapa komponen utama pada produk struktur produk pada masing-masing produk dapat dilihat pada Gambar 3.



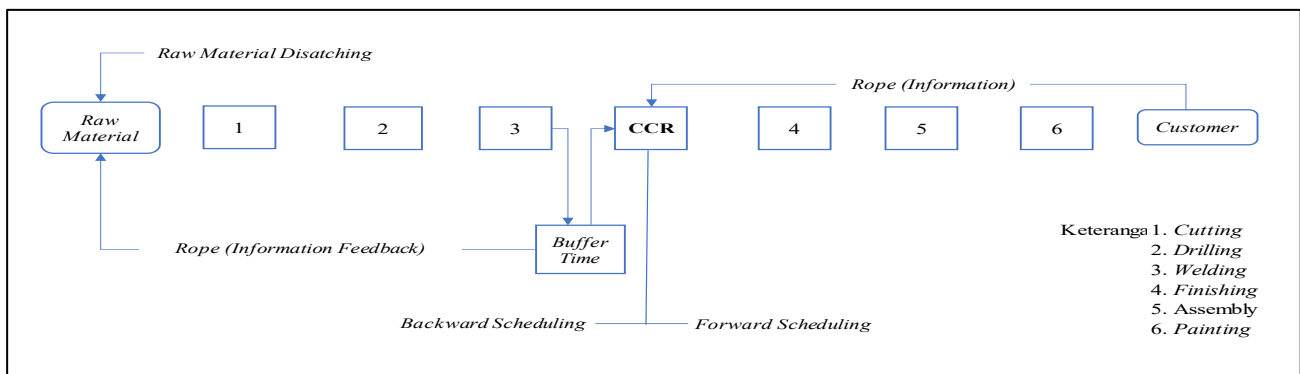
Gambar 3 Struktur produk

3. Menghitung Standar waktu kerja  
Perhitungan standar waktu kerja atau SRH pada pembuatan produk *pallet 1A* dan *pallet 3A* didasarkan pada *Economic Production Quantity (EPQ)* yang telah di tetapkan perusahaan. Rumus untuk menghitung SHR yaitu:

$$SRH = Waktu Proses + \frac{Waktu Setup}{EPQ} \tag{11}$$

Rekapitulasi perhitungan SRH pada produk *pallet 1A* dan *pallet 3A* dapat dilihat pada Tabel XIII. Dan selanjutnya dilakukan perhitungan kebutuhan SRH yang dapat dilihat pada Tabel XIV dengan rumus menghitung kebutuhan SRH, yaitu:

$$SRH \text{ per unit } \times \text{ Jumlah item komponen} \tag{12}$$



Gambar 2 Drum buffer rope

TABEL XIII  
PERHITUNGAN SRH

Item	Operasi	Waktu Set Up	Waktu Proses	EPQ	SRH (Jam/Unit)
Pallet 1A	Assembly	0	0,196	130	0,196
	Painting	0,258	0,764		0,766
Pallet 3A	Assembly	0	0,170	85	0,170
	Painting	0,258	0,672		0,675
A	Cutting	0,262	0,096	250	0,097
	Drilling	0,196	0,040		0,040
	Welding	0,198	0,243		0,244
	Finishing	0,193	0,141		0,142
B	Cutting	0,262	0,077	250	0,078
	Drilling	0,196	0,028		0,028
	Welding	0,198	0,203		0,204
	Finishing	0,193	0,106		0,107
C	Cutting	0,262	0,077	130	0,079
	Drilling	0,196	0,040		0,041
	Welding	0,198	0,282		0,284
	Finishing	0,193	0,160		0,161
D	Cutting	0,262	0,098	340	0,099
	Drilling	0,196	0,039		0,039
	Welding	0,198	0,807		0,807
	Finishing	0,193	0,090		0,090
E	Cutting	0,262	0,156	85	0,159
	Drilling	0,196	0,040		0,042
	Welding	0,198	0,282		0,284
	Finishing	0,193	0,160		0,162

