

Perencanaan Dan Penjadwalan Produksi Mainan Dengan Pendekatan *Theory Of Constraint* Pada PT. XYZ

N. Fahrila¹, N. Kiki Z², S. A. Dwi Masarjo³, F.T. Solihin⁴

Abstrak: Perkembangan dan Perubahan dunia yang serba cepat menyebabkan persaingan di segala bidang industri menjadi sangat ketat. Ketatnya persaingan dalam dunia industri menimbulkan berbagai ancaman sekaligus peluang bagi setiap perusahaan, agar dapat memanfaatkan peluang yang ada maka setiap perusahaan dituntut untuk memahami keinginan dan kebutuhan pasar. Dalam memecahkan permasalahan tersebut, usaha yang dilakukan adalah melakukan evaluasi dan perbaikan perencanaan kapasitas produksi yang ada dengan pendekatan *Theory Of Constraint* (TOC) yaitu suatu filosofi perbaikan terus-menerus dengan fokus pada identifikasi atas kendala untuk pencapaian tujuan perusahaan. *Bottleneck* adalah sumber yang kapasitasnya sama atau lebih kecil dari permintaan yang ada pada saat itu. Sedangkan non *bottleneck* adalah sumber yang kapasitasnya lebih besar dari permintaan yang ada pada saat itu. PT. XYZ adalah salah satu perusahaan mainan terbesar di Indonesia. Selama ini perusahaan belum mampu memenuhi pesanan tepat pada waktunya. Pada *sales order* bulan Januari 2022, terdapat 9 pesanan dari 21 pesanan yang tidak sesuai jadwal yang disepakati (*due date*). Hal ini disebabkan oleh banyaknya *Work In Process* (WIP) atau barang setengah jadi menumpuk dengan kapasitas stasiun kerja yang terbatas. Pada pengamatan tanggal 7 Desember 2021, terjadi *bottleneck* pada proses produksi komponen kereta di stasiun kerja *spray gun* dengan kapasitas sebesar 244.80 lembar/jam. Kondisi seperti ini mengakibatkan terjadinya penumpukan WIP di stasiun kerja yang menghambat aliran produksi dan waktu penyelesaian pesanan produksi.

Kata Kunci: *Bottleneck, Due date, Theory Of Constraint, Work In Process*

Abstract: *The development and change of a fast-paced world causes competition in all industrial fields to be very tight. The tight competition in the industrial world poses various threats as well as opportunities for every company, in order to take advantage of the existing opportunities, every company is required to understand the wants and needs of the market. In solving these problems, the effort made is to evaluate and improve the existing production capacity planning with the Theory Of Constraint (TOC) approach, which is a philosophy of continuous improvement with a focus on identifying obstacles to achieving company goals. A bottleneck is a resource whose capacity is equal to or less than the current demand. Meanwhile, non-bottlenecks are sources whose capacity is greater than the current demand. PT. XYZ is one of the largest toy companies in Indonesia. So far, the company has not been able to fulfill orders on time. In the January 2022 sales order, there were 9 orders from 21 orders that were not on the agreed schedule (due date). This is due to the large number of Work In Process (WIP) or semi-finished goods piling up with limited work station capacity. In observations on December 7, 2021, there was a bottleneck in the train component production process at the spray gun work station with a capacity of 244.80 pieces/hour. This condition results in the accumulation of WIP at work stations which hampers production flow and production order completion time.*

Keywords: *Bottleneck, Due date, Theory Of Constraint, Work In Process*

I. PENDAHULUAN

Saat ini sebuah perusahaan dituntut untuk mampu berkompetisi dalam pasar persaingan, mengingat industri manufaktur yang berkembang semakin pesat. Perusahaan harus berusaha menyediakan yang terbaik bagi konsumen guna meningkatkan loyalitas, kredibilitas dan layanan perusahaan. Ketepatan waktu dalam penyelesaian produk merupakan salah satu hal yang digunakan untuk menunjukkan kredibilitas perusahaan. Perusahaan membutuhkan penjadwalan produksi yang tepat dalam

pelaksanaan aktivitas proses produksinya agar produk dapat selesai dengan waktu yang telah ditetapkan.

PT. PT. XYZ adalah salah satu perusahaan mainan terbesar di Indonesia. Perusahaan ini berlokasi di Jl. Rukun No. 11 Kel, Gedong, Kecamatan Pasar Rebo, Kota Jakarta Timur, DKI Jakarta. Perusahaan ini fokus pada produk yaitu mainan/miniatur Kereta Api Kayu.

Selama ini perusahaan belum mampu memenuhi pesanan tepat pada waktunya. Pada *sales order* bulan Januari 2022, terdapat 9 pesanan dari 21 pesanan yang tidak sesuai jadwal yang disepakati (*due date*). Hal ini disebabkan oleh banyaknya *Work In Process* (WIP) atau barang setengah jadi menumpuk dengan kapasitas stasiun kerja yang terbatas. Pada pengamatan tanggal 7 Desember 2021, terjadi *bottleneck* pada proses produksi komponen kereta di stasiun kerja *spray gun* dengan kapasitas sebesar 244.80 lembar/jam. Kondisi seperti ini mengakibatkan

Nur Fahrila, Mahasiswa Program Studi Teknik Industri, Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta (nurfahrila17@gmail.com)

Nanda Kiki Z, Mahasiswa Program Studi Teknik Industri, Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta (kikinanda1999@gmail.com)

S. A. Dwi Masarjo, Mahasiswa Program Studi Teknik Industri, Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta (sabgeagung01@gmail.com)

F. T. Solihin, Mahasiswa Program Studi Teknik Industri, Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta (trishandana@gmail.com)

terjadinya penumpukan WIP di stasiun kerja yang menghambat aliran produksi dan waktu penyelesaian pesanan produksi. Masalah tersebut dapat mengakibatkan risiko penurunan kredibilitas perusahaan di mata konsumen dan mengurangi daya kompetisi perusahaan dalam persaingan bisnis.

