

Perbaikan Stasiun Kerja *Bottleneck* melalui Penerapan *Theory of Constraint* di PT. Pindad (Persero)

Rifky Pajar Kemaluddin*, Endang Prasetyaningsih

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

*rpajark@gmail.com, endangpras@gmail.com

Abstract. *PT. Pindad, Kendaraan Khusus Division is a company-owned business in the manufacture of the Anoa 6x6 motor vehicle. The company has a strategy response market "make to order" so that if there is a delay in fulfilling the demand, the company will get a penalty cost. In 2019, there was a delay in delivery which caused the company to get a penalty cost and reduce profits. The thing that affects the delay is the production flow of the ramp door, which is one of the components that make the Anoa 6x6, not yet due to the ability of each machine to produce products. Based on this phenomenon, the problems in this study are: (1) What causes the workstation to become jammed? (2) What is being done to eliminate bottlenecks that occur in the ramp door production flow. The application used is Theory of Constraint (TOC) which consists of 4 stages, namely knowing the constraints using the Current Reality Diagram (CRT), exploiting constraints using Linear Programming, subordination of constraints using Drum-Buffer-Rope and scheduling Campbell-Dudek-Smith (CDS), and provide improvement proposals at the last stage, namely the elevation constraint. After processing and repairing, it was found a decrease in machine utility from 168.72% to 84.36% with the previous profit of Rp 189,669,000,000 to Rp 336,000,000,000. The results of this study are: The special vehicle division needs to add work shifts at the Welding & Mig Workstation so that production capacity can meet customer demands and schedule component work to get the shortest time in producing ramp door components.*

Keywords: *Rampdoor, Theory of Constraint, Bottleneck*

Abstrak. PT. Pindad divisi kendaraan khusus merupakan usaha milik perusahaan dalam pembuatan kendaraan bermotor Anoa 6x6. Perusahaan memiliki respon pasar *make to order* sehingga jika terjadi keterlambatan dalam memenuhi permintaan akan mendapatkan *penalty cost*. Tahun 2019, terjadi keterlambatan pengiriman yang menyebabkan perusahaan mendapatkan *penalty cost* dan mengurangi keuntungan. Hal yang mempengaruhi keterlambatan adalah aliran produksi *rampdoor* yang merupakan salah satu komponen penyusun Anoa 6x6 belum seimbang dikarenakan kemampuan setiap mesin dalam menghasilkan produk berbeda, sehingga menimbulkan stasiun kerja *bottleneck*. Berdasarkan fenomena tersebut maka permasalahan dalam penelitian ini yaitu: (1) Apa yang menyebabkan stasiun kerja menjadi *bottleneck*? (2) Apa yang dilakukan untuk menghilangkan *bottleneck* yang terjadi pada aliran produksi *rampdoor*. Penerapan yang digunakan yaitu *Theory of Constraint* (TOC) yang terdiri dari 4 tahapan yaitu identifikasi *constraint* menggunakan *Current Reality Diagram* (CRT), eksploitasi *constraint* menggunakan *Linear Programming*, subordinasi *constraint* menggunakan *Drum-Buffer-Rope* serta penjadwalan *Campbell-Dudek-Smith* (CDS), dan memberikan usulan perbaikan pada tahapan terakhir yaitu elevasi *constraint*. Setelah dilakukannya pengolahan dan melakukan perbaikan didapatkan penurunan beban mesin untuk SK Pengelasan & Mig dari 168,72% menjadi 84,36% hal ini menyebabkan beban kerja yang sebelumnya berlebih menjadi berkurang. Keuntungan yang diperoleh sebelumnya Rp 189.669.000.000 menjadi Rp 336.000.000.000 dikarenakan permintaan yang dapat terpenuhi. Hasil dari penelitian ini adalah: Divisi kendaraan khusus perlu menambahkan *shift* kerja pada Stasiun Kerja Pengelasan & Mig agar kapasitas produksi dapat memenuhi permintaan pelanggan dan menjadwalkan *job* komponen agar mendapatkan waktu tendek dalam menghasilkan komponen *rampdoor*.

Kata Kunci: *Rampdoor, Theory of Constraint, Bottleneck.*

A. Pendahuluan

PT. Pindad (Persero) adalah perusahaan manufaktur milik BUMN (Badan Usaha Milik Negera) yang bergerak pada bidang Alat Sistem Pertahan dan produk komersial. Respon pasar yang digunakan PT. Pindad merupakan *make to order* yang melakukan produksi ketika permintaan datang dari pelanggan. PT. Pindad memiliki beberapa divisi salah satunya yaitu divisi kendaraan khusus yang memproduksi tank baja, Anoa 6x6 dan Komodo 4x4.

Tahun 2019, perusahaan mengalami keterlambatan dalam pengiriman produk Anoa 6x6 yang menyebabkan perusahaan mendapatkan *penalty cost* yang dapat dilihat pada Tabel 1. Hal tersebut merugikan perusahaan karena keuntungan yang didapatkan berkurang. Penyebab keterlambatan terjadi karena keterlambatan bahan baku, kerusakan mesin yang terjadi secara tiba-tiba dikarenakan *human error* dan kemampuan mesin dalam menghasilkan produk berbeda.