TABEL XIV  
KEBUTUHAN SRH

Item	Operasi	Waktu Proses	EPQ	SRH (Jam/Unit)
Pallet 1A	Assembly	0,196	130	0,196
	Painting	0,764		0,766
Pallet 3A	Assembly	0,170	85	0,170
	Painting	0,672		0,675
A	Cutting	0,096	250	0,097
	Drilling	0,040		0,040
	Welding	0,243		0,244
	Finishing	0,141		0,142
B	Cutting	0,077	250	0,078
	Drilling	0,028		0,028
	Welding	0,203		0,204
	Finishing	0,106		0,107
C	Cutting	0,077	130	0,079
	Drilling	0,040		0,041
	Welding	0,282		0,284
	Finishing	0,160		0,161

TABEL XVI  
KAPASITAS YANG DIBUTUHKAN

Stasiun Kerja	Kapasitas yang dibutuhkan (Jam)												Rata-rata
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	
Cutting	70,85	52,03	53,35	64,22	56,46	59,0	68,5	60,37	65,7	61,2	63,10	87,7	63,56
Drilling	27,43	20,55	20,87	25,15	21,82	22,5	26,4	23,54	25,4	23,6	24,42	33,9	24,65
Welding	323,8	212,5	230,1	275,8	260,4	287	321	265,2	303	281,	288,6	400	287,6
Finishing	87,45	68,46	68,16	82,25	69,30	69,9	83,2	76,31	80,6	75,3	77,85	108	78,95
Assembly	73,06	64,14	60,73	73,58	57,24	53,	67,7	66,68	66,4	62,5	64,98	90,9	66,76
Painting	105,9	81,84	81,98	98,87	84,04	85,4	101	91,97	97,7	91,3	94,31	131	95,50

Item	Operasi	Waktu Proses	EPQ	SRH (Jam/Unit)
D	Cutting	0,098	340	0,099
	Drilling	0,039		0,039
	Welding	0,807		0,807
	Finishing	0,090		0,090
E	Cutting	0,156	85	0,159
	Drilling	0,040		0,042
	Welding	0,282		0,284
	Finishing	0,160		0,162

4. Menghitung *Bill of Resource*

*Bill Of Resource* menggambarkan kebutuhan sumber daya atau kebutuhan tenaga kerja yang diperlukan untuk menyelesaikan produk. Kebutuhan *bill of resource* pada pembuatan produk *pallet 1A* dan *pallet 3A* dapat dilihat pada Tabel XV.

TABEL XV  
BILL OF RESOURCE

Stasiun Kerja	Kebutuhan Sumber Daya ( <i>Bill Of Resource</i> )	
	<i>Pallet 1A</i>	<i>Pallet 3A</i>
<i>Cutting</i>	0,43	0,56
<i>Drilling</i>	0,18	0,20
<i>Welding</i>	1,18	3,51
<i>Finishing</i>	0,66	0,52
<i>Assembly</i>	0,77	0,17
<i>Painting</i>	0,77	0,68
Total	3,98	5,64

5. Kebutuhan total kapasitas

Data yang didapatkan dari kebutuhan kapasitas mesin berdasarkan analisis RCCP dapat dilihat pada Tabel XVI pada tabel kapasitas yang dibutuhkan. Pada tabel tersebut dijelaskan kebutuhan kapasitas mesin yang dibutuhkan perusahaan untuk melakukan proses produksi pada bulan Januari hingga bulan Desember.

Selanjutnya hasil yang didapat pada kebutuhan total kapasitas berdasarkan analisis RCCP akan dilakukan optimalisasi menggunakan *software* LINDO, dimana penggunaan *software* LINDO ini untuk mengetahui dan menguji perbaikan yang dilakukan sudah optimal atau belum. Berdasarkan Tabel XVI, minimum ketersediaan kapasitas yang dibutuhkan adalah pada bulan Desember dengan kapasitas yang dibutuhkan pada stasiun



kerja *cutting* sebesar 87,75, stasiun kerja *drilling* sebesar 33,99, stasiun kerja *welding* sebesar 400,13, stasiun kerja *finishing* sebesar 108,5, stasiun kerja *assembly* sebesar 90,92, dan stasiun kerja *painting* sebesar 131,38. Kebutuhan setiap proses pembuatan produk dapat dilihat pada Tabel XVII.