Yang menjadi *bottleneck* dalam pembuatan penjadwalan berdasarkan beban kerja terbesar dilakukan peninjauan dalam penjadwalan di seluruh stasiun kerja dan mengidentifikasi stasiun kerja. Dari stasiun kerja *bottleneck* tersebut, ditentukan jadwal untuk memproduksi produk yang diinginkan. Penjadwalan produksi diharapkan mampu menangani *bottleneck* yang menghambat aliran produksi dan meminimumkan waktu penyelesaian *order*. Agar terjadi keseimbangan antar stasiun kerja, dan perusahaan mencapai tujuan maksimasi profit dan penggunaan sumber daya secara efektif.

II. METODE DAN PROSEDUR

Obyek dari penelitian ini adalah salah satu perusahaan mainan terbesar di Indonesia PT. XYZ Perusahaan ini berlokasi di Jl. Rukun No. 11 Kel, Gedong, Kecamatan Pasar rebo, Kota Jakarta Timur, DKI Jakarta. Kerangka pemecahan masalah dan pengolahan data disusun sebagai berikut:

- 1) Mengidentifikasi stasiun kerja *bottleneck* dengan algoritma *zjm*.
 - a. Menghitung laju permintaan pada setiap operasi di seluruh stasiun kerja untuk setiap *order*.
 - b. Menghitung laju kedatangan pada setiap operasi di seluruh stasiun kerja untuk setiap *order*.
 - c. Menghitung waktu proses pada setiap operasi di seluruh stasiun kerja untuk setiap *order*.
 - d. Menghitung beban kerja pada setiap operasi di seluruh stasiun kerja untuk setiap *order* dan penjumlahan beban kerja untuk setiap stasiun kerjanya
 - e. Menghitung ekspektasi waktu tunggu pada setiap operasi di seluruh stasiun kerja untuk setiap *order* dan penjumlahan beban kerja untuk setiap stasiun.
 - f. Menghitung ekspektasi *lead time* pada setiap operasi di seluruh stasiun kerja untuk setiap *order*.
 - g. Menentukan *Etc* (saat paling awal setiap *order* bisa mulai dikerjakan di stasiun kerja *bottleneck* dan *Ltc* (saat paling akhir setiap *order* bisa mulai dikerjakan di stasiun kerja *bottleneck*) setiap pesanan.
- 2) Melakukan penjadwalan produksi di stasiun kerja *bottleneck* dan stasiun kerja *non bottleneck* sebelum stasiun kerja *bottleneck* menggunakan *backward scheduling*. Untuk stasiun kerja *non bottleneck* setelah stasiun kerja *bottleneck* menggunakan *forward scheduling*.

Algoritma *Zjm* ditemukan oleh seorang professor di Belanda yang bernama WHK Zjm. Zjm (1994) menjelaskan bahwa algoritma *Zjm* memberikan logika pendeteksian mesin *bottleneck* yang terjadi pada suatu sistem berdasarkan parameter-parameter yang telah ditentukan. Selain mendeteksi terjadinya *bottleneck*, algoritma ini juga memberikan salah satu parameter yang dibutuhkan untuk untuk meningkatkan kinerja mesin *bottleneck* yaitu menghasilkan *time buffers*. Model matematis yang digunakan adalah sebagai berikut (Kushana dkk,2014):

Langkah 1: Menghitung laju permintaan pada setiap operasi di seluruh stasiun kerja untuk setiap *order*.

$$D^{(h)} = \frac{1}{MLT} = \frac{1}{(d^{(h)} - r_j)m}$$

dengan:

MLT: Manufacturing Lead Time

d^(h): Due date job h

r_j: saat siap di mesin j

m: jumlah mesin

Langkah 2: Menghitung laju kedatangan pada setiap operasi di seluruh stasiun kerja untuk setiap *order*.

$$\lambda^{(h)} = \frac{D^{(h)}}{Q^{(h)}} \delta^{(h)}$$

dengan :

λ^(h): laju kedatangan job h

D^(h): laju permintaan job h

Q^(h): ukuran lot produksi job h = 1

$$\delta_{jk}^{(h)} = \begin{cases} 1, & \text{jika job h, proses k, stasiun kerja j} \\ 0, & \text{untuk yang lainnya} \end{cases}$$

Langkah 3: Menghitung waktu proses pada setiap operasi di seluruh stasiun kerja untuk setiap *order*.

$$P_{jk}^{(h)} = Z_{jk}^{(h)} + (Q_{jk}^{(h)} \times a_{jk}^{(h)})$$

dengan :

P_{jk^(h)}: waktu proses job h, proses ke-k, di stasiun kerja j

Z_{jk^(h)}: waktu set up job h, proses ke-k, di stasiun kerja j

Q_{jk^(h)}: ukuran lot produksi job h, proses ke-k, di stasiun kerja

a_{jk^(h)}: waktu proses job h, proses ke-k, di stasiun kerja j

Langkah 4: Menghitung beban kerja pada setiap operasi di seluruh stasiun kerja untuk setiap *order* dan penjumlahan beban kerja untuk setiap stasiun kerjanya.

$$\rho_j = \sum_{h,k} \lambda_{jk}^{(h)} \times P_{jk}^{(h)}$$

dengan :

