

Analisis *cycle time* proses perakitan senjata di PT Pindad (Persero)

(*Cycle time analysis of weapon assembly process in PT Pindad (Persero)*)

Fandi Achmadi^{1,2#}, Budi Harsanto² & Akhmad Yunani³

¹ Divisi Senjata, PT Pindad (Persero), Bandung, Jawa Barat

²Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Padjadjaran, Bandung, Jawa Barat

³Fakultas Komunikasi dan Bisnis, Universitas Telkom, Bandung, Jawa Barat

#)Corresponding author: achmadi.fandi@gmail.com

Received 17 June 2021, Revised 17 July 2021, Accepted 19 July 2021

Abstrak. Tujuan paper ini adalah untuk menganalisis *cycle time* lini perakitan salah satu produk senjata di PT. Pindad (Persero) dan mengeksplorasi metode untuk meningkatkan kinerjanya. Metode yang digunakan adalah perhitungan kuantitatif terhadap data perakitan yang melibatkan 155 komponen dan 56 tugas yang terdistribusi pada 43 stasiun kerja, disertai dengan analisis dokumen terutama terhadap literatur ilmiah untuk mengelaborasi berbagai metode yang tepat untuk menjadi solusi untuk permasalahan yang dihadapi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hampir seluruh stasiun kerja memiliki *cycle time* lebih besar daripada *takt time*. Diketahui pula terdapat ketidakseimbangan dari stasiun kerja yang ada dengan beban kerja paling ringan berdurasi 67 detik sedangkan beban kerja paling besar berdurasi 253 detik. Hasil elaborasi terhadap literatur menunjukkan ada beberapa metode potensial yang dapat memberikan solusi pada permasalahan yang dihadapi dengan mempertimbangkan karakteristik lini perakitan dengan konfigurasi *straight-line*. Studi ini diharapkan berkontribusi kepada literatur dengan menganalisis waktu siklus dan keseimbangan lini perakitan pada industri pertahanan yang relatif jarang diteliti di Indonesia.

Kata kunci: keseimbangan lini perakitan, waktu siklus, industri pertahanan, manajemen operasi

Abstract. This paper aims to analyze the cycle time of the assembly line of one of the weapons products at PT. Pindad (Persero) and to explore the effective methods to improve its performance. The method used is a quantitative analysis of assembly data involving 155 components and 56 tasks distributed over 43 work stations, accompanied by document analysis, especially on scientific literature, to elaborate various appropriate methods to become solutions to the problems encountered. The results show that almost all workstations had a cycle time greater than the takt time. It is also known that there is an imbalance of existing workstations, with the lightest workload lasting 67 seconds while the largest workload lasting 253 seconds. The results of the elaboration of the literature show that several potential methods can provide solutions to the problems encountered by considering the characteristics of the assembly line with a straight-line configuration. This study contributes to the literature by analyzing cycle times and assembly line balances in the defense industry relatively rarely studied in Indonesia.

Keywords: assembly line balancing, cycle time, defense industry, operations management

1 Pendahuluan

Dari sekian banyak jenis industri manufaktur yang terdapat di Indonesia, ada beberapa perusahaan yang masuk ke dalam industri strategis salah satunya yaitu PT. Pindad (Persero). PT Pindad (Persero) termasuk ke dalam industri strategis karena memiliki bidang keahlian desain dan manufaktur dalam memproduksi produk alat utama sistem persenjataan serta komersial. Aktivitas PT Pindad (Persero) meliputi desain produk dan pengembangannya, rekayasa, permesinan dan perakitan serta perawatan. Salah satu divisi yang terdapat di PT Pindad (Persero) adalah Divisi Senjata yang memiliki tanggung jawab untuk memproduksi berbagai jenis senjata. Aktivitas yang dilakukan oleh Divisi Senjata meliputi perencanaan desain produk, perencanaan produksi, proses permesinan, perakitan produk, pengujian dan pengemasan sehingga produk siap untuk dikirim kepada pengguna.

Dalam rangka mewujudkan pemenuhan produk pertahanan yang mandiri, pada tahun 2020 Divisi Senjata melakukan upaya dengan menargetkan peningkatan kapasitas produksi. Produk yang

menjadi fokus peningkatan kapasitas yaitu senjata Senapan Serbu 2 (SS2) dikarenakan produk ini menjadi produk unggulan dari PT Pindad (Persero) dengan jumlah permintaan yang paling banyak dan proses perakitan yang paling kompleks dibandingkan dengan senjata lain. Peningkatan produksi yang dimaksud yaitu sebesar 300 pucuk SS2 per hari dari yang semula 200 pucuk SS2 per hari (Dok. Dep. Prod 3-Divjat, 2020). Untuk dapat memenuhi target tersebut salah satu proses yang harus mendapatkan perhatian khusus adalah pada perakitan senjata (*assembly*) yang sebagian besar prosesnya masih dilakukan dengan cara manual sehingga sangat berkaitan erat dengan kapasitas produksi yang mampu dihasilkan.