Tabel 1. Data Keterlambatan Pengiriman Produk Anoa 6x6 Tahun 2019

| Waktu Pemesanan | Produk | Jumlah (Unit) | Jadwal Kirim | Tanggal Kirim | Keterlambatan |
|-----------------|-------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| 2019 | Anoa 6x6 APC | 13 | 10/2/2020 | 10/10/2020 | 8 |
| | Anoa 6x6 Logistic | 10 | | | |
| | Anoa 6x6 Command | 5 | | | |

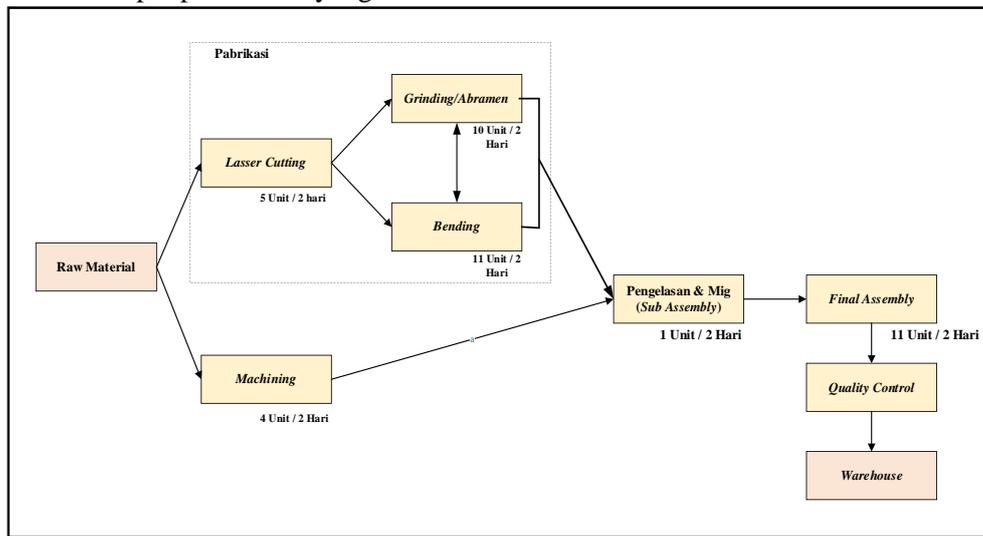
Sumber: Arsip Data Produksi Div. Kendaraan Khusus, 2020

Anoa 6x6 terdiri dari *body hull*, mesin, roda dan as roda. *Body hull* terdiri dari beberapa bagian yaitu badan kendaraan, pintu samping, palka, *rampdoor*, pelindung kaca samping dan pelindung kaca depan. Penelitian berfokus pada komponen *rampdoor* yang memiliki waktu produksi paling panjang dan memiliki proses produksi yang melewati seluruh stasiun kerja dibandingkan komponen lainnya. Dalam produksinya *General Manager* (GM) memiliki kebijakan dalam 1 bulan, divisi kendaraan khusus harus dapat menghasil 3 unit *body hull* yang siap dirakit dengan roda dan mesin. Tetapi, untuk membuat 1 *body hull* diperlukan waktu selama 10,56 hari. Hal tersebut membuat kebijakan GM tidak dapat terpenuhi. Oleh karena itu, untuk memenuhi jadwal yang ditentukan GM diadakan perbaikan untuk mengurangi waktu produksi pada komponen *rampdoor* dengan memperhatikan hambatan-hambatan yang terjadi pada aliran produksi pembuatan *rampdoor*.

Produksi *rampdoor* melalui seluruh stasiun kerja yang ada di divisi kendaraan khusus yaitu Stasiun Kerja (SK) *Lasser Cutting* dan Stasiun Kerja *Machining*, Stasiun Kerja *Grinding/Abramen*, Stasiun Kerja *Bending*, Stasiun Kerja Pengelasan & Mig, *Final Assembly* dan *Quality Control*. SK *Lasser Cutting*, SK *Bending* dan SK *Grinding/Abramen* disebut sebagai bagian pabrikasi yang memproduksi bahan baku plat baja menjadi rangka pintu dan *body* pintu untuk pintu belakang dan pintu *escape*, sedangkan SK *Machining* memproduksi komponen seperti *handle* pintu, engsel pintu, *cylinder*, penguat pintu, tutup lubang tembak dan dudukan kunci gembok. SK Pengelasan & Mig melakukan produksi untuk menyatukan komponen yang dibutuhkan dari bagian pabrikasi dengan SK *Machining*. *Final Assembly* melakukan perakitan akhir agar setiap komponen membentuk komponen *rampdoor* yaitu dengan merakit pintu belakang dengan pintu *escape*.

Terjadi hambatan pada SK *Grinding/Abramen* dan SK *Bending* yaitu pekerja dan mesin menganggur dikarenakan SK *Lasser Cutting* masih melakukan proses. Hal ini disebabkan Proses produksi pada SK *Lasser Cutting* lebih lama dibandingkan SK *Grinding/Abramen* dan SK *Bending*. Selain itu, terjadi penumpukan pada SK Pengelasan & Mig dikarenakan proses produksi yang panjang dibandingkan SK sebelumnya sehingga kapasitas produksi yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan SK sebelumnya yang dapat dilihat pada Gambar 1. SK Pengelasan & Mig hanya dapat menghasilkan 1 unit dalam 2 hari sedangkan SK sebelumnya salah satunya yaitu SK *Machining* dapat menghasilkan 4 unit dalam 2 hari. Perbedaan kapasitas produksi tersebut menyebabkan 3 unit dari SK *Machining* tidak dapat diproses atau harus menunggu diproses dan menjadi *Work in Process* (WIP). Ditambah dengan *output* yang dihasilkan pada bagian pabrikasi menyebabkan SK Pengelesan & Mig menjadi menumpuk WIP.