ρ_j : rata-rata beban kerja di mesin j

Langkah 5: Menghitung waktu tunggu pada setiap operasi di seluruh stasiun kerja untuk setiap *order* dan penjumlahan beban kerja untuk setiap stasiun kerjanya.

$$E_j = \frac{\sum_{h,k} \lambda_{jk}^{(h)} \times (P_{jk}^{(h)})^2}{2(1 - \rho_j)}$$

dengan :

E_j = ekspektasi waktu tunggu di stasiun kerja j

Langkah 6: Menghitung perkiraan *lead time* pada setiap operasi di seluruh stasiun kerja untuk setiap *order*.

$$E(T_{jk}^{(h)}) = E_j + P_{jk}^{(h)}$$

Langkah 7: menghitung *Etc* dan *Ltc* Berfungsi untuk menentukan *Etc* (saat paling awal setiap order bisa mulai dikerjakan di stasiun kendala) dan *Ltc* (saat paling akhir setiap *order* bisa mulai dikerjakan di stasiun kendala) setiap pesanan. *Etc* dan *Ltc* merupakan salah satu kriteria untuk pemilihan pesanan yang akan didistribusikan, penentuan solusi inisial, dan pemeriksaan kelayakan setiap pesanan yang telah dijadwalkan.

$$ETC^{(h)} = r^{(h)} + \sum_{h=1}^m (t_h + W_h)$$

$$LCT^{(h)} = d^{(h)} - \sum_{h=1}^m (t_h + W_h) - th$$

dengan :

$E(T^{(h)})$: ekspektasi rata-rata *lead time job h*

m : jumlah mesin setelah *bottleneck*

t_h : waktu proses *job h*

W_h : ekspektasi waktu menunggu *job h*

$ETC^{(h)}$: *Earliest Time Completion job h*

$LCT^{(h)}$: *Latest Time Completion job h*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Identifikasi stasiun kerja *bottleneck*

Identifikasi stasiun kerja *bottleneck* menggunakan algoritma *zjzm*. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1) Menghitung laju permintaan

Laju permintaan dihitung menggunakan Langkah 1, hasil perhitungan laju permintaan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini:

TABEL I
Hasil Perhitungan Laju Kedatangan

No Order	Laju Permintaan/jam									
	SK 1	SK 2	SK 3	SK 4	SK 5	SK 6	SK 7	SK 8	SK 9	SK 10
1	0.008	0.010	0.006	0.000	0.008	0.004	0.009	0.001	0.007	0.001
2	0.000	0.004	0.001	0.009	0.010	0.008	0.010	0.001	0.005	0.002
3	0.000	0.001	0.001	0.003	0.006	0.006	0.005	0.004	0.004	0.000
4	0.009	0.005	0.003	0.004	0.008	0.003	0.005	0.002	0.007	0.010
5	0.002	0.008	0.008	0.002	0.000	0.005	0.003	0.005	0.000	0.008
6	0.004	0.003	0.005	0.007	0.007	0.001	0.002	0.001	0.008	0.002
7	0.008	0.003	0.001	0.001	0.006	0.006	0.002	0.001	0.005	0.008
8	0.004	0.005	0.002	0.004	0.008	0.008	0.005	0.002	0.010	0.009
9	0.001	0.006	0.004	0.007	0.007	0.009	0.002	0.008	0.004	0.002
10	0.008	0.009	0.007	0.007	0.005	0.004	0.006	0.003	0.001	0.006
11	0.001	0.009	0.000	0.003	0.007	0.007	0.009	0.004	0.005	0.008
12	0.008	0.008	0.003	0.004	0.004	0.008	0.007	0.009	0.008	0.001
13	0.008	0.007	0.002	0.003	0.009	0.006	0.008	0.001	0.009	0.004
14	0.009	0.003	0.003	0.005	0.008	0.007	0.004	0.002	0.003	0.004
15	0.004	0.001	0.007	0.001	0.004	0.003	0.007	0.008	0.003	0.007
16	0.003	0.005	0.004	0.002	0.001	0.005	0.001	0.004	0.002	0.004
17	0.006	0.001	0.001	0.006	0.005	0.006	0.007	0.003	0.010	0.005
18	0.009	0.003	0.004	0.007	0.008	0.002	0.005	0.003	0.003	0.008
19	0.007	0.010	0.010	0.001	0.000	0.009	0.003	0.003	0.007	0.006
20	0.007	0.010	0.003	0.009	0.010	0.004	0.010	0.007	0.004	0.001
21	0.003	0.002	0.001	0.006	0.006	0.004	0.002	0.003	0.009	0.001
22	0.004	0.002	0.004	0.008	0.002	0.006	0.007	0.003	0.001	0.001
23	0.002	0.009	0.002	0.004	0.001	0.006	0.007	0.006	0.004	0.009
24	0.008	0.003	0.002	0.009	0.004	0.001	0.004	0.005	0.010	0.002

2) Menghitung laju kedatangan

Laju kedatangan untuk setiap *order* menggunakan Langkah 2 dan hasil perhitungan laju kedatangan dapat dilihat pada Tabel 2

3) Menghitung waktu proses pengerjaan *order*

Laju kedatangan untuk setiap *order* menggunakan Langkah 2 dan hasil waktu proses pengerjaan *order* dapat dilihat pada Tabel 3.

4) Menghitung rata-rata beban kerja

Rata-rata beban kerja menggunakan Langkah 3 dan hasil perhitungan rata-rata beban kerja pada stasiun kerja dapat dilihat pada Tabel 4.