TABEL XVII  
KEBUTUHAN SETIAP PROSES PEMBUATAN PRODUK

Proses Produk	SRH Produk (Jam/Unit)		Minimum Ketersediaan
	Pallet 1A	Pallrt 3A	
<i>Cutting</i>	0,43	0,56	87,75
<i>Drilling</i>	0,18	0,20	33,99
<i>Welding</i>	1,18	3,51	400,13
<i>Finishing</i>	0,66	0,52	108,50
<i>Assembly</i>	0,77	0,17	90,92
<i>Painting</i>	0,77	0,68	131,38

Permasalahan pada perusahaan adalah kapasitas stasiun kerja yang belum optimal. Maka dari itu dilakukan analisa menggunakan *software* LINDO. Dalam penggunaan *software* LINDO didasarkan pada program linear sehingga *input* data pada *software* dapat dilihat pada Gambar 4.

```

min x+y
subject to
    0.43x + 0.56y >= 87.75
    0.18x + 0.20y >= 33.99
    1.18x + 3.51y >= 400.13
    0.66x + 0.52y >= 108.50
    0.77x + 0.17y >= 90.92
    0.77x + 0.68y >= 131.38
end
    
```

Gambar 4 Input data

Setelah melakukan penginputan data, kemudian dilakukan *running* program dengan meng-klik tombol *solve* dan menghasilkan *output* pada Gambar 5 dan Gambar 6.

```

NO. ITERATIONS=      3
LP OPTIMUM FOUND AT STEP      3
        OBJECTIVE FUNCTION VALUE
    1)      181.3407

    VARIABLE           VALUE           REDUCED COST
    X              101.448853           0.000000
    Y               79.891838           0.000000

    ROW  SLACK OR SURPLUS   DUAL PRICES
    2)           0.612437           0.000000
    3)           0.249161           0.000000
    4)           0.000000          -0.082208
    5)           0.000000          -1.368174
    6)           0.777231           0.000000
    7)           1.062068           0.000000

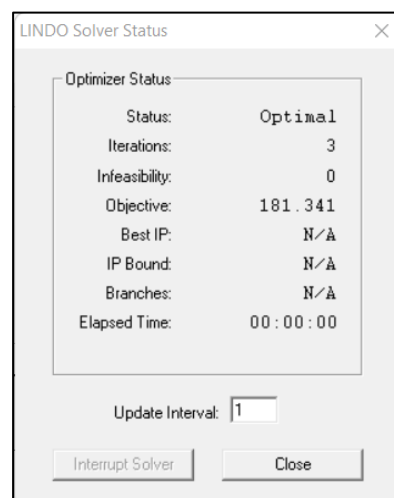
NO. ITERATIONS=      3

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

    VARIABLE           CURRENT           OBJ COEFFICIENT RANGES
    COEF              ALLOWABLE           ALLOWABLE
    INCREASE          DECREASE
    X              1.000000           0.269231           0.663818
    Y              1.000000           1.974576           0.212121

    ROW  CURRENT           RIGHTHAND SIDE RANGES
    RHS              ALLOWABLE           ALLOWABLE
    INCREASE          DECREASE
    2)      87.750000           0.612437           INFINITY
    3)      33.990002           0.249161           INFINITY
    4)      400.130005           4.592727           7.143699
    5)      108.500000          115.301529           0.529005
    6)      90.919998           0.777231           INFINITY
    7)      131.380005           1.062068           INFINITY
    
```

Gambar 5 Hasil output software LINDO



Gambar 6 Lindo solver status

Pada Gambar 5 dapat dilihat hasil *output sensibility* yang ditunjukkan sebagai berikut.