Penumpukan yang terjadi menyebabkan perusahaan perlu menambahkan tempat persediaan sehingga menaikkan biaya simpan yang dapat mengurangi keuntungan perusahaan karena perlu mengadakan tempat persediaan yang baru.



Gambar 1. Kapasitas Produksi pembuatan *Rampdoor*

Sumber: Lantai Produksi Divisi Kendaraan Khusus, 2021

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah yang dapat ditentukan yaitu “Bagaimana menghilangkan *constraint* yang menghambat aliran produksi dengan memaksimalkan kapasitas stasiun kerja yang menjadi *bottleneck* ?” dengan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Memaksimalkan kapasitas stasiun kerja yang menjadi *bottleneck* pada proses produksi *rampdoor* agar produksi dapat memenuhi jumlah pesanan.
2. Memberikan usulan perbaikan untuk mengurangi atau menghilangkan *constraint* yang terjadi pada proses produksi *rampdoor*.

B. Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tujuan menghilangkan stasiun kerja yang menjadi *bottleneck* pada produksi *rampdoor* agar dapat mengurangi waktu produksi dan membuat permintaan tidak terlambat untuk dikirim. Hal tersebut dicapai dengan menerapkan *Theory of Constraint* (TOC). TOC merupakan teori yang digunakan untuk melakukan optimasi dalam pemanfaatan sumber *constraint* (1). Terdapat 5 langkah yang disebut sebagai *five focusing steps theory of constraints* yaitu identifikasi *constraint*, eksploitasi *constraint*, subordinasi *non-constraint*, elevasi *constraint* dan pengulangan identifikasi jika terdapat *constraint*. Namun penelitian ini dilakukan hanya sampai tahap elevasi *constraint*.

Data yang digunakan untuk melakukan pengolahan data dikumpulkan dengan dua metode yaitu wawancara dan observasi. Data-data yang dikumpulkan terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer dikumpulkan dengan melakukan pengamatan secara langsung pada lantai produksi divisi kendaraan khusus yaitu urutan proses produksi dan *layout* bagian pabrikasi. Data sekunder didapatkan dengan melakukan wawancara serta arsip dokumen produksi Anoa 6x6 yang terdiri dari waktu proses produksi *rampdoor*, permintaan tahun 2019, dan data hari kerja.

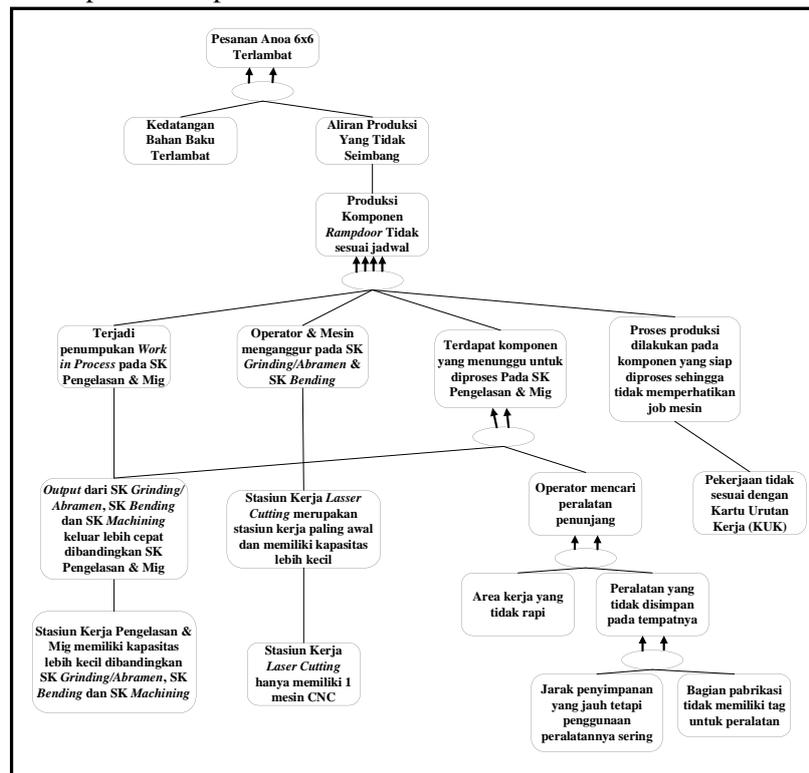
Tahap pertama adalah identifikasi *constraint* dengan menggunakan *current reality tree* (CRT). CRT merupakan alat analisis yang dapat membantu dalam meneliti sebab dan akibat logis dari kondisi *current* serta menentukan kondisi dapat berbeda dari kondisi seharusnya (2). Kemudian melakukan perhitungan kapasitas untuk mengetahui stasiun kerja yang menjadi *bottleneck*. Tahap kedua merupakan eksploitasi *constraint* dengan menggunakan *linear programming* (LP). LP digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dengan menempatkan batasan dengan cara terbaik (3). Tahap ketiga subordinasi *non-constraint* dengan menerapkan *drum-buffer-rop* (DBR). Tujuan penerapan DBR yaitu untuk menkronisasikan penggunaan

sumber daya yang dimiliki oleh perusahaan. Sinkronisasi tersebut dilakukan dengan mengadopsikan *buffer* berupa *time buffer*. *Time buffer* diadakan untuk menjaga laju produksi dari gangguan yang mungkin terjadi pada aliran produksi (4). Selanjutnya dilakukan implementasi *rope* dengan melakukan penjadwalan *campbell-dudek-smith* (CDS). Tahap terakhir elevasi *constraint* yang bertujuan untuk menghilangkan *constraint* berupa *bottleneck* yang dimiliki perusahaan dengan melakukan perbaikan untuk meningkatkan kapasitas yang dimiliki perusahaan.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Tahap Identifikasi Constraint