Liker & Meier (2006) menyatakan bahwa *cycle time* operasi harus seimbang (sama) dengan *takt time* agar jumlah *output* yang dihasilkan juga sama dengan target produksi. Dengan meningkatnya jumlah *output* produk senjata dari 200 pucuk menjadi 300 pucuk maka *takt time* produksi menjadi lebih singkat yang berarti *cycle time* operasi harus dievaluasi agar dapat direduksi menyesuaikan nilai *takt time*-nya. Cara yang dapat dilakukan untuk mereduksi *cycle time* adalah dengan menggunakan konsep *lean manufacture* (Pavnaskar et al., 2003). Konsep utama *lean manufacturing* adalah untuk menghilangkan pemborosan secara kontinu dalam proses produksi sehingga produktivitas dapat meningkat. Peningkatan produktivitas yang merupakan tujuan terpenting bagi hampir semua industri manufaktur dapat dilakukan dengan mengurangi *lead time* produksi dan pemborosan (*waste*) produksi (Azizi & Manoharan, 2015).

Beberapa penelitian yang menggunakan konsep *lean* untuk mereduksi *cycle time* dan *lead time* antara lain yang dilakukan oleh Sarkar et al. (2013) pada sektor asuransi dan menghasilkan peningkatan kepatuhan untuk penyelesaian klaim dari 3 menjadi 95 persen. Pena et al. (2020) menerapkan konsep *lean* pada industri manufaktur kabel dengan hasil reduksi *cycle time* sebesar 14,9% pada proses pemotongan kabel. Zahraee et al. (2020) menggunakan konsep *lean* untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi pemborosan pada industri *heater* skala kecil dan menghasilkan penurunan *lead time* produksi dari 17,5 hari menjadi 11 hari. Ribeiro et al. (2019) mengaplikasikan *lean tools* pada industri manufaktur dan menghasilkan reduksi waktu transportasi pada lini pengecatan sebesar 70%. Dari contoh penelitian tersebut diketahui bahwa manfaat utama dari penerapan *lean manufacturing* adalah meningkatkan *output* produksi dan mempersingkat *lead time* produksi (Mekong Capital, 2004).

Proses perakitan yang sebagian besar dilakukan dengan cara manual juga sangat dimungkinkan terjadinya perbedaan beban kerja di setiap stasiun kerjanya sehingga mengakibatkan adanya *idle time*. *Idle time* terjadi jika terdapat waktu tugas yang tidak sama diantara stasiun kerja. Beberapa stasiun mampu menghasilkan *output* yang lebih tinggi daripada yang lain. Stasiun dengan *output* yang lebih tinggi ini akan "dipaksa menganggur" untuk menghindari penumpukan pekerjaan antar stasiun. Lini yang tidak seimbang tidak diinginkan dalam hal pemanfaatan tenaga kerja dan peralatan karena lini menjadi tidak efisien dan dapat menciptakan masalah moral bagi pekerja yang harus bekerja terus menerus di stasiun yang lebih lambat (Stevenson, 2012). Secara umum permasalahan tersebut didefinisikan sebagai *assembly line balancing problem* (ALBP). Untuk menyeragamkan beban kerja dari setiap stasiun terdapat beberapa metode yang umum digunakan yaitu metode Analitik dan metode Heuristik (Prabowo, 2016).

Dari uraian di atas maka penelitian ini dilakukan untuk melakukan analisis *cycle time* pada proses perakitan senjata dan mengeksplorasi metode untuk meningkatkan performanya sehingga tujuan meningkatkan kapasitas produksi dari 200 pucuk perhari menjadi 300 pucuk perhari dapat tercapai. Eksplorasi metode dilakukan dengan studi komparasi terhadap beberapa metode yang digunakan pada *lean manufacturing* dan metode yang digunakan pada *assembly line balancing*.

2 Kajian Teori

Lean Manufacturing

Lean manufacturing berasal dari *Toyota Production System* (TPS) dan telah diterapkan secara bertahap di seluruh operasi Toyota yang dimulai pada tahun 1950-an. Pada tahun 1980-an Toyota semakin dikenal karena efektivitas penerapan sistem manufaktur *Just-In-Time* (JIT). Saat ini, Toyota sering dinilai sebagai salah satu industri manufaktur dengan nilai efisien tertinggi di dunia dan perusahaan yang menetapkan standar praktik terbaik dalam *Lean Manufacturing*. Istilah "*Lean Manufacturing*" atau "*Lean Production*" pertama kali muncul tahun 1990 di buku *The Machine that Changed the World* (Mekong Capital, 2004).

Lean Manufacturing, atau yang dikenal juga *Lean Production*, merupakan seperangkat alat dan cara dalam menghilangkan semua pemborosan secara terus menerus pada proses produksi. Konsep *lean* paling banyak digunakan dalam industri yang berorientasi pada perakitan atau memiliki jumlah proses manual berulang yang tinggi. Hal ini biasanya terjadi pada industri yang produktivitasnya sangat dipengaruhi oleh efisiensi dan perhatian terhadap detail orang-orang yang bekerja secara manual dengan perkakas atau peralatan pengoperasian. Untuk jenis perusahaan ini, sistem yang ditingkatkan dapat menghilangkan tingkat pemborosan atau inefisiensi yang signifikan. Contoh industrinya termasuk industri pengolahan kayu, manufaktur garmen, perakitan mobil, perakitan elektronik dan manufaktur peralatan (Mekong Capital, 2004).