- Objective Function Value**  
Nilai yang tertera pada *Objective function value* merupakan hasil solusi optimal dari fungsi objektif. Dalam hal ini solusi optimal sudah tercapai pada  $x = 101,448$  dan  $y = 79,89$  sehingga  $Z = 215,35$ .
- Value dan Reduce Cost**  
Nilai yang tertera pada *value* merupakan nilai yang optimal dan sudah layak dalam fungsi objektif. *Value* pada nilai  $x = 101$  dan  $y = 80$ . Pada nilai *reduce cost* menunjukkan bahwa nilai  $x$  dan  $y$  bernilai 0. Hal ini menunjukkan bahwa nilai  $x$  dan  $y$  sudah optimal dan tidak perlu ditambahkan kapasitas.
- Slack or Surplus Value**  
Nilai *slack or surplus* menunjukkan bahwa input (stasiun kerja) ini masih menyisakan kapasitas waktu pada saat strategi produksi yang optimal. Dimana Nilai *slack* pada stasiun *cutting* adalah 0,612437, *drilling* adalah 0,249161, *welding* adalah 0, *finishing* 0, *assembly* 0,777231, *painting* 1.062068.
- Dual Price**  
*Dual price* menunjukkan kontribusi keuntungan bila kapasitas suatu input dinaikkan. Dari *output* yang dihasilkan diketahui nilai *dual price* terdapat pada mesin stasiun kerja *welding* dengan nilai -0,082208 dan stasiun kerja *finishing* sebesar -1,368174. Artinya bila kapasitas pada stasiun kerja dinaikkan keuntungan kapasitas akan naik sebesar 0,082208 pada stasiun kerja *welding* dan 1,368174 pada stasiun kerja *finishing*. Sedangkan nilai *dual price* pada stasiun kerja bernilai 0 mengindikasikan bahwa meskipun kapasitas dinaikkan keuntungan tidak akan meningkat.

Berdasarkan Gambar 6 dan hasil analisis *sensitivity* dapat disimpulkan bahwa perbaikan kapasitas stasiun kerja pada PT. MTI menggunakan RCCP telah optimal berdasarkan analisis pada *software* LINDO dengan  $x = 101,44$  dan  $y = 79,89$ . Atau dengan kata lain, kapasitas berdasarkan LINDO sudah optimal dengan

kapasitas maksimal yang mampu dikerjakan sebesar 181 unit produk *pallet* dengan rincian 101 unit *pallet 1A*, dan 80 unit *pallet 3A*.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan data dengan pendekatan TOC didapatkan hasil bahwa total waktu efektif kerja yang dibutuhkan selama 1 bulan sebanyak 169,2 jam. Dimana setelah dilakukan perhitungan kebutuhan kapasitas stasiun kerja didapatkan hasil utilisasi pada stasiun kerja *cutting* sebesar 69%, SK *drilling* sebesar 22%, SK *welding* sebesar 143%, SK *finishing* sebesar 68%, SK *assembly* sebesar 47%, dan SK *painting* sebesar 89%. Dimana dari hasil utilisasi pada masing-masing stasiun kerja tersebut dinyatakan bahwa stasiun kerja yang mengalami kendala atau *bottleneck* adalah stasiun kerja *welding*.

Pada Stasiun kerja terkendala (*bottleneck*) yakni stasiun kerja *Welding* didapatkan total *buffer time* yang dibutuhkan sebelum stasiun kerja terkendala sebesar 5,72 jam, dan setelah stasiun kerja terkendala sebesar 4,72 jam. Dimana pada Analisa *drum buffer rope* dinyatakan bahwa Stasiun *non-constrain* ber-operasi hanya jika diminta stasiun kendala dan ritme (*drum*) produksi ditentukan oleh stasiun kendala. Besar pemberian *buffer* pada stasiun kerja kendala adalah sebesar 5,22 jam untuk sebelum stasiun kerja Kendala dan 4,97 jam untuk setelah stasiun kerja kendala.

Berdasarkan pengolahan data dengan menggunakan RCCP, didapatkan hasil total kebutuhan sumber daya atau kapasitas pada seluruh stasiun kerja sebesar 3,98 jam untuk 1 unit *pallet 1A*, dan 5,64 jam untuk 1 unit *pallet 3A*, dan didapatkan kebutuhan kapasitas optimal yang dihasilkan yaitu pada SK *Cutting* sebesar 87,75 jam, pada SK *Drilling* sebesar 24,65 jam, pada SK *Welding* sebesar 400,13 jam, pada SK *Finishing* sebesar 108,50 jam, pada SK *Assembly* sebesar 90,92 jam, dan pada SK *Painting* sebesar 131,38 jam. Dimana setelah dilakukan optimalisasi hasil dengan *software* LINDO didapatkan hasil optimal kapasitas maksimal yang mampu dihasilkan oleh PT MTI adalah sebanyak 181 Unit dengan pembagian 101 Unit untuk *Pallet 1A*, dan 80 unit untuk *Pallet 3A*. dan berdasarkan perbandingan MPS terbesar dengan hasil kapasitas optimal yang dihasilkan dengan RCCP dan *software* LINDO dinyatakan bahwa kapasitas yang dimiliki oleh perusahaan belum cukup untuk memenuhi permintaan terbesar pada MPS yakni pada bulan November.