Tahap pertama yaitu identifikasi *constraint* dengan mengidentifikasi jenis *constraint* yang terjadi di perusahaan. Identifikasi dilakukan dengan menggunakan *Current Reality Tree* (CRT). Identifikasi CRT dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Current Relaity Tree

Berdasarkan Gambar 2. Menunjukkan permasalahan yang terjadi Stasiun Kerja Pengelasan & Mig dan Stasiun Kerja *Lasser Cutting*. Stasiun Kerja Pengelasan & Mig mengalami penumpukan yang disebabkan kapasitas produksi SK Pengelasan & Mig lebih kecil dibandingkan SK pada bagi pabriikasi dan SK *Machining*. SK *Lasser Cutting* memiliki proses yang lama sehingga terjadi kegiatan menganggur untuk operator dan mesin pada SK *Grinding/Abramen* dan SK *Bending* dikarenakan proses pada SK *Lasser Cutting* belum selesai. Oleh karena ini jenis *constraint* yang terjadi pada lantai produksi *rampdoor* adalah *capacity constraint*.

Selanjutnya hal tersebut dibuktikan dengan menghitung kapasitas setiap stasiun kerja dan menentukan stasiun kerja yang menjadi *bottleneck*. Rekapitulasi perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2.

Kapasitas tersedia = (1 shift x 7 jam x 10,5 hari x 11 bulan) x 60 menit = 48.510 menit

Total Kapasitas (SK. *Lasser Cutting*) = (13 unit x 507 menit) + (5 unit x 507 menit) + (10 unit x 507 menit) + (0 x 507 menit) + (0 x 507) menit = 14.196 menit

Diketahui bahwa SK *Lasser Cutting* tidak menjadi *bottleneck* dan bukan *constraint* bagi perusahaan untuk saat ini. Sedangkan SK Pengelasan & Mig menjadi *bottleneck* dikarenakan kapasitas yang dimiliki 48.510 menit lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas

yang dibutuhkan yaitu 81.844 menit. Hal tersebut menjadikan SK Pengelasan & Mig menjadi *bottleneck*. *Bottleneck* terjadi ketika kapasitas yang dimiliki lebih kecil dibandingkan kapasitas yang dibutuhkan (5). Berdasarkan hal tersebut maka pernyataan pada Gambar 2. yang menjelaskan hambatan yang terjadi pada SK Pengelasan & Mig benar dibuktikan dengan SK tersebut menjadi *bottleneck* sedangkan SK *Lasser Cutting* tidak menjadi hambatan.

Tabel 2. Rekapitulasi Kapasitas Stasiun Kerja

| Stasiun Kerja | Kapasitas yang dibutuhkan (Menit) | | | Kap. Yang Dibutuhkan | Kap. Tersedia | Ket. |
|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|---------------|-----------------------|
| | <i>Rampdoor APC</i> | <i>Rampdoor Command</i> | <i>Rampdoor Logistic</i> | | | |
| <i>Lasser Cutting</i> | 6.591 | 2.535 | 5.070 | 14.196 | 48.510 | <i>Non-Bottleneck</i> |
| <i>Grinding /Abramen</i> | 3.523 | 1.355 | 2.710 | 7.588 | 97.020 | <i>Non-Bottleneck</i> |
| <i>Bending</i> | 3.315 | 1.275 | 2.550 | 7.140 | 97.020 | <i>Non-Bottleneck</i> |
| <i>Machining</i> | 9.308 | 3.580 | 7.160 | 20.048 | 48.510 | <i>Non-Bottleneck</i> |
| Pengelasan & Mig | 37.999 | 14.615 | 29.230 | 81.844 | 48.510 | <i>Bottleneck</i> |
| <i>Final Assembly</i> | 3.120 | 1.200 | 2.400 | 6.720 | 48.510 | <i>Non-Bottleneck</i> |

Tahap Eksploitasi Constraint

Tahap ini dilakukan untuk mengetahui jumlah produksi yang optimal dengan memaksimalkan keuntungan dengan menempatkan batasan-batasan pada tempat terbaiknya. Metode yang digunakan yaitu *Linear Programming*. Terdapat 3 Variabel yang dibuat yaitu X₁ untuk Anoa 6x6 *Rampdoor APC*, X₂ untuk Anoa 6x6 *Rampdoor Command* dan X₃ untuk Anoa 6x6 *Rampdoor Logistic*. Adapun persamaan yang dibuat dengan *linear programming* yaitu:

$$\text{Max Z} \quad 12.000 X_1 + 12.000 X_2 + 12.000 X_3 \dots\dots\dots (2.1)$$