Berkaitan dengan pemborosan, terdapat tiga jenis aktivitas yang berbeda pada suatu organisasi atau industri (Hines & Taylor, 2000):

- *Value adding activity*, merupakan aktivitas untuk membuat barang atau jasa memiliki nilai yang dilihat dari perspektif pelanggan.
- *Non value adding activity*, merupakan aktivitas yang dilakukan namun tidak menambah nilai pada barang atau jasa berdasarkan perspektif pelanggan dan bahkan tidak diperlukan untuk dilakukan. Aktivitas ini jelas merupakan pemborosan dan harus segera dihilangkan atau menjadi target jangka pendek. Contoh *non value adding activity* yaitu memindahkan komponen dari salah satu wadah ke wadah yang lain agar produk tersebut dapat dipindahkan disekitar area pabrik.
- *Necessary non value adding activity*, merupakan kegiatan yang tidak menambah nilai dari perspektif pelanggan, tetapi diperlukan untuk menghasilkan produk kecuali jika pasokan atau proses produksi yang ada berubah secara radikal. Jenis pemborosan ini dapat menjadi target jangka panjang untuk dihilangkan. Contoh aktivitas ini seperti melakukan pengujian pada akhir proses operasi dikarenakan proses tersebut menggunakan mesin yang lama.

Riset yang dilakukan oleh *Lean Enterprise Research Center* (LERC) di Inggris menunjukkan bahwa umumnya perusahaan manufaktur memiliki rasio aktivitas sebagai berikut (Hines & Taylor, 2000):

- 5% merupakan aktivitas yang memberi nilai pada produk atau jasa.
- 60% merupakan aktivitas yang tidak memberi nilai tambah.
- 35% aktivitas yang tidak memberi nilai tambah tetapi perlu dilakukan.

Hal ini menyiratkan bahwa hingga 60% aktivitas di perusahaan manufaktur pada umumnya berpotensi untuk dihilangkan (Mekong Capital, 2004).

Value stream mapping

Value stream mapping (VSM) merupakan salah satu *tools* pada *lean manufacturing* yang dipakai untuk menggambarkan proses produksi atau seluruh jaringan rantai pasokan. Selain memetakan aliran material, VSM juga memetakan aliran informasi untuk memberi sinyal dan mengendalikan produksi (Braglia et al., 2006). Penelitian tentang penggunaan VSM sebagai *lean tools* antara lain dilakukan oleh Seth & Gupta (2005) yang mengaplikasikan VSM pada proses permesinan dari bahan mentah sampai menghasilkan produk jadi pada industri sepeda motor dengan hasil *lead time* produksi berkurang signifikan dari 3.215 hari menjadi 0.54 hari, *processing time* berkurang dari 15.67 menit menjadi 14.13 menit dan *output* produksi setiap pekerja meningkat menjadi 17.54 *frames* dari 13.95 *frames*. Braglia et al. (2006) mengaplikasikan VSM pada industri manufaktur lemari es dengan hasil total *productive lead time* berkurang menjadi 13 jam, sesuai dengan reduksi sebesar 68% dari yang semula 41.5 jam. Tyagi et al. (2015) menerapkan VSM untuk mengeksplorasi pemborosan dan mengeliminasi pemborosan tersebut pada sektor yang sedikit berbeda yaitu pada *Product Development* Turbin Gas, hasilnya reduksi *lead time* pada tahap desain produk dapat mengurangi *lead time* secara keseluruhan sebesar 50%.

Lebih khusus penerapan VSM untuk proses perakitan pernah diteliti oleh Azizi & Manoharan, (2015) pada proses perakitan PCB untuk pembuatan *smart tag* kendaraan. Permasalahan yang menjadi fokus penelitian tersebut yaitu terdapat stasiun kerja yang memiliki *cycle time* lebih besar dari *takt time*. VSM dapat memetakan penyebab tingginya *cycle time* pada stasiun kerja tersebut sehingga dapat dilakukan perbaikan dan menghasilkan reduksi waktu setup mesin sebesar 63%. Penelitian yang dilakukan oleh Azizi & Manoharan (2015) ini sekaligus membuktikan bahwa penerapan VSM tidak hanya dapat diaplikasikan pada keseluruhan aktivitas *supply chain*

management di suatu perusahaan, tetapi juga dapat diaplikasikan pada salah satu bagian dari aktivitas tersebut misalnya pada proses perakitan produk. Hal ini dikarenakan setiap bagian dari aktivitas *supply chain management* selalu terdapat aliran material dan informasi yang saling terkait dan memiliki tujuan yang sama yaitu fokus memaksimalkan *value* kepada pelanggan akhir (Heizer et al., 2017).

Assembly line balancing (ALB)

Assembly line balancing (ALB) adalah strategi peningkatan efisiensi produksi dengan menetapkan tugas yang telah ditentukan ke stasiun kerja sambil tetap memperhatikan urutan prioritas (*precedence*) dan pertimbangan masalah khusus (Harsanto, 2013; Heizer et al., 2017). Tujuan utama ALB adalah untuk memperoleh output yang sama di setiap stasiun kerja di lini perakitan sehingga tidak terdapat *delay* (Heizer et al., 2017). Beberapa langkah yang wajib dilakukan untuk mencapai tujuan tersebut yaitu (Yilmazlar et al., 2020):

- Menentukan tugas dan detail tugas
- Menentukan hubungan prioritas (*precedence*) antar tugas
- Mengamati waktu tugas (*task times*)
- Menetapkan tugas ke stasiun

Kondisi yang umumnya terjadi pada suatu lini perakitan yaitu:

- Tidak adanya dependensi proses yang sedang dikerjakan dengan proses yang mendahuluinya. Hal ini berarti setiap item memiliki kesempatan yang sama untuk dikerjakan pada awal proses.
- Adanya ketergantungan aktivitas dari aktivitas yang mendahuluinya. Jika item tersebut dapat diproses apabila proses sebelumnya telah selesai, maka untuk mengerjakan item tersebut perlu dibuat batasan *precedence*.