Pada penelitian yang dilakukan oleh [1], didapatkan hasil bahwa kapasitas produksi pada proses *curing* tidak terpenuhi sehingga perusahaan disarankan untuk melakukan penambahan mesin supaya kapasitas dan produk yang dihasilkan memenuhi permintaan konsumen.

Berdasarkan pada hasil yang didapat pada penelitian ini dan berdasarkan penelitian terdahulu, perusahaan perlu melakukan penambahan kapasitas dengan menambah waktu jam kerja lembur, atau dengan menambah beberapa unit

mesin dan tenaga kerja untuk pengoptimalan stasiun kerja terkendala pada stasiun kerja *welding*.

#### DAFTAR RUJUKAN

- [1] T. P. Adhiana, I. Prakoso, dan N. Pangestika, "Evaluasi Kapasitas Produksi Ban Menggunakan Metode RCCP Dengan Pendekatan Bola," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 6, no. 1, hal. 11–17, 2020.
- [2] D. Rahmawati, P. Puryani, dan E. Nursubiyantoro, "Optimalisasi Kapasitas Stasiun Kerja Dengan Penerapan Theory of Constraints (Toc)," *Opsi*, vol. 12, no. 1, hal. 12, 2019, doi: 10.31315/opsi.v12i1.2828.
- [3] I. Siregar, "Application of Theory of Constraints in Bottleneck Work Stations Optimization," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1339, hal. 1–4, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1339/1/012024.
- [4] Z. T. Şimşit, N. S. Günay, dan Ö. Vayvay, "Theory of Constraints: A Literature Review," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 150, no. 231, hal. 930–936, 2014, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.09.104.
- [5] Z. F. Hunusalela, "Usulan Penjadwalan Produksi Dengan Menggunakan Theory of Constraint Pada Bagian Welding Rear Body PT Krama Yudha Ratu Motor," *Fakt. Exacta*, vol. 6, no. 1, hal. 70–86, 2013.
- [6] M. Zakaria, Syukriah, dan R. A. Selvia, "Metode Rough Cut Capacity Planning Di Pt Wijaya Karya Beton," *Ind. Eng. J.*, vol. 10, no. 1, 2021.
- [7] D. D. Saputra, "Usulan Penerapan Theory of constraints Guna Mengoptimalkan Kapasitas Produksi Pada PT XYZ," *Sci. J. Ind. Eng.*, vol. 1, no. 2, hal. 7–11, 2020.
- [8] V. Gazperz, *Production Planning and Inventory Control*. Jakarta: PT SUN, 20M.
- [9] N. O. Umesh Nagarkatte, *Theory of Constraints : Creative Problem Solving*. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2018.
- [10] A. Y. Nasution, S. Yulianto, dan N. Ikhsan, "Implementasi Metode Quality Control Circle untuk Peningkatan Kapasitas Produksi Propeller Shaft di PT XYZ," *J. Mesin Teknol.*, vol. 12, no. 1, hal. 33–39, 2018.
- [11] R. Zulmaulida dan E. Saputra, "Pengembangan Bahan Ajar Program Linear Berbantuan Lindo Software," *Infin. J.*, vol. 3, no. 2, hal. 189, 2014, doi: 10.22460/infinity.v3i2.63.
- [12] C. Erliana, *Analisa dan Pengukuran Waktu Kerja*. Aceh: Fakultas Teknik Malikussaleh, 2015.
- [13] R. A. Maulana, D. Herwanto, dan K. Kusnadi, "Analisis Perencanaan Persediaan Suku Cadang dengan Metode ABC dan Metode Min-Max di Bagian Fields Service Engineer PT. Merck Chemicals and Life Science," *Barometer*, vol. 6, no. 1, hal. 295–300, 2021, doi: 10.35261/barometer.v6i1.4480.