5) Menghitung waktu tunggu

Perhitungan waktu tunggu setiap *order* di setiap stasiun kerja menggunakan Langkah 5 dan hasil perhitungan waktu tunggu setiap *order* dapat dilihat pada Tabel 5.

Setelah melihat hasil perhitungan dari beban kerja pada Tabel 4 dan perhitungan waktu tunggu

pada Tabel 5 di atas, stasiun yang mempunyai beban kerja terbesar dan ekspektasi waktu menunggu setiap *order* di stasiun paling lama adalah Stasiun Kerja Penyusunan Kertas Isi (SK 10). Oleh sebab itu, Stasiun Kerja Penyusunan Kertas Isi ditetapkan sebagai stasiun kerja *bottleneck*.

TABEL II
Hasil Perhitungan Laju Kedatangan

No Order	Laju kedatangan/jam									
	SK 1	SK 2	SK 3	SK 4	SK 5	SK 6	SK 7	SK 8	SK 9	SK 10
1	0.009	0.001	0.007	0.001	0.005	0.008	0.005	0.005	0.001	0.001
2	0.007	0.007	0.008	0.004	0.004	0.005	0.007	0.001	0.000	0.000
3	0.008	0.005	0.009	0.002	0.007	0.002	0.006	0.003	0.007	0.004
4	0.007	0.005	0.007	0.004	0.005	0.001	0.002	0.007	0.001	0.001
5	0.004	0.001	0.006	0.001	0.006	0.006	0.003	0.009	0.004	0.008
6	0.001	0.003	0.004	0.009	0.004	0.009	0.002	0.002	0.005	0.000
7	0.009	0.002	0.009	0.002	0.009	0.006	0.003	0.007	0.008	0.001
8	0.008	0.008	0.005	0.003	0.009	0.004	0.009	0.009	0.006	0.001
9	0.009	0.004	0.001	0.010	0.008	0.002	0.008	0.006	0.003	0.009
10	0.005	0.005	0.010	0.007	0.007	0.002	0.007	0.002	0.002	0.007
11	0.009	0.006	0.008	0.007	0.001	0.007	0.006	0.005	0.010	0.001
12	0.001	0.004	0.001	0.006	0.003	0.002	0.008	0.006	0.003	0.008
13	0.007	0.007	0.001	0.004	0.001	0.003	0.000	0.004	0.009	0.002
14	0.009	0.009	0.009	0.001	0.008	0.007	0.007	0.006	0.004	0.005
15	0.009	0.007	0.008	0.009	0.001	0.002	0.007	0.002	0.007	0.005
16	0.004	0.010	0.004	0.009	0.003	0.000	0.007	0.002	0.005	0.007
17	0.003	0.003	0.006	0.007	0.002	0.006	0.007	0.003	0.003	0.003
18	0.006	0.005	0.010	0.001	0.009	0.008	0.010	0.008	0.005	0.003
19	0.007	0.006	0.009	0.008	0.000	0.003	0.009	0.001	0.000	0.008
20	0.000	0.009	0.004	0.007	0.007	0.005	0.006	0.000	0.002	0.008
21	0.006	0.006	0.003	0.002	0.009	0.002	0.010	0.009	0.001	0.006
22	0.005	0.008	0.002	0.006	0.010	0.000	0.007	0.004	0.008	0.006
23	0.006	0.009	0.009	0.010	0.002	0.004	0.001	0.005	0.005	0.005
24	0.006	0.004	0.004	0.001	0.005	0.009	0.002	0.005	0.005	0.005

TABEL III
Hasil Perhitungan Proses Pengerjaan Order

No Order	Waktu Proses (jam)									
	SK 1	SK 2	SK 3	SK 4	SK 5	SK 6	SK 7	SK 8	SK 9	SK 10
1	0,956	0,728	0,000	0,000	0,000	0,000	0,928	1,178	0,789	0,317
2	0,769	0,300	0,000	0,000	0,937	0,000	1,012	1,127	0,631	0,249
3	0,983	0,884	0,000	0,000	5,183	0,000	6,866	1,972	3,155	1,351
4	1,110	1,023	0,000	0,000	6,300	1,780	14,679	2,929	6,032	2,608
5	0,844	0,548	0,000	0,000	0,000	0,000	7,091	1,959	3,126	1,337
6	1,065	0,000	0,768	1,040	5,117	1,640	5,543	1,795	2,635	1,126
7	1,035	0,000	1,055	1,110	7,667	0,000	0,000	0,000	0,000	1,138
8	0,897	0,903	0,000	0,000	7,500	0,000	1,808	1,164	0,743	0,297
9	1,415	1,602	0,000	0,000	9,333	2,807	15,193	3,131	6,644	2,872
10	1,022	0,809	0,000	0,000	3,521	0,000	4,849	1,703	2,330	0,991
11	1,060	0,000	0,991	1,129	4,533	0,000	0,000	0,000	0,000	0,910
12	0,961	0,000	1,089	1,061	14,167	1,622	11,272	2,578	4,978	2,144
13	1,100	0,000	1,015	1,010	6,767	1,510	0,000	0,000	0,000	1,883
14	0,870	0,717	0,000	0,000	3,667	1,033	0,000	0,000	0,000	0,887
15	0,876	0,000	0,781	0,839	6,992	1,175	12,361	2,668	5,251	2,264
16	0,853	0,669	0,000	0,000	5,417	1,019	7,253	1,989	3,222	1,378
17	1,309	1,744	0,000	0,000	12,817	0,000	16,730	3,365	7,354	3,182
18	1,078	0,000	1,156	1,206	7,500	1,906	7,972	2,117	3,711	1,594
19	0,843	0,590	0,000	0,000	3,100	0,000	7,319	1,984	3,206	1,372
20	1,171	0,796	0,000	0,000	0,000	1,008	0,000	0,000	0,000	0,867
21	1,058	0,846	0,000	0,000	10,750	1,221	0,000	0,000	0,000	0,554
22	0,939	0,000	0,958	0,986	6,400	2,403	9,339	2,308	4,174	1,793
23	0,826	0,546	0,000	0,000	2,138	0,893	2,354	1,340	1,273	0,531
24	0,899	0,735	0,000	0,000	4,833	0,000	11,557	2,549	4,901	2,112