Diagram *precedence* memberikan gambaran yang sistematis tentang urutan pengerjaan dari keseluruhan operasi kerja dalam menghasilkan suatu produk. Fungsi pengawasan, perencanaan serta evaluasi dalam memproduksi suatu barang akan dimudahkan dengan pembuatan *precedence diagram* ini (Prabowo, 2016).

Pada proses perakitan maupun proses permesinan umumnya terdapat beberapa stasiun kerja yang menyusun aliran proses dan setiap stasiun kerja tersebut memiliki *cycle time* yang berbeda-beda. Apabila perbedaan *cycle time* antar stasiun terlalu besar, maka aliran proses perakitan akan terganggu dan menyebabkan efisiensi dari proses perakitan tersebut menjadi rendah. Untuk menyeragamkan *cycle time* dari setiap stasiun kerja terdapat beberapa metode yang umum digunakan (Prabowo, 2016):

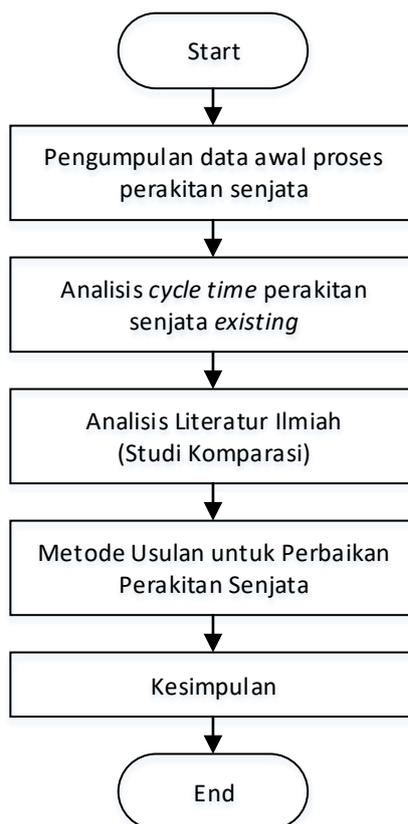
- 1) Metode Analitik.
Metode analitik memberikan solusi optimal dengan menggunakan pendekatan matematis. Untuk menerapkan metode ini diperlukan perhitungan melalui *linier programming* atau *dynamic programming* yang rumit.
- 2) Metode Heuristik.
Proses perakitan yang melibatkan operasi pengerjaan dengan jumlah besar akan sulit untuk diselesaikan dengan melakukan perhitungan rumit dari metode analitik, sehingga metode ini menjadi tidak ekonomis. Berdasarkan keterbatasan itu maka dikembangkan metode heuristik, salah satunya adalah *Ranked Positional Weight* (RPW).

3 Metoda

Metode dan Tahapan Penelitian

Metode yang diimplementasikan pada penelitian ini adalah kombinasi dua metode sekaligus yaitu kualitatif dan kuantitatif untuk mendapatkan data yang lebih komprehensif, valid, reliabel dan objektif. Metode kuantitatif dilakukan dengan membuat perhitungan kuantitatif terhadap data perakitan senjata saat ini dan menganalisis *cycle time*-nya, sedangkan metode kualitatif dilakukan dengan menganalisis dokumen terutama terhadap literatur ilmiah untuk mengelaborasi berbagai metode yang tepat untuk menjadi solusi pada permasalahan perakitan senjata.

Secara diagram aliran proses, tahapan penelitian untuk menganalisis *cycle time* dan untuk mengeksplorasi metode dalam rangka meningkatkan performa proses perakitan senjata SS2 ditampilkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Tahapan Penelitian Analisis *Cycle Time* Proses Perakitan Senjata.

Sumber dan Teknik Pengumpulan Data

Data primer diperoleh melalui observasi langsung di lapangan, studi waktu dan wawancara dengan Manager Perakitan, Junior Manager Perakitan dan Operator Perakitan. Observasi langsung di lapangan dilakukan untuk mendapatkan data mengenai alur proses perakitan senjata SS2 pada kondisi *existing*, cara kerja operator dalam merakit senjata SS2, susunan stasiun kerja, pergerakan (*transport*) dari operator pada stasiun kerja serta pergeseran material di area perakitan. Studi waktu dilakukan untuk pengambilan data *cycle time* di setiap stasiun kerja. Sedangkan wawancara dengan Manager Perakitan, Junior Manager Perakitan dan Operator Perakitan dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai kendala yang dihadapi di proses perakitan senjata berkaitan dengan fasilitas dan kekuatan personil yang dimiliki untuk merakit senjata. Wawancara juga dilakukan untuk mengkonfirmasi data yang didapatkan dari hasil observasi langsung di lapangan (Harsanto et al., 2020; Silverman, 2016).