S/c

$$507 X_1 + 507 X_2 + 507 X_3 \leq 48.510 \dots\dots\dots (2.2)$$

$$271 X_1 + 271 X_2 + 271 X_3 \leq 97.020 \dots\dots\dots (2.3)$$

$$255 X_1 + 255 X_2 + 255 X_3 \leq 97.020 \dots\dots\dots (2.4)$$

$$716 X_1 + 716 X_2 + 716 X_3 \leq 48.510 \dots\dots\dots (2.5)$$

$$2923 X_1 + 2923 X_2 + 2923 X_3 \leq 48.510 \dots\dots\dots (2.6)$$

$$240 X_1 + 240 X_2 + 240 X_3 \leq 48.510 \dots\dots\dots (2.7)$$

$$1 X_1 + 0 X_2 + 0 X_3 \leq 13 \dots\dots\dots (2.8)$$

$$0 X_1 + 1 X_2 + 0 X_3 \leq 5 \dots\dots\dots (2.9)$$

$$0 X_1 + 0 X_2 + 1 X_3 \leq 10 \dots\dots\dots (2.10)$$

$$1 X_1 + 0 X_2 + 0 X_3 \geq 1 \dots\dots\dots (2.11)$$

$$0 X_1 + 1 X_2 + 0 X_3 \geq 1 \dots\dots\dots (2.12)$$

$$0 X_1 + 0 X_2 + 1 X_3 \geq 1 \dots\dots\dots (2.13)$$

$$X_1, X_2, X_3 \geq 0 \dots\dots\dots (2.14)$$

Berdasarkan *linear programming* diatas bentuk persamaan diuraikan sebagai berikut:

1. Persamaan 2.1 menunjukkan fungsi tujuan yaitu maksimasi *throughput*.
2. Persamaan 2.2 sampai dengan persamaan 2.7 merupakan batasan berupa waktu proses untuk memenuhi permintaan pada tahun 2019.
3. Persamaan 2.8 sampai dengan persamaan 2.10 menunjukkan batasan berupa permintaan pada tahun 2019. Persamaan 2.7 merupakan permintaan untuk *rampdoor APC*, persamaan 2.8 merupakan permintaan untuk *rampdoor Command*, dan persamaam 2.9 merupakan permintaan untuk *rampdoor logistic*.
4. Persamaan 2.11 sampai dengan persamaan 2.13 menunjukkan batasan untuk setiap

permintaan harus diproduksi. Hal tersebut menunjukkan setiap jenis produk harus diproduksi minimal 1 unit.

5. Persamaan 2.14 menunjukkan persamaan yang menyatakan setiap variabel non-negatif.

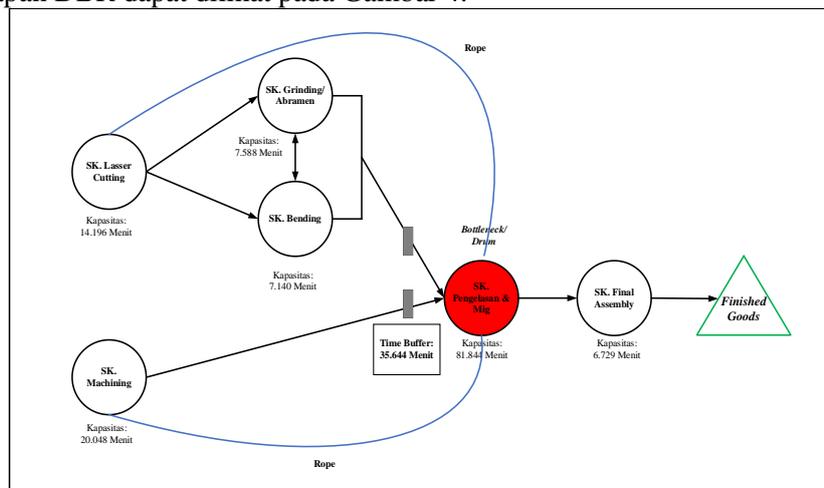
Persamaan tersebut kemudian diolah dengan menggunakan WINQSB. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. yang menghasilkan jumlah unit 13 unit *Rampdoor APC*, 1 unit *Rampdoor Command* dan 1 unit *Rampdoor Logistic*. Hal tersebut tidak sesuai dengan permintaan yang terjadi pada tahun 2019. Terdapat 2 permintaan yang tidak terpenuhi yaitu *Anoa 6x6 Command* dan *Anoa 6x6 Logistic* yang kedua produk tersebut perlu dipenuhi dengan jumlah permintaan sebanyak 5 unit untuk *Command* dan 13 unit untuk *Logistic*.