TABEL IV
Hasil Perhitungan Rata-rata Beban Kerja

No Order	Beban Kerja									
	SK 1	SK 2	SK 3	SK 4	SK 5	SK 6	SK 7	SK 8	SK 9	SK 10
1	0,006	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,008	0,005	0,002

2	0,005	0,002	0,000	0,000	0,006	0,000	0,006	0,007	0,004	0,002
3	0,007	0,006	0,000	0,000	0,035	0,000	0,047	0,013	0,021	0,009
4	0,008	0,007	0,000	0,000	0,043	0,012	0,100	0,020	0,041	0,018
5	0,005	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,042	0,012	0,019	0,008
6	0,006	0,000	0,004	0,006	0,027	0,009	0,029	0,009	0,014	0,006
7	0,007	0,000	0,007	0,008	0,052	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008
8	0,005	0,005	0,000	0,000	0,045	0,000	0,011	0,007	0,004	0,002
9	0,008	0,010	0,000	0,000	0,056	0,017	0,090	0,019	0,040	0,017
10	0,006	0,005	0,000	0,000	0,022	0,000	0,030	0,011	0,014	0,006
11	0,007	0,000	0,006	0,007	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006
12	0,005	0,000	0,006	0,006	0,078	0,009	0,062	0,014	0,027	0,012
13	0,007	0,000	0,007	0,007	0,044	0,010	0,000	0,000	0,000	0,012
14	0,005	0,004	0,000	0,000	0,023	0,006	0,000	0,000	0,000	0,006
15	0,005	0,000	0,005	0,005	0,042	0,007	0,074	0,016	0,031	0,013
16	0,005	0,004	0,000	0,000	0,030	0,006	0,040	0,011	0,018	0,008
17	0,009	0,012	0,000	0,000	0,087	0,000	0,114	0,023	0,050	0,022
18	0,007	0,000	0,007	0,007	0,047	0,012	0,050	0,013	0,023	0,010
19	0,005	0,004	0,000	0,000	0,020	0,000	0,048	0,013	0,021	0,009
20	0,008	0,005	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,006
21	0,007	0,005	0,000	0,000	0,070	0,008	0,000	0,000	0,000	0,004
22	0,006	0,000	0,006	0,006	0,040	0,015	0,058	0,014	0,026	0,011
23	0,005	0,003	0,000	0,000	0,013	0,005	0,014	0,008	0,008	0,003
24	0,006	0,005	0,000	0,000	0,030	0,000	0,072	0,016	0,030	0,013
Jmlh	0,149	0,085	0,048	0,051	0,836	0,122	0,892	0,233	0,397	0,211

TABEL V
Hasil Perhitungan Waktu Tunggu

No Order	Waktu tunggu (jam)									
	SK1	SK2	SK3	SK4	SK5	SK6	SK7	SK8	SK9	SK10
1	0,006	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,009	0,004	0,001
2	0,004	0,001	0,000	0,000	0,005	0,000	0,006	0,008	0,002	0,000
3	0,007	0,005	0,000	0,000	0,183	0,000	0,321	0,026	0,068	0,012
4	0,008	0,007	0,000	0,000	0,270	0,022	1,466	0,058	0,248	0,046
5	0,004	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,299	0,023	0,058	0,011
6	0,006	0,000	0,003	0,006	0,139	0,014	0,163	0,017	0,037	0,007
7	0,007	0,000	0,008	0,008	0,400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009
8	0,005	0,005	0,000	0,000	0,335	0,000	0,019	0,008	0,003	0,001
9	0,012	0,015	0,000	0,000	0,519	0,047	1,374	0,058	0,263	0,049
10	0,006	0,004	0,000	0,000	0,077	0,000	0,146	0,018	0,034	0,006
11	0,007	0,000	0,006	0,008	0,128	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
12	0,005	0,000	0,007	0,006	1,103	0,014	0,698	0,037	0,136	0,025
13	0,008	0,000	0,007	0,007	0,297	0,015	0,000	0,000	0,000	0,023
14	0,005	0,003	0,000	0,000	0,084	0,007	0,000	0,000	0,000	0,005
15	0,005	0,000	0,004	0,004	0,291	0,008	0,910	0,042	0,164	0,031
16	0,004	0,002	0,000	0,000	0,161	0,006	0,289	0,022	0,057	0,010
17	0,012	0,021	0,000	0,000	1,117	0,000	1,904	0,077	0,368	0,069
18	0,007	0,000	0,008	0,009	0,349	0,023	0,395	0,028	0,086	0,016
19	0,005	0,002	0,000	0,000	0,062	0,000	0,348	0,026	0,067	0,012
20	0,009	0,004	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,005
21	0,007	0,005	0,000	0,000	0,750	0,010	0,000	0,000	0,000	0,002
22	0,005	0,000	0,006	0,006	0,254	0,036	0,542	0,033	0,108	0,020
23	0,004	0,002	0,000	0,000	0,027	0,005	0,033	0,011	0,010	0,002
24	0,005	0,003	0,000	0,000	0,145	0,000	0,830	0,040	0,149	0,028
Jmlh	0,153	0,085	0,048	0,054	6,697	0,212	9,747	0,541	1,861	0,394
w.tunggu	0,090	0,046	0,025	0,029	20,357	0,121	45,021	0,353	1,542	0,249

B. Perhitungan lead time

Identifikasi Perhitungan perkiraan lead time diselesaikan

menggunakan Langkah 6 dan hasil seluruh perhitungan perkiraan lead time dapat dilihat pada Tabel 6

TABEL VI
Perhitungan Lead Time

No Order	Perkiraan lead time (jam)									
	Sebelum stasiun kerja bottleneck					St. bottleneck		Setelah stasiun bottleneck		
	SK1	SK2	SK3	SK4	SK5	SK6	SK7	SK8	SK9	SK10
1	1,045	0,774	0,025	0,029	20,357	0,121	45,949	1,531	2,331	0,566
2	0,859	0,347	0,025	0,029	21,294	0,121	46,033	1,480	2,173	0,499
3	1,073	0,930	0,025	0,029	25,540	0,121	51,887	2,325	4,697	1,601
4	1,200	1,070	0,025	0,029	26,657	1,901	59,700	3,282	7,574	2,857
5	0,934	0,594	0,025	0,029	20,357	0,121	52,112	2,312	4,668	1,587

6	1,155	0,046	0,793	1,069	25,474	1,761	50,564	2,148	4,177	1,375
7	1,125	0,046	1,080	1,139	28,024	0,121	45,021	0,353	1,542	1,388
8	0,986	0,950	0,025	0,029	27,857	0,121	46,829	1,517	2,286	0,546
9	1,504	1,648	0,025	0,029	29,690	2,928	60,214	3,484	8,186	3,121
10	1,111	0,855	0,025	0,029	23,878	0,121	49,871	2,056	3,872	1,240
11	1,150	0,046	1,016	1,157	24,890	0,121	45,021	0,353	1,542	1,159
12	1,051	0,046	1,114	1,090	34,524	1,743	56,293	2,931	6,520	2,394
13	1,190	0,046	1,040	1,039	27,124	1,631	45,021	0,353	1,542	2,133
14	0,960	0,763	0,025	0,029	24,024	1,154	45,021	0,353	1,542	1,136
15	0,966	0,046	0,806	0,868	27,349	1,296	57,382	3,021	6,794	2,514
16	0,943	0,716	0,025	0,029	25,774	1,140	52,274	2,342	4,764	1,627
17	1,399	1,791	0,025	0,029	33,174	0,121	61,751	3,718	8,896	3,431
18	1,168	0,046	1,181	1,234	27,857	2,026	52,993	2,470	5,253	1,844
19	0,933	0,636	0,025	0,029	23,457	0,121	52,340	2,337	4,748	1,622
20	1,261	0,842	0,025	0,029	20,357	1,129	45,021	0,353	1,542	1,116
21	1,148	0,892	0,025	0,029	31,107	1,342	45,021	0,353	1,542	0,804
22	1,029	0,046	0,983	1,015	26,757	2,524	54,360	2,661	5,716	2,042
23	0,916	0,592	0,025	0,029	22,495	1,013	47,376	1,693	2,815	0,780
24	0,989	0,782	0,025	0,029	25,190	0,121	56,578	2,902	6,443	2,361

C. Perhitungan Etc dan Ltc

Penentuan *Etc* dan *Ltc* dapat diselesaikan menggunakan Langkah 7. Hasil seluruh perhitungan Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 7.

TABEL VII
Perhitungan *Lead Time*

No Order	Kode Produk	Etc	Ltc	Status
1	A1	172,241	281,644	Layak
2	A2	172,527	288,836	Layak
3	A3	182,034	264,511	Layak
4	A4	190,340	251,607	Layak
5	A5	162,280	271,343	Layak
6	A6	176,770	301,756	Layak
7	B1	176,400	269,717	Layak
8	A7	176,476	287,843	Layak
9	A8	182,454	257,016	Layak
10	A9	164,936	267,983	Layak
11	B2	172,503	283,945	Layak
12	A10	189,991	284,883	Layak
13	B3	176,300	275,972	Layak
14	B4	162,687	276,969	Layak
15	A11	175,249	262,310	Layak
16	A12	168,980	285,014	Layak
17	A13	177,284	226,224	Layak
18	A14	167,813	255,461	Layak
19	A15	158,562	249,974	Layak
20	C1	159,292	269,989	Layak
21	B5	171,451	270,301	Layak
22	A16	174,371	260,241	Layak
23	A17	162,019	279,357	Layak
24	A18	170,497	256,736	Layak

Berdasarkan pemeriksaan *Etc* dan *Ltc* pada Tabel 7 menunjukkan seluruh order layak untuk dijadwalkan.

D. Penjadwalan stasiun kerja

Penjadwalan berdasarkan pada stasiun kerja *bottleneck* menggunakan aturan *due date*. *Due date* setiap *order* pada SK 7 menunjukkan urutan *order*. *Starting time due date* terbesar menjadi *completion time order* sebelumnya di SK 7 menggunakan aturan *backward*. *Completion time due date* menjadi *starting time order* setelah SK 7 menggunakan aturan *forward*. Urutan *order* dari hasil penjadwalan adalah

17,11, 21, 20, 19, 18, 24, 14, 22, 10, 4, 7, 3, 23, 15, 9, 13, 5, 1, 8, 2, 16, 12, dan 6.