Data sekunder diperoleh dengan mengidentifikasi dan menghimpun dokumen *engineering* yang berkaitan dengan proses perakitan senjata, informasi proses perakitan senjata yang terdapat pada software *Enterprise Resource Planning* (ERP) Pindad, buku literatur dan jurnal ilmiah yang terpublikasi secara nasional maupun internasional dengan tema *reduction of cycle time* dan *assembly line balancing*. Identifikasi dan penghimpunan dokumen dilakukan secara terstruktur, yang serupa dengan apa yang dikenal sebagai *review sistematis* pada tinjauan literatur akademik (Harsanto, 2020; Permana & Harsanto, 2020). Data *engineering* yang dimaksud yaitu dokumen urutan proses baku dari perakitan senjata SS2, dokumen referensi *cycle time* proses perakitan senjata yang pernah diambil oleh Departemen Engineering dan dokumen struktur *Bill of Material* (BOM) yang menyusun senjata SS2. Informasi yang terdapat pada ERP Pindad yaitu master routing/urutan dari proses perakitan senjata dan pembagian sub rakitan senjata SS2. Urutan dari proses perakitan yang ada di ERP akan dikonfirmasi kesesuaiannya terhadap dokumen *engineering* agar tidak terdapat kesalahan informasi akibat dari kesalahan pada saat input data. Sedangkan buku literatur dan jurnal ilmiah yang terpublikasi secara nasional maupun internasional digunakan sebagai referensi dalam pemilihan metode penelitian dan metode pengolahan data yang akan diusulkan sebagai metode perbaikan dalam proses perakitan senjata yang akan datang.

4 Hasil dan Pembahasan

Kondisi Perakitan Senjata SS2 existing

Berdasarkan tata letak stasiun kerja pada lini perakitan, maka *layout* area perakitan senjata pada kondisi saat ini mengikuti konfigurasi *serial lines* atau yang sering juga disebut sebagai *straight lines*. Konfigurasi *straight lines* berupa stasiun tunggal yang disusun dalam garis lurus dimana setiap stasiun melakukan satu atau lebih tugas dan dapat menjadi unit yang sederhana dari sistem yang kompleks (Rekiek & Delchambre, 2006).

Sumber daya yang dimiliki oleh Divisi Senjata untuk menjalankan proses perakitan senjata SS2 yang terdiri dari 155 buah komponen yaitu terdapat 56 operasi/tugas yang terdistribusi pada 43 stasiun kerja dengan jam kerja efektif per hari yaitu 7,25 jam (Dok. Dep. Prod 3-Divjat, 2020). Tabel 1 berikut menginformasikan data *cycle time* dari setiap stasiun kerja perakitan senjata SS2.

Tabel 1 Data *Cycle Time* Operasi Perakitan Senjata SS2

No	Stasiun Kerja	Operasi	Cycle Time (s)	No	Stasiun Kerja	Operasi	Cycle Time (s)	No	Stasiun Kerja	Operasi	Cycle Time (s)
1	1	A1	136	20	15	C1	174	39	30	E8	124
2	1	A2	136	21	15	C2	174	40	31	F1	102
3	2	A3	97	22	16	C3	160	41	32	F2	99
4	3	A4	130	23	17	C4	99	42	33	F3	124
5	4	A5	83	24	18	C5	124	43	34	G1	99
6	5	A6	253	25	19	C6	99	44	35	G2	101
7	6	A7	70	26	20	C7	124	45	35	G3	101
8	7	A8	124	27	21	C8	124	46	36	G4	99
9	8	A9	124	28	21	D1	124	47	37 & 38	G5	223
10	8	A10	124	29	22	D2	106	48	39	G6	67
11	9	A11	205	30	22	D3	106	49	40 & 41	G7	133
12	10	B1	97	31	23	D4	157	50	40 & 41	H1	133
13	11	B2	131	32	24	E1	68	51	42	H2	135
14	11	B3	131	33	25	E2	124	52	42	H3	135
15	12	B4	118	34	26	E3	124	53	42	H4	135
16	12	B5	118	35	27	E4	73	54	43	H5	138
17	13	B6	190	36	27	E5	73	55	43	H6	138
18	13	B7	190	37	28	E6	113	56	43	H7	138
19	14	B8	148	38	29	E7	102				

Sumber: (Dok. Dep. Prod 3-Divjat, 2020) Data Diolah

Untuk mencapai target produksi yaitu 300 pucuk SS2 per hari dengan waktu kerja yang tersedia 7,25 jam maka ritme produksi (*takt time*) yang harus dijalankan yaitu 87 detik per produk. Nilai *takt time* tersebut didapatkan dengan rumus berikut (Azizi & Manoharan, 2015):

$$Takt\ time = \frac{waktu\ kerja\ yang\ tersedia}{jumlah\ permintaan\ pelanggan} \quad (1)$$

Berdasarkan data pada Tabel 1 di atas, diketahui bahwa hampir semua stasiun kerja memiliki *cycle time* lebih besar daripada *takt time* yang harus dijalankan. Liker & Meier (2006) menyatakan bahwa *cycle time* operasi harus seimbang (sama) dengan *takt time* agar jumlah output yang dihasilkan juga sama dengan target produksi. Dari Tabel 1 juga diketahui bahwa beban kerja pada stasiun kerja perakitan senjata terdapat ketidakseimbangan. Stasiun yang memiliki beban kerja paling ringan yaitu stasiun G6 (67 detik), sedangkan stasiun dengan beban kerja paling berat yaitu stasiun A6 (253 detik). Perbedaan beban kerja pada stasiun tersebut berdampak pada efisiensi lini perakitan yang rendah karena akan terjadi penumpukan (*bottleneck*) pada operator yang memiliki beban kerja paling berat.