| 09:02:53 | | Tuesday | February | 22 | 2022 | | | |
|-------------------|----------------|--------------------------|--------------------|------------------|--------------|---------------------|---------------------|-------------|
| Decision Variable | Solution Value | Unit Cost or Profit c(j) | Total Contribution | Reduced Cost | Basis Status | Allowable Min. c(j) | Allowable Max. c(j) | |
| 1 | X1 | 13.0000 | 12,000.0000 | 156,000.0000 | 0 | basic | 12,000.0000 | M |
| 2 | X2 | 1.8057 | 12,000.0000 | 21,668.1500 | 0 | basic | 12,000.0000 | 12,000.0000 |
| 3 | X3 | 1.0000 | 12,000.0000 | 12,000.0000 | 0 | basic | -M | 12,000.0000 |
| Objective | Function | (Max.) = | 189,668.2000 | (Note:) | Alternate | Solution | Exists!! | |
| Constraint | Left Hand Side | Direction | Right Hand Side | Slack or Surplus | Shadow Price | Allowable Min. RHS | Allowable Max. RHS | |
| 1 | C1 | 8,013.4800 | <= | 46,200.0000 | 38,186.5200 | 0 | 8,013.4810 | M |
| 2 | C2 | 4,283.3390 | <= | 92,400.0000 | 88,116.6600 | 0 | 4,283.3360 | M |
| 3 | C3 | 4,030.4480 | <= | 92,400.0000 | 88,369.5500 | 0 | 4,030.4450 | M |
| 4 | C4 | 11,316.8700 | <= | 46,200.0000 | 34,883.1300 | 0 | 11,316.8700 | M |
| 5 | C5 | 46,200.0000 | <= | 46,200.0000 | 0 | 4.1054 | 43,845.0000 | 55,537.0000 |
| 6 | C6 | 3,793.3630 | <= | 46,200.0000 | 42,406.6400 | 0 | 3,793.3630 | M |
| 7 | C7 | 13.0000 | <= | 13.0000 | 0 | 0 | 9.8057 | 13.8057 |
| 8 | C8 | 1.8057 | <= | 5.0000 | 3.1943 | 0 | 1.8057 | M |
| 9 | C9 | 1.0000 | <= | 10.0000 | 9.0000 | 0 | 1.0000 | M |
| 10 | C10 | 13.0000 | >= | 1.0000 | 12.0000 | 0 | -M | 13.0000 |
| 11 | C11 | 1.8057 | >= | 1.0000 | 0.8057 | 0 | -M | 1.8057 |
| 12 | C12 | 1.0000 | >= | 1.0000 | 0 | 0 | 0 | 1.8057 |

Gambar 3. Hasil *Linear Programming* dengan WINQSB

Tahap Subordinasi *Non-Constraint*

Tahap selanjutnya yaitu untuk mensinkronisasikan setiap sumber daya selain *constraint* yang dimiliki perusahaan. Tahap yang digunakan yaitu dengan penjadwalan *drum-buffer-rope* (DBR). Langkah awal yaitu menentukan *drum* yang merupakan stasiun kerja *bottleneck* (Stasiun Kerja Pengelasan & Mig). Kemudian menentukan *buffer*, *buffer* yang diadakan adalah *time buffer* dengan tujuan untuk menjaga laju produksi agar jika terjadi gangguan pada stasiun kerja sebelum *drum* laju produksi tetap berjalan. Selanjutnya menarik *rope* ke stasiun kerja paling depan dan melakukan penjadwalan untuk menentukan *sequence* dengan *makespan* terkecil. Hasil penerapan DBR dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil *Drum-Buffer-Rope*

Implementasi *rope* dilakukan dengan penjadwalan CDS. Tujuan dilakukan penjadwalan yaitu agar mendapatkan *sequence* dengan *makespan* terkecil. *Makespan* adalah waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan semua *job* yang dilakukan pada *shop* (6). Dalam

pengolahannya CDS memberikan alternatif dengan K (iterasi) = $m - 1$. Variabel m merupakan jumlah stasiun kerja. Berdasarkan persamaan tersebut maka $K = 5 - 1 = 4$, sehingga terdapat 4 alternatif yang dimiliki. 4 Alternatif tersebut dipilih dengan *makespan* terkecil yaitu pada Alternatif 2 yang memiliki *makespan* yaitu 34.425 menit yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Keterlambatan Pengiriman Produk Anoa 6x6 Tahun 2019

| K | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Makespan | 36.927,00 | 34.425,00 | 34.425,00 | 35.643,00 |

Dengan *sequence job* yaitu:

Pelindung Personil – Penguat Pintu – Tutup *Handle* – Tutup Lubang Tembak – Pintu Belakang – Pintu *Escape* – Engsel Pintu – *Cylinder Hydraulic* – *Power Pac Hydraulic* – Penguci Rumah *Rampdoor*

Tahap Elevasi Constraint

Tahap terakhir yaitu menghilangkan *constraint* yang masih terjadi pada perusahaan. *Time buffer* yang diadakan pada DBR diadakan pada tahap ini. *Time buffer* yang diberikan berupa penambahan *shift* kerja dengan ketentuan *shift* dapat diambil dari divisi lain yang memiliki SK Pengelesan & Mig atau dengan menggunakan *shift* kedua dan ketiga pada divisi kendaraan khusus. *Shift* kedua dan ketiga biasanya digunakan untuk memproduksi produk lain seperti tank baja dan komodo 4x4. Penambahan *shift* akan menambahkan pengeluaran yang diperkirakan seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Keterlambatan Pengiriman Produk Anoa 6x6 Tahun 2019

| Faktor | Biaya / Operator | Keterangan |
|--------------------|------------------|---|
| Gaji Operator | Rp 3.742.276 | UMR Kota Bandung Tahun 2021 (https://upahminimum.com/) |
| Tunjangan Operator | Rp 15.000.000 | Insentif jabatan, asuransi diri dan keluarga, jaminan hari tua, tunjangan dana pensiun |
| Pelatihan | Rp 8.000.000 | Menurut General Manager Div. Kendaraan Khusus |