E. Analisis Hasil

Penjadwalan produksi memakai pendekatan *Theory of Constraints* (TOC) mengkonsentrasikan pengendalian pada stasiun kerja *bottleneck*. Stasiun kerja *bottleneck* digunakan sebagai penggerak pada penjadwalan produksi. Metode penjadwalan yang memakai prinsip-prinsip TOC adalah *Drum Buffer Rope* (DBR). Algoritma *Zijm* adalah prosedur pemecahan yang dapat mengidentifikasi stasiun kerja *bottleneck* yang digunakan sebagai titik pengendalian penjadwalan. di antara 10 stasiun kerja yang terdapat di PT. XYZ stasiun kerja yang menjadi stasiun kerja *bottleneck* adalah stasiun kerja 7 (*Spray Gun*). SK 7 menjadi stasiun kerja *bottleneck* sebab memiliki ekspektasi waktu tunggu terbesar dengan nilai 45,021 jam, sebanding dengan rata rata beban kerja dengan nilai 0,892, dan waktu prosesnya. Penyebab stasiun kerja 7 dijadikan stasiun kerja *bottleneck* karena kemungkinan adanya keterlambatan pada menjadwalkan pesanan ke stasiun kerja serta urutan penjadwalan yang keliru.

Metode *forward scheduling* yang diterapkan perusahaan tidak menjamin pengerjaan pesanan yang dapat meminimasi *flowtime* pada stasiun kerja *bottleneck* sehingga terjadi keterlambatan. Penyebab lainnya diakibatkan karena kapasitas stasiun kerja. pada proses produksi, terdapat *bottleneck* pada Stasiun Kerja *Spray Gun*. Hal ini terjadi sebab di stasiun kerja sebelumnya (Stasiun Kerja *Spray Gun*.) memiliki kapasitas lebih besar, yaitu produksi 5.000 lbr/jam yang kemudian ditumpuk di Stasiun Kerja P *Spray Gun* yang hanya memiliki kapasitas sebesar 736 lbr/jam. Stasiun kerja *bottleneck* ini menjadi titik kontrol atau patokan penjadwalan, sehingga diutamakan produktivitas kerjanya dapat maksimal supaya mempelancar jadwal produksi.

Algoritma *zjm* juga bisa dilakukan untuk perhitungan *buffer*. *Buffer* yang digunakan adalah *time buffer*. *Buffer* ini dipergunakan untuk menjaga utilitas stasiun kerja dapat bekerja dengan maksimal. Besarnya *buffer* yang diberikan adalah 45,021 jam. Selisih waktu antara stasiun kerja *bottleneck* dan stasiun kerja *non bottleneck* sebelumnya diharapkan bisa menjaga *ekuilibrium* penjadwalan produksi. seluruh stasiun kerja *non bottleneck* sebelum *bottleneck* dapat terlambat, tetapi keterlambatannya tidak boleh melebihi dari besarnya *buffer time* yang diberikan pada stasiun kerja tersebut.

Penjadwalkan pesanan pada stasiun kerja *bottleneck* (SK 7) memakai hukum *backward scheduling*, yaitu menjadwalkan selambat mungkin untuk memenuhi *due date* yang telah ditentukan. Penjadwalan dengan hukum *backward scheduling* akan meminimasi WIP pada rantai produksi sebab pesanan masuk ke rantai produksi disesuaikan menggunakan kapasitas produksi pada stasiun kerja *bottleneck* sehingga pesanan tiba sesaat sebelum dikerjakan di stasiun kerja *bottleneck*.

Penjadwalan stasiun kerja *non bottleneck* berpatokan pada hasil dari stasiun kerja 7 yang merupakan stasiun kerja *bottleneck*. dalam melakukan penjadwalan pada stasiun kerja *non bottleneck*, dipisahkan antara stasiun kerja sebelum dan sesudah stasiun kerja *bottleneck*.

Penjadwalan sebelum stasiun kerja *bottleneck* memakai hukum *backward scheduling* (penjadwalan mundur), yaitu menjadwalkan selambat mungkin, namun tetap tiba tepat waktu pada stasiun kerja *bottleneck*. *Starting time* suatu order pada stasiun kerja *bottleneck* merupakan *completion time* untuk pesanan sempurna sebelum stasiun kerja *bottleneck*. Hasil penjadwalan menggunakan *backward scheduling* menghasilkan waktu mulai yaitu di jam ke 136,213 masih di dalam jadwal *feasible* (layak). Hal ini bisa dilihat dari waktu mulai yang tidak kurang dari *pre order* pesanan terakhir.

Penjadwalan stasiun kerja setelah stasiun kerja *bottleneck* menggunakan hukum penjadwalan maju (*forward scheduling*), yaitu menjadwalkan sesegera mungkin dalam penyelesaian suatu pesanan. *Completion time* suatu order pada stasiun kerja *bottleneck* merupakan *starting time order* tersebut pada stasiun kerja tepat setelah stasiun kerja *bottleneck*. Penjadwalan maju menghasilkan waktu selesai pengerjaan pesanan, yaitu jam ke 319,719.