Analisis *Cycle Time*

Reduksi *cycle time* agar seimbang dengan *takt time* dapat dilakukan dengan menerapkan konsep *lean manufacture* sesuai hasil penelitian dari Pavnaskar et al. (2003). Lebih lanjut Pavnaskar et al. (2003) telah membuat skema untuk mengklasifikasikan *tools* yang umum digunakan pada *lean manufacture* yaitu: (1) *cellular layout*, (2) *facility layout diagrams*, (3) *load levelling*, (4) *six sigma* dan (5) *value stream mapping*. Dari hasil pengklasifikasian tersebut, diketahui bahwa metode *value stream mapping* mampu memberikan gambaran yang paling lengkap dari aliran barang dan

informasi di setiap level yang ada di industri (*System, Object, Operation, Activity, Resource, Characteristic* dan *Application*). Kelebihan VSM juga diutarakan pada riset yang dikerjakan oleh Tyagi et al. (2015) yang mengutarakan bahwa VSM khususnya dimanfaatkan sebagai *tools* untuk menemukan area yang potensial dilakukan penyempurnaan dengan mengeksplorasi dan menghilangkan pemborosan di PDP (*Product Development Process*), sementara *tools* lain hanya digunakan untuk melakukan analisis. Jenis pemborosan (*waste*) yang umumnya terdapat pada proses manufaktur yaitu (Liker & Meier, 2006):

1. *Overproduction*. Menghasilkan produk lebih cepat atau dengan kapasitas yang lebih banyak dari kebutuhan konsumen. Menghasilkan barang lebih cepat atau melebihi kebutuhan menyebabkan pemborosan lainnya, antara lain jumlah staf yang berlebih, biaya penyimpanan dan transportasi lebih tinggi disebabkan persediaan yang berlebih.
2. *Waiting (time on hand)*. Operator menunggu mesin yang berjalan secara otomatis, menunggu suplai komponen, atau tidak terdapat pekerjaan disebabkan mesin yang berhenti bekerja.
3. *Transportation or conveyance*. Memindahkan komponen dari suatu tempat ke tempat lain walaupun jaraknya dekat. Memasukkan atau mengeluarkan komponen ke tempat penyimpanan.
4. *Overprocessing atau incorrect processing*. Melakukan tindakan yang berlebih dikarenakan adanya produk yang cacat akibat dari penggunaan alat bantu atau desain yang buruk.
5. *Excess inventory*. Bahan mentah, WIP atau finish product yang melebihi kebutuhan dapat menyebabkan produk menjadi usang dan rusak serta biaya penyimpanan menjadi lebih tinggi.
6. *Unnecessary movement*. Setiap pergerakan yang dilakukan operator selama menyelesaikan pekerjaan selain akan memberikan nilai pada produk juga merupakan pemborosan jika melakukan pergerakan yang tidak diperlukan seperti mencari, menumpuk bagian dan termasuk juga berjalan.
7. *Defects*. Produksi suku cadang atau koreksi yang rusak. Memperbaiki (*rework*), skrap, pengganti barang yang rusak dan pemeriksaan ulang merupakan sumber pemborosan waktu, tenaga dan material.
8. Kreativitas karyawan yang tidak digunakan. Tidak berdiskusi dengan karyawan dalam mencari solusi sehingga tidak mendapat ide atau masukan, tidak ada peningkatan keterampilan dan tidak ada kesempatan untuk belajar.

Salah satu penyebab tingginya nilai *cycle time* pada proses perakitan yang dikerjakan secara manual yaitu adanya tahapan pra perakitan dimana operator mengambil komponen pada peti penyimpanan dan juga terdapat tahapan pasca perakitan yaitu operator menyimpan hasil operasi perakitan pada peti penyimpanan. Pengambilan dan penyimpanan ini termasuk dalam kategori pemborosan (*waste*) yaitu *transportation or conveyance*. Sedangkan ketidakseimbangan beban kerja pada perakitan senjata akan memicu timbulnya pemborosan yang berupa *excess inventory* pada salah satu stasiun kerja sehingga menyebabkan *bottleneck*.

Analisis Assembly Line Balancing

Sedangkan untuk permasalahan penyeimbangan beban kerja pada lini perakitan, umumnya penelitian dilakukan dengan mengukur indikator kinerja dari proses perakitan tersebut yang salah satu indikatornya adalah nilai efisiensi lini. Beberapa peneliti yang mengakat tema *line balancing* memfokuskan studi mereka terhadap penggunaan teknik *line balancing* dengan metode yang berbeda-beda. Tomar & Manoria (2016) menerapkan metode *Computer Method for Sequencing Operations for Assembly Lines* (COMSOAL), *Ranked Positional Weight* (RPW) dan *Largest Candidate Rule* (LCR) untuk meningkatkan efisiensi lini pada industri Surin Automotive Ltd. Laporan mereka menunjukkan bahwa semua metode heuristik dapat menghasilkan solusi yang baik untuk masalah *straight-line balancing*. Fathi et al. (2018) membandingkan 20 metode heuristik yang berbeda pada 100 permasalahan yang ada di perakitan dan hasilnya menyatakan bahwa metode heuristik RPW menunjukkan hasil yang lebih baik untuk memberikan solusi pada industri yang menjalankan fungsi perakitan dengan konfigurasi *straight-line*.

Azwir & Pratomo (2017) mengusulkan metode *Helgeson-Birnie* (RPW), *Kilbridge-Wester Heuristic* dan *Moddie Young* untuk diimplementasikan pada lini pengelasan (*line welding*) dengan tujuan meningkatkan efisiensi lininya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa indikator kinerja efisiensi lini dan *balance delay* mempunyai nilai yang sama besar dengan menggunakan ketiga metode yang digunakan. Namun nilai *smoothness index* terdapat perbedaan. Metode *Helgeson-Birnie* (RPW) menunjukkan nilai *smoothness index* yang paling baik. Metode yang diusulkan juga mampu

mengurangi kebutuhan stasiun kerja dari awalnya 8 stasiun menjadi 6 stasiun. Bongomin et al. (2020) dalam studinya menggunakan metode *Ranked Positional Weight* untuk menyeimbangkan lini perakitan pada produk celana yang diterapkan dalam dua skenario berbeda yaitu:

- Skenario 1: *Line balancing* dilakukan tanpa mengganggu waktu siklus (*cycle time*) dan batasan prioritas (*precedence constraints*).
- Skenario 2: *Line balancing* dilakukan tanpa mengganggu waktu siklus (*cycle time*), jenis mesin, atau batasan sumber daya (*resource constrain*) dan batasan prioritas (*precedence constraints*).

Hasil penelitian tersebut diketahui bahwa metode *Ranked Positional Weight* menghasilkan lini perakitan yang seimbang dengan efisiensi lini yang tinggi ketika tidak ada pertimbangan kendala sumber daya (*resource constrain*) di setiap stasiun kerja. Penelitian tersebut juga menunjukkan penurunan kebutuhan stasiun kerja yang signifikan dari 61 menjadi hanya 27 stasiun kerja.

Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis *cycle time* perakitan senjata yang diketahui sebagian besarnya melebihi dari *takt time* untuk mencapai target 300 pucuk senjata perhari, maka diperlukan metode untuk melakukan perbaikan dalam rangka mereduksi *cycle time*. Proses mereduksi *cycle time* dilakukan dengan menerapkan konsep *lean manufacture* yaitu dengan menghilangkan pemborosan (*waste*) yang terdapat di sepanjang aliran proses perakitan senjata antara lain *transportation or conveyance* dan *excess inventory*.

Salah satu *lean tools* yang sesuai untuk diaplikasikan pada proses perakitan senjata SS2 yang memiliki jumlah stasiun kerja cukup banyak adalah metode *Value Stream Mapping* (VSM), dikarenakan metode tersebut mampu memberikan gambaran yang paling lengkap dari aliran barang dan informasi sehingga dapat dengan mudah ditemukan sumber pemborosan dan pada akhirnya akan dapat disusun strategi untuk menghilangkan pemborosan tersebut.

Untuk distribusi beban kerja yang tidak seragam diantara stasiun kerja perakitan senjata, proses penyeimbangan beban kerja pada lini perakitan senjata SS2 yang mengikuti konfigurasi *serial line* atau *straight line* dapat diselesaikan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fathi et al. (2018) dan Tomar & Manoria (2016) yaitu dengan penggunaan metode *Ranked Positional Weight* (RPW).

Penggabungan konsep *lean manufacture* dan teknik *line balancing* pernah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain Nallusamy & Saravanan (2016) pada penelitiannya yang berjudul "*Enhancement of Overall Output in a Small Scale Industry Through VSM, Line Balancing and Work Standardization*" serta penelitian yang dilakukan oleh Ayu (2018) dengan judul penelitiannya "*Rekayasa Perbaikan Proses Produksi Boneka dengan Integrasi Metode Line Balancing dan Value Stream Mapping*". Penggabungan teknik seperti ini lazim dilakukan dalam area riset Manajemen operasi (Prasetyo & Harsanto, 2019; Prayudha & Harsanto, 2020). Kedua metode tersebut diintegrasikan dengan melakukan analisis *line balancing* kemudian hasilnya dituangkan kedalam *future state maps* yang merupakan bagian dari metode VSM. *Line balancing* dapat memberikan strategi perbaikan yang dapat dijadikan bahan masukan dalam pembuatan *future state maps*.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis *cycle time* pada proses perakitan senjata saat ini dan hasil eksplorasi metode untuk peningkatan performa proses perakitan, maka untuk melakukan perbaikan proses perakitan senjata SS2 di Divisi Senjata – PT Pindad (Persero) dapat dilakukan dengan mengombinasikan metode *Value Stream Mapping* (VSM) dan metode *Ranked Positional Weight* (RPW). Penggabungan kedua metode tersebut diharapkan mampu memberikan gambaran peta aliran material dan informasi, nilai *cycle time* dan nilai indikator kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan kondisi *existing*.

Referensi

- Ayu, F. T. B. (2018). Rekayasa Perbaikan Proses Produksi Boneka Dengan Integrasi Metode Line Balancing dan Value Stream Mapping. *Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering*, 10(3), 294-303. <https://doi.org/10.22441/oe.v10.3.2018.009>