Pengeluaran yang dikeluarkan untuk 1 operator sebesar Rp 25.742.276, dengan menambah 1 *shift* maka akan menambah 5 operator sehingga pengeluaran yang diperlukan perusahaan sebesar Rp 133.711.380. Perbaikan diatas direkapitulasi dan dihitung kapasitas kembali pada SK Pengelasan untuk mengetahui apakah kapasitas meningkat atau tidak. Perbaikan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbaikan dengan menambah *shift* kerja

| Stasiun Kerja | Kap. Yang Dibutuhkan (menit) | Kap. Tersedia (menit) | Utilitas Stasiun Kerja (%) | Keterangan |
|--------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|
| <i>Lasser Cutting</i> | 14.196 | 48.510 | 29,26 | <i>Non-Bottleneck</i> |
| <i>Grinding/ Abramen</i> | 7.588 | 97.020 | 7,82 | <i>Non-Bottleneck</i> |
| <i>Bending</i> | 7.140 | 97.020 | 7,36 | <i>Non-Bottleneck</i> |
| <i>Machining</i> | 20.048 | 48.510 | 41,33 | <i>Non-Bottleneck</i> |
| Pengelasan & Mig | 81.844 | 97.020 | 84,36 | <i>Non-Bottleneck</i> |
| <i>Final Assembly</i> | 6.720 | 48.510 | 13,85 | <i>Non-Bottleneck</i> |

Terakhir menguji kembali dengan *linear programming*, untuk mengetahui keuntungan

yang diperoleh ketika dilakukannya perbaikan. Persamaan yang digunakan dalam *linear programming* yaitu:

$$\text{Max Z} \quad 12.000 X_1 + 12.000 X_2 + 12.000 X_3 \dots\dots\dots (2.15)$$

S/c

$$507 X_1 + 507 X_2 + 507 X_3 \leq 48.510 \dots\dots\dots (2.16)$$

$$271 X_1 + 271 X_2 + 271 X_3 \leq 97.020 \dots\dots\dots (2.17)$$

$$255 X_1 + 255 X_2 + 255 X_3 \leq 97.020 \dots\dots\dots (2.18)$$

$$716 X_1 + 716 X_2 + 716 X_3 \leq 48.510 \dots\dots\dots (2.19)$$

$$2923 X_1 + 2923 X_2 + 2923 X_3 \leq 97.020 \dots\dots\dots (2.20)$$

$$240 X_1 + 240 X_2 + 240 X_3 \leq 48.510 \dots\dots\dots (2.21)$$

$$1 X_1 + 0 X_2 + 0 X_3 \leq 13 \dots\dots\dots (2.22)$$

$$0 X_1 + 1 X_2 + 0 X_3 \leq 5 \dots\dots\dots (2.23)$$

$$0 X_1 + 0 X_2 + 1 X_3 \leq 10 \dots\dots\dots (2.24)$$

$$1 X_1 + 0 X_2 + 0 X_3 \geq 1 \dots\dots\dots (2.25)$$

$$0 X_1 + 1 X_2 + 0 X_3 \geq 1 \dots\dots\dots (2.26)$$

$$0 X_1 + 0 X_2 + 1 X_3 \geq 1 \dots\dots\dots (2.27)$$

$$X_1, X_2, X_3 \geq 0 \dots\dots\dots (2.28)$$

Berdasarkan *linear programming* diatas bentuk persamaan diuraikan sebagai berikut:

1. Persamaan 2.15 menunjukkan fungsi tujuan yaitu maksimasi *throughput*.
2. Persamaan 2.16 sampai dengan persamaan 2.21 merupakan batasan berupa waktu proses untuk memenuhi permintaan pada tahun 2019.
3. Persamaan 2.22 sampai dengan persamaan 2.24 menunjukkan batasan berupa permintaan pada tahun 2019. Persamaan 2.22 merupakan permintaan untuk *rampdoor* APC, persamaan 2.23 merupakan permintaan untuk *rampdoor Command*, dan persamaan 2.24 merupakan permintaan untuk *rampdoor logistic*.
4. Persamaan 2.25 sampai dengan persamaan 2.27 menunjukkan batasan untuk setiap permintaan harus diproduksi. Hal tersebut menunjukkan setiap jenis produk harus diproduksi minimal 1 unit.
5. Persamaan 2.28 menunjukkan persamaan yang menyatakan setiap variabel non-negatif.

Berdasarkan persamaan tersebut kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan WINQSB. Hasil perhitungan WINQSB dapat dilihat pada Gambar 5.

| 17:05:43 | | Thursday | March | 17 | 2022 | | | |
|-------------------|----------------|--------------------------|--------------------|------------------|--------------|---------------------|---------------------|---------|
| Decision Variable | Solution Value | Unit Cost or Profit c(j) | Total Contribution | Reduced Cost | Basis Status | Allowable Min. c(j) | Allowable Max. c(j) | |
| 1 | X1 | 13.0000 | 1.200.0000 | 15.600.0000 | 0 | basic | 0 | M |
| 2 | X2 | 5.0000 | 1.200.0000 | 6.000.0000 | 0 | basic | 0 | M |
| 3 | X3 | 10.0000 | 1.200.0000 | 12.000.0000 | 0 | basic | 0 | M |
| | Objective | Function | (Max.) = | 33,600.0000 | | | | |
| Constraint | Left Hand Side | Direction | Right Hand Side | Slack or Surplus | Shadow Price | Allowable Min. RHS | Allowable Max. RHS | |
| 1 | C1 | 14,196.0000 | <= | 48,510.0000 | 34,314.0000 | 0 | 14,196.0000 | M |
| 2 | C2 | 7,588.0000 | <= | 97,020.0000 | 89,432.0000 | 0 | 7,588.0000 | M |
| 3 | C3 | 7,140.0000 | <= | 97,020.0000 | 89,880.0000 | 0 | 7,140.0000 | M |
| 4 | C4 | 20,048.0000 | <= | 48,510.0000 | 28,462.0000 | 0 | 20,048.0000 | M |
| 5 | C5 | 81,844.0000 | <= | 97,020.0000 | 15,176.0000 | 0 | 81,844.0000 | M |
| 6 | C6 | 6,720.0000 | <= | 48,510.0000 | 41,790.0000 | 0 | 6,720.0000 | M |
| 7 | C7 | 13.0000 | <= | 13.0000 | 0 | 1,200.0000 | 1.0000 | 18.1919 |
| 8 | C8 | 5.0000 | <= | 5.0000 | 0 | 1,200.0000 | 0 | 10.1919 |
| 9 | C9 | 10.0000 | <= | 10.0000 | 0 | 1,200.0000 | 0 | 15.1919 |
| 10 | C10 | 13.0000 | >= | 1.0000 | 12.0000 | 0 | -M | 13.0000 |
| 11 | C11 | 5.0000 | >= | 0 | 5.0000 | 0 | -M | 5.0000 |
| 12 | C12 | 10.0000 | >= | 0 | 10.0000 | 0 | -M | 10.0000 |

Gambar 5. Hasil *Linear Programming* dengan WINQSB Setelah Perbaikan

Berdasarkan Gambar 5. Diketahui bahwa permintaan untuk APC (X1) 13 unit, *Command* (X2) 5 unit dan *Logistic* (X3) 10 unit. Hal tersebut menunjukkan permintaan dapat terpenuhi dengan menambahkan *shift* kerja pada SK Pengelasan & Mig. Keuntungan yang

diperoleh meningkat menjadi Rp 336.000.000.000. Rekapitulasi perbaikan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Pada SK Pengelasan & Mig Sebelum dan Sesudah Perbaikan

| Ukuran Performansi | Sebelum | | | Sesudah | | |
|--------------------|-------------------|----|-----------------|-------------------|----|-----------|
| Utilitas | 168,72 % | | | 84,36 % | | |
| Jumlah Produksi | X1 | 13 | Terpenuhi | X1 | 13 | Terpenuhi |
| | X2 | 1 | Tidak Terpenuhi | X2 | 5 | Terpenuhi |
| | X3 | 1 | Tidak Terpenuhi | X3 | 10 | Terpenuhi |
| <i>Throughput</i> | Rp189.668.000.000 | | | Rp336.000.000.000 | | |

D. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian yang telah dilakukan. Peneliti dapat menyimpulkan beberapa hasil setelah dilakukan penelitian yaitu:

1. Jenis *constraint* yang terjadi pada aliran produksi *Rampdoor* Divisi Kendaraan Khusus adalah *capacity constraint* dengan SK Pengelesan & Mig menjadi *bottleneck* dikarenakan kapasitas yang dimiliki lebih kecil dibandingkan kapasitas yang dibutuhkan. Oleh karena itu dengan adanya *bottleneck* perusahaan hanya dapat memproduksi *Rampdoor* APC 13 unit, *Rampdoor Command* 1 unit dan *Rampdoor Logistic* 1 unit.
2. Perbaikan yang diberikan merupakan *Time Buffer* dengan *sequence* terpilih dari nilai *makespan* terkecil.
3. *Time Buffer* diadakan berupa penambahan *shift* kerja yang dapat diambil dari divisi lain atau *shift* lain pada divisi kendaraan khusus dengan ketentuan sedang tidak ada permintaan produk tank baja dan komodo 4x4. Perbaikan tersebut dilakukan untuuk menghilangkan *constraint* berupa *bottleneck* pada SK Pengelasan & Mig.
4. Hasil yang didapatkan dari perbaikan yaitu meningkatkan keuntungan yang sebelumnya Rp 189.668.000.000 menjadi Rp 336.000.000.000

Acknowledge

Peneliti mengucapkan terima kasih terhadap pihak yang telah membantu dalam penelitian khususnya untuk Ibu Dr. Endang Prasetyaningsih, Ir., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran dalam memberikan ilmu serta arahan-araha dalam penyusunan penelitian. Peneliti mengucapkan terima kasih pula pada pihak perusahaan PT. Pindad (Persero) dan pembimbing lapangan yaitu Pak Irwansyah yang telah mengizinkan dan membantu dalam memenuhi kebutuhan penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] Goldratt, E.M., 2004. *The goal, a process of ongoing improvement*. Edisi 4. Ed. New York: Nort River Press
- [2] Dettmer, H., 2007. *The Logical Thinking Process*. Milwaukee: ASQ Quality Press.
- [3] Dimiyati, T.T., dan Dimiyati, T., 2018. *Operation Research Model-Model Pengambilan Keputusan*. Bandung: Sinar Baru Algensindo.
- [4] Umble, M.M., dan Srikanth, M.L., 1996. *Synchronous Manufacturing: Principles for World-Class Excellence*. Utah: The Spectrum Pub.co
- [5] Tersine, R.J., 1994. *Principles of Inventory and Material Management*. New Jersey: Prentice Hall
- [6] Sofyan, D.K., 2013. *Perencanaan & Pengendalian Produksi*. Yogyakarta: Graha
- [7] Salimah, Salma, M. Dzikron, Hidayat, Nita P A. (2021). Reduksi Stasiun Kerja Bottleneck pada Produksi Pakaian Gamis dan Koko dengan Menggunakan Theory of Constraints. *Jurnal Riset Teknik Industri*, 1(1), 49-57