

SIMULASI DENGAN PENDEKATAN METODE *GREEN LEAN* MANUFACTURING GUNA MENGEVALUASI PEMBOROSAN WAKTU PADA PT. ANS DENGAN SISTEM DINAMIS

Naswa Salsabila¹⁾, Ahmad²⁾, Andres³⁾

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara

e-mail: ¹⁾naswa.545210018@stu.untar.ac.id, ²⁾ahmad@ft.untar.ac.id, ³⁾andres@ft.untar.ac.id

ABSTRAK

Perusahaan manufaktur ini bergerak di industri otomotif dengan sistem produksi Make to Order (MTO), menghasilkan komponen mesin kendaraan roda dua. Hasil observasi menunjukkan adanya pemborosan berupa waste waiting dan waste motion yang menurunkan efisiensi serta meningkatkan waktu dan biaya operasional. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi sumber pemborosan, menganalisis akar penyebabnya, serta memberikan usulan perbaikan berbasis pendekatan Green Lean Manufacturing yang juga memperhatikan aspek lingkungan. Metode yang digunakan mencakup Value Stream Mapping (VSM), diagram Fishbone, analisis 5 Why's, dan simulasi sistem dinamis. Berdasarkan analisis Current VSM, diperoleh lead time sebesar 268,21 menit dengan Process Cycle Efficiency (PCE) sebesar 77,32%. Usulan perbaikan meliputi penempatan material dekat mesin, penyiapan alat sebelum produksi, dan penambahan fasilitas kerja. Future VSM menunjukkan penurunan lead time sebesar 17,92 menit dan peningkatan PCE sebesar 1,17%. Melalui simulasi tiga skenario, hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa skenario terbaik untuk mengurangi motion waste adalah Skenario 3, sedangkan untuk waiting time adalah Skenario 2. Keduanya menunjukkan efektivitas penerapan lean secara berkelanjutan dalam kurun waktu lima tahun.

Kata kunci: *Green Lean Manufacturing, Wasting Time, Motion Waste, Simulasi Dinamis*

ABSTRACT

This manufacturing company operates in the automotive industry with a Make to Order (MTO) production system, producing motorcycle engine components. Observations revealed production inefficiencies due to waste in the form of waiting time and excessive motion, leading to increased operational time and costs. This study aims to identify sources of waste, analyze root causes, and propose improvements using the Green Lean Manufacturing approach, which emphasizes both production efficiency and environmental considerations. The methods applied include Value Stream Mapping (VSM), Fishbone Diagram, 5 Why's analysis, and system dynamics simulation. Based on the Current VSM analysis, the lead time was 268.21 minutes with a Process Cycle Efficiency (PCE) of 77.32%. Proposed improvements include relocating materials closer to machines, preparing tools before production, and adding workplace facilities. The Future VSM showed a lead time reduction of 17.92 minutes and a PCE increase of 1.17%. From the three simulated scenarios, ANOVA test results indicated that Scenario 3 was the most effective in reducing motion waste, while Scenario 2 best reduced waiting time. Both scenarios demonstrated the effectiveness of continuous lean implementation over a five-year period.

Keywords: *Green Lean Manufacturing, Wasting Time, Motion Waste, System Dynamics Simulation*

PENDAHULUAN

Di tengah persaingan industri modern, keberlanjutan menjadi aspek penting dalam meningkatkan efisiensi dan daya saing perusahaan manufaktur [1]. PT ANS sebagai salah satu produsen sepeda motor terbesar di Indonesia menghadapi tantangan berupa tingginya tingkat pemborosan dalam proses produksi, seperti wasting time dan motion. Pemborosan ini tidak hanya menurunkan efisiensi, tetapi juga meningkatkan konsumsi energi dan menghasilkan limbah yang berdampak negatif terhadap lingkungan [2]. Penggunaan sumber daya yang tidak terkendali turut menyebabkan kenaikan biaya operasional dan limbah industri [3].