- Azizi, A., & Manoharan, T. a/p. (2015). Designing a Future Value Stream Mapping to Reduce Lead Time Using SMED-A Case Study. *Procedia Manufacturing*, 2, 153-158. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.027>
- Azwir, H. H., & Pratomo, H. W. (2017). Implementasi Line Balancing untuk Peningkatan Efisiensi di Line Welding Studi Kasus: PT X. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 6(1), 57-64. <https://doi.org/10.26593/jrsi.v6i1.2428.57-64>
- Bongomin, O., Mwasiagi, J. I., Nganyi, E. O., & Nibikora, I. (2020). Improvement of garment assembly line efficiency using line balancing technique. *Engineering Reports*, 2(4), 1-18. <https://doi.org/10.1002/eng2.12157>
- Braglia, M., Carmignani, G., & Zammori, F. A. (2006). A New Value Stream Mapping Approach for Complex Production System. *International Journal of Production Research*, 44 (18-19), 3929-3952. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00207540600690545>
- Fathi, M., Fontes, D. B., Urenda Moris, M., & Ghobakhloo, M. (2018). Assembly Line Balancing Problem: A Comparative Evaluation of Heuristics and A Computational Assessment of Objectives. *Journal of Modelling in Management*, 13(2), 455-474. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/JM2-03-2017-0027>
- Harsanto, B. (2013). *Dasar Ilmu Manajemen operasi*. Unpad Press. Sumedang.
- Harsanto, B. (2020). Eco-Innovation Research in Indonesia: A Systematic Review and Future Directions. *Journal of STI Policy and Management*, 5(2), 179-191.
- Harsanto, B., Kumar, N., Zhan, Y., & Michaelides, R. (2020). Exploring Sustainability-Oriented Innovation Capabilities in the Indonesian Manufacturing Firms. *Academy of Management Proceedings*, 2020(1), 14242.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2017). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management*. Pearson. London.
- Hines, P., & Taylor, D. (2000). *Going Lean*. Cardiff: Lean Enterprise Research Centre.
- Liker, J. K., & Meier, D. (2006). *The Toyota Way Fieldbook*. New York: McGraw-Hill.
- Mekong, C. (2004). *Introduction to Lean Manufacturing for Vietnam*. Vietnam: Mekong Capital Ltd.
- Nallusamy, S., & Saravanan, V. (2016). Enhancement of overall output in a small scale industry through VSM, line balancing and work standardization. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 26, 176–183. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.26.176>
- Pavnaskar, S. J., Gershenson, J. K., & Jambekar, A. B. (2003). Classification Scheme for Lean Manufacturing Tools. *International Journal of Production Research*, 41(13), 3075–3090. <https://doi.org/10.1080/0020754021000049817>
- Pena, R., Ferreira, L. P., Silva, F. J. G., Sá, J. C., Fernandes, N. O., & Pereira, T. (2020). Lean Manufacturing Applied to A Wiring Production Process. *Procedia Manufacturing*, 51, 1387–1394. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.193>
- Permana, C. T., & Harsanto, B. (2020). Sustainable City Planning Concepts and Practices in Emerging Economies: A Systematic Review. *The Journal of Indonesia Sustainable Development Planning*, 1(1), 67–82.
- Prabowo, R. (2016). Penerapan Konsep Line Balancing untuk Mencapai Efisiensi Kerja yang Optimal pada Setiap Stasiun Kerja pada PT. HM. SAMPOERNA Tbk. *Jurnal IPTEK*, 20(2). 9-20. <https://doi.org/10.31284/j.ipitek.2016.v20i2.25>
- Prasetyo, S. C., & Harsanto, B. (2019). Integration of Quality Function Deployment and Kano Model in Service Business. *Jurnal Manajemen*, XXIII(03), 412–427.
- Prayudha, A. N., & Harsanto, B. (2020). Integration of Service Quality, Benchmarking and Ishikawa Diagram in Service Operations. *Jurnal Manajemen dan Pemasaran Jasa*.13(2), 151-166.
- Rekiek, B., & Delchambre, A. (2006). *Assembly Line Design The Balancing of Mixed-Model Hybrid Assembly Lines with Genetic Algorithms* (1st Edition). Springer-Verlag. London.

- Ribeiro, P., Sá, J. C., Ferreira, L. P., Silva, F. J. G., Pereira, M. T., & Santos, G. (2019). The Impact of the Application of Lean Tools for Improvement of Pprocess in A Plastic Company: A Case Study. *Procedia Manufacturing*, 38, 765–775. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.104>
- Sarkar, S. A., Mukhopadhyay, A. R., & Ghosh, S. K. (2013). Improvement of claim processing cycle time through lean six sigma methodology. *International Journal of Lean Six Sigma*, 4(2), 171–183. <https://doi.org/10.1108/20401461311319347>
- Seth, D., & Gupta, V. (2005). Application of Value Stream Mapping for Lean Operations and Cycle Time Reduction: An Indian Case Study. *Production Planning and Control*, 16(1), 44–59. <https://doi.org/10.1080/09537280512331325281>
- Silverman, D. (2016). *Qualitative Research*. SAGE Publications Ltd, Thousand Oaks.
- Stevenson, W. J. (2012). *Operations Management* (11th Edition). McGraw-Hill Companies, Inc. New York City.
- Tomar, A., & Manoria, A. (2016). Increasing Line efficiency with COMSOAL , RPW and LCR Methods of Assembly Line Balancing Problem. *International Journal of Software & Hardware Research in Engineering*, 4(1), 23–27.
- Tyagi, S., Choudhary, A., Cai, X., & Yang, K. (2015). Value Stream Mapping to Reduce the Lead-Time of A Product Development Process. *International Journal of Production Economics*, 160, 202–212. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.002>
- Yilmazlar, I. O., Jeyes, A., Fiore, A., Patel, A., Spence, C., Wentzky, C., Zero, N., Kurz, M. E., Summers, J. D., & Taaffe, K. M. (2020). A case study in line balancing and simulation. *Procedia Manufacturing*, 48, 71–81. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.05.076>
- Zahraee, S. M., Toloioe, A., Abrishami, S. J., Shiwakoti, N., & Stasinopoulos, P. (2020). Lean manufacturing analysis of a Heater industry based on value stream mapping and computer simulation. *Procedia Manufacturing*, 51(2019), 1379–1386. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.192>
- Divisi Senjata - PT Pindad (Persero). (2020). *Output Kerja Individu Departemen Perakitan*. Bandung.