Terjadi keterlambatan pada penyelesaian *order* sesuai dengan *due date* terbesar. Urutan *order* dari hasil penjadwalan adalah 17,11, 21, 20, 19, 18, 24, 14, 22, 10, 4, 7, 3, 23, 15, 9, 13, 5, 1, 8, 2, 16, 12, dan 6. Urutan Penjadwalan Produksi Perusahaan membuat *makespan* sebesar 30,0416 hari serta *Gantt Chart* Penjadwalan

Produksi Usulan menghasilkan *makespan* sebesar 26,215 hari.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian kali ini adalah dimana Penjadwalan berdasarkan pada stasiun kerja *bottleneck* menggunakan aturan *due date*. *Due date* setiap *order* pada SK 7 menunjukkan urutan order. *Starting time due date* terbesar menjadi *completion time order* sebelumnya di SK 7 menggunakan aturan *backward*. *Completion time due date* menjadi *starting time order* setelah SK 7 menggunakan aturan *forward*. Urutan *order* dari hasil penjadwalan adalah 17,11, 21, 20, 19, 18, 24, 14, 22, 10, 4, 7, 3, 23, 15, 9, 13, 5, 1, 8, 2, 16, 12, dan 6.

Penjadwalan produksi memakai pendekatan *Theory of Constraints* (TOC) mengkonsentrasikan pengendalian pada stasiun kerja *bottleneck*. Terdapat 10 stasiun kerja di PT. XYZ yang menjadi stasiun kerja *bottleneck* adalah stasiun kerja 7 (*Spray Gun*). SK 7 menjadi stasiun kerja *bottleneck* sebab memiliki ekspektasi waktu tunggu terbesar dengan nilai 45,021 jam, sebanding dengan rata-rata beban kerja dengan nilai 0,892, dan waktu prosesnya. Penyebab stasiun kerja 7 dijadikan stasiun kerja *bottleneck* karena kemungkinan adanya keterlambatan pada menjadwalkan pesanan ke stasiun kerja serta urutan penjadwalan yang keliru. Hasil penjadwalan menggunakan *backward scheduling* menghasilkan waktu mulai yaitu di jam ke 136,213 masih di dalam jadwal *feasible* (layak). Hal ini bisa dilihat dari waktu mulai yang tidak kurang dari *pre order* pesanan terakhir. Penjadwalan maju menghasilkan waktu selesai pengerjaan pesanan, yaitu jam ke 319,719.

Terjadi keterlambatan pada penyelesaian *order* sesuai dengan *due date* terbesar. Urutan *order* dari hasil penjadwalan adalah 17,11, 21, 20, 19, 18, 24, 14, 22, 10, 4, 7, 3, 23, 15, 9, 13, 5, 1, 8, 2, 16, 12, dan 6. Urutan Penjadwalan Produksi Perusahaan membuat *makespan* sebesar 30,0416 hari serta *Gantt Chart* Penjadwalan Produksi Usulan menghasilkan *makespan* sebesar 26,215 hari.

REFERENCES

- [1]. Herlina, E., Herlina, L., & Kulsum, K. (2014). Penerapan *Theory Of Constraint* Untuk Meminimasi *Loss Time* (Studi Kasus PT. *Bluescope Steel* Indonesia). *Jurnal Teknik Industri Untirta*, 2(3).
- [2]. Inayati, T., & Wahyuningsih, S. D. (2018). Pendekatan *Theory of Constraint (TOC)* dalam Meningkatkan Efisiensi Biaya Produksi (Studi ada PT. Perkebunan Nusantara X Pabrik Gula Tjoekir Diwek Kabupaten ombang Propinsi Jawa Timur). *Jurnal Manajemen Perbankan Keuangan Nitro*, 1(2), 94-117
- [3]. Irfan, T. A., Handoyo, H., & Endang, P. W. (2018). Analisa Perencanaan Proses Produksi Dengan *Theory Of Constraints* Untuk Memaksimalkan *Throughput* di CV. SS. Surabaya. *Tekmapro: Journal of Industrial Engineering and Management*, 13(1), 14-20.

- [4]. Kustono, A. S. (2019). Memahami *Theory of Constraint* dari Sumber Pertama Pembumian Kasus Novel “*The Goals*”. *Jurnal Ekonomi Akuntansi dan Manajemen*, 18(2), 117-133.
- [5]. Larasati, L., & Biswan, A. T. (2018). *Theory Of Constraint* Atas Layanan Penghapusan Nomor Pokok Wajib Pajak. *Jurnal Pajak Indonesia (Indonesian Tax Review)*, 2(2), 20-29.
- [6]. Larasati, S. P., & Haksama, S. (2016). Penerapan *Theory Of Constraint* Pada Kepuasan Kerja Karyawan Rumah Sakit Mata Undaan Surabaya. *Jurnal Administrasi Kesehatan Indonesia*, 4(2), 155-162.
- [7]. Santi, M. W., & Deharja, A. (2020). Analisis Kendala Penggunaan Sistem Informasi JSC *with* FAI di Kabupaten Jember berdasarkan *Theory Of Constraint* (TOC). *Jurnal Penelitian Kesehatan SUARA FORIKES (Journal of Health Research Forikes Voice)*, 11(1), 84-90.
- [8]. Sodikin, I., & Mashuri, A. (2012). Penjadwalan Produksi pada Sistem Manufaktur *Repetitive Make to Order Flow Shop* Melalui Pendekatan *Theory Of Constraints*. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 173-183.
- [9]. Suci, S. N. I., Azmi, N., & Batubara, S. (2013). Peningkatan Kapasitas Produksi Melalui Penerapan *Theory Of Constraint*, Penjadwalan Mesin Paralel dan *Bottleneck Scheduling* Pada Perusahaan *Sheet Metal Work*. *Jurnal teknik industri*, 3(2).
- [10]. Wahyuni, D., Syahputri, K., & Mangunsong, E. (2016). Upaya Penyeimbangan Kapasitas Stasiun Kerja Dengan Pendekatan *Theory Of Constraint*. *Media Teknika*, 11(2).