Jika tidak ditangani, kondisi tersebut dapat menghambat pencapaian target produksi yang efisien dan berkelanjutan. Untuk menjawab tantangan ini, penelitian ini menerapkan

pendekatan *Green Lean Manufacturing*, yang menggabungkan prinsip efisiensi Lean Manufacturing dan keberlanjutan Green Manufacturing [4]. Metode *Value Stream Mapping* (VSM) digunakan untuk memetakan aliran proses dan mengidentifikasi waste. Sedangkan *Causal Loop Diagram* (CLD) dan *Stock and Flow Diagram* (SFD) digunakan untuk menganalisis hubungan sebab-akibat dan memodelkan aliran sumber daya [5]. Pendekatan ini memungkinkan PT ANS merancang strategi perbaikan yang efektif untuk mengurangi pemborosan sekaligus meningkatkan keberlanjutan operasional.

METODE PENELITIAN

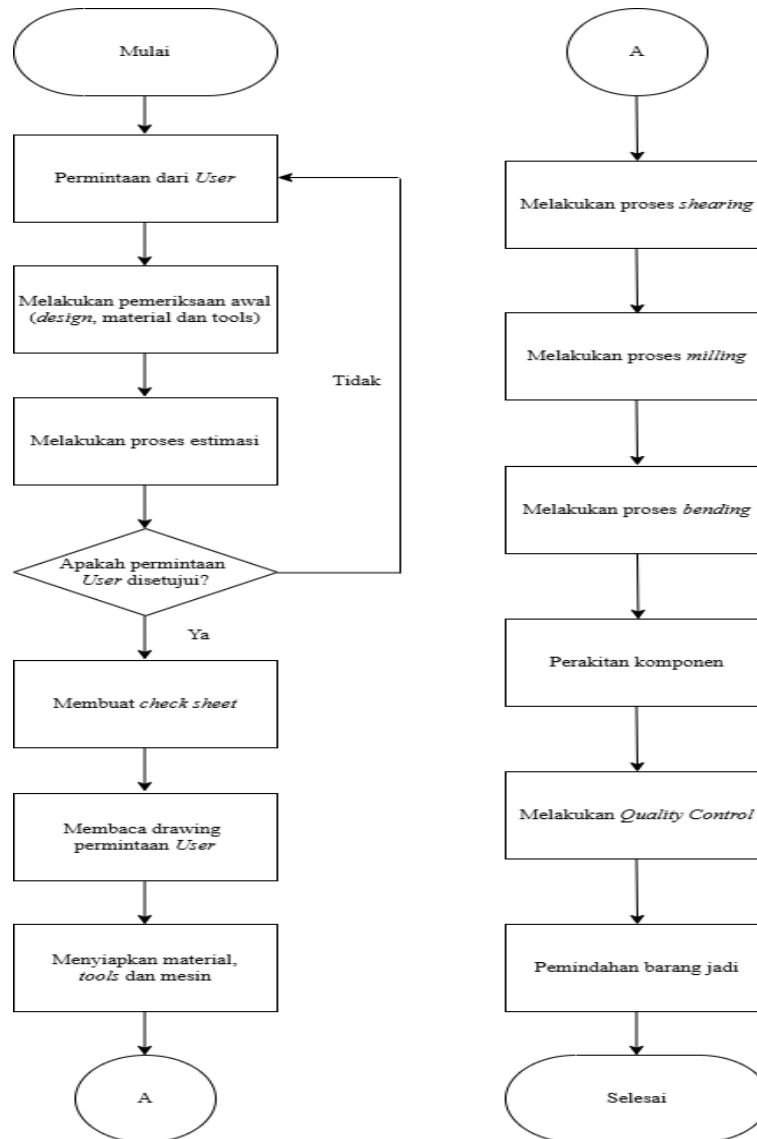
Penelitian ini menggunakan pendekatan sistem dinamis untuk menganalisis dan meningkatkan efisiensi proses produksi di PT ANS melalui penerapan konsep *Green Lean Manufacturing* [6]. Studi diawali dengan observasi langsung dan wawancara untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai proses produksi. Identifikasi masalah dilakukan untuk merumuskan fokus utama penelitian, diikuti dengan penetapan tujuan, manfaat, dan batasan ruang lingkup studi. Data dikumpulkan dalam bentuk data primer, seperti waktu proses, waktu tunggu, konsumsi energi, dan jumlah limbah, serta data sekunder berupa data historis dan dokumentasi proses produksi. Validitas dan reliabilitas data diuji melalui uji kecukupan, normalitas, dan keseragaman. Selanjutnya, dilakukan pemetaan proses menggunakan *Current Value Stream Mapping* (CVSM) untuk mengidentifikasi aktivitas bernilai tambah dan pemborosan. Analisis waste dilakukan dengan menggunakan *Value Stream Analysis Tools* (VALSAT) dan perhitungan *Process Cycle Efficiency* (PCE). Untuk menemukan akar penyebab pemborosan, digunakan pendekatan *fishbone diagram* dan *5 whys analysis*. Analisis sistem dinamis dilakukan dengan membangun *Causal Loop Diagram* (CLD) untuk memetakan hubungan sebab-akibat antar faktor pemborosan, serta *Stock and Flow Diagram* (SFD) untuk menggambarkan dinamika aliran material, waktu, dan produk cacat dalam sistem [7].

Simulasi dilakukan untuk mengevaluasi dampak dari berbagai skenario perbaikan terhadap performa sistem produksi dalam rentang waktu tertentu [8]. Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi untuk mengevaluasi dampak berbagai skenario perbaikan terhadap performa sistem produksi dalam kurun waktu tertentu. Melalui simulasi, dianalisis perubahan yang terjadi sebagai akibat dari penerapan usulan perbaikan, khususnya dalam hal efisiensi waktu, pengurangan pemborosan, dan peningkatan produktivitas. Pendekatan ini juga memungkinkan identifikasi terhadap potensi hambatan dan ketidakefisienan yang mungkin muncul, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih berbasis data dan bersifat preventif. Berdasarkan hasil analisis, dirancang rekomendasi perbaikan yang divisualisasikan melalui *Future Value Stream Mapping* (FVSM) sebagai representasi proses produksi yang telah dioptimalkan. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan dan rekomendasi implementatif yang dapat mendukung pengambilan keputusan manajerial untuk mewujudkan sistem produksi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses produksi didefinisikan sebagai kegiatan yang sistematis dalam mengubah input menjadi output melalui penggunaan sumber daya dan sistem operasi yang terorganisasi [9]. PT ANS merupakan perusahaan manufaktur sepeda motor dengan sistem produksi *make to order* (MTO). Untuk memahami bagaimana proses produksi dilakukan di PT. ANS dengan sistem *make to order* (MTO), diperlukan penjelasan mengenai alur proses produksi secara menyeluruh. Alur ini menunjukkan tahapan-tahapan dari mulai pesanan diterima hingga produk selesai diproses. Proses produksi dimulai dari permintaan user

hingga pengemasan barang jadi, yang dapat dilihat pada Gambar 1 *Flowchart* Proses Produksi.



Gambar 1. *Flowchart* Proses Produksi

Waktu aktivitas produksi diukur secara langsung sebanyak 30 kali pengamatan. Untuk memastikan validitas data, dilakukan uji kecukupan, normalitas, dan keseragaman. Uji kecukupan data dihitung untuk menghitung nilai N' yang kemudian dibandingkan dengan jumlah data aktual ($N = 30$) dari setiap kumpulan data waktu yang diperoleh. Apabila nilai N' lebih kecil dari nilai N , maka dapat dikatakan bahwa data dikatakan cukup. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh data memenuhi kriteria valid dan layak digunakan dapat dilihat pada Tabel 1 – 3.

Tabel 1. Uji Kecukupan Data Proses Produksi

No.	Aktivitas	Nilai N'	Hasil
1.	Menyiapkan material, <i>tools</i> dan mesin	23,64	Cukup
2.	Proses <i>shearing</i>	4,25	Cukup
3.	Proses <i>milling</i>	1,16	Cukup
4.	Proses <i>bending</i>	0,31	Cukup
5.	Perakitan komponen	13,10	Cukup
6.	<i>Quality control</i>	13,46	Cukup
7.	Pemindahan barang jadi	13,31	Cukup
8.	Proses pengemasan	18,31	Cukup

Uji normalitas data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Minitab dan metode Shapiro-Wilk, yang sesuai untuk data acak dengan ukuran sampel kecil ($N < 50$). Tujuan uji ini adalah untuk memastikan bahwa data waktu yang digunakan memenuhi asumsi distribusi normal sebagai dasar dalam analisis statistik parametrik [10]. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jika nilai signifikansi (*p-value*) lebih besar dari 0,05, maka data dianggap berdistribusi normal. Sebaliknya, nilai signifikansi yang lebih kecil atau sama dengan 0,05 mengindikasikan bahwa data tidak berdistribusi normal. Uji ini merupakan langkah awal yang penting dalam validasi data, guna menentukan metode analisis statistik yang paling tepat untuk digunakan dalam penelitian. Uji normalitas data proses produksi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Uji Normalitas Data Proses Produksi

No.	Aktivitas	P-Value	Hasil
1.	Menyiapkan material, <i>tools</i> dan mesin	>0,100	Normal
2.	Proses <i>shearing</i>	>0,100	Normal
3.	Proses <i>milling</i>	>0,100	Normal
4.	Proses <i>bending</i>	>0,100	Normal
5.	Perakitan komponen	>0,100	Normal
6.	<i>Quality control</i>	>0,100	Normal
7.	Pemindahan barang jadi	>0,100	Normal
8.	Proses pengemasan	>0,100	Normal

Uji keseragaman data dilakukan menggunakan Microsoft Excel dengan menggunakan koefisien korelasi Pearson (*r*) untuk mengukur hubungan linear antara dua variabel, terutama untuk menguji validitas instrumen dalam penelitian [11]. Berikut merupakan tabel waktu uji keseragaman data dan hasil pengujian terhadap keseragaman data pada aktivitas proses produksi yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Uji Keseragaman Data Proses Produksi

Uji Validitas	Menyiapkan Material, <i>Tools</i> , dan Mesin	Proses <i>Shearing</i>	Proses <i>Milling</i>	Proses <i>Bending</i>	Perakitan Komponen	<i>Quality Control</i>	Pemindahan Barang Jadi	Proses Pengemasan
Correlation	0,664616113	0,601297	0,700169	0,427769655	0,619503	0,389021908	0,41197257	0,405815
R Tabel	0,361	0,361	0,361	0,361	0,361	0,361	0,361	0,361
Keputusan	VALID	VALID	VALID	VALID	VALID	VALID	VALID	VALID

Berdasarkan data yang telah tervalidasi, dilakukan perhitungan waktu siklus, waktu normal, dan waktu baku menggunakan metode Westinghouse dan penyesuaian kelonggaran kerja. Total waktu baku yang diperoleh adalah 315,37 menit, yang mencerminkan keseluruhan beban waktu operasional pada proses produksi dapat dilihat pada Tabel 4 – 6.

Tabel 4. Waktu Siklus Proses Produksi

No.	Aktivitas	Waktu Siklus (Menit)
1.	Menyiapkan material, <i>tools</i> dan mesin	17,96
2.	Proses <i>shearing</i>	55,96
3.	Proses <i>milling</i>	63,11
4.	Proses <i>bending</i>	61,77
5.	Perakitan komponen	39,27
6.	<i>Quality control</i>	13,34
7.	Pemindahan barang jadi	9,31
8.	Proses pengemasan	7,49

Setelah dilakukan perhitungan waktu siklus pada setiap tahapan proses produksi, langkah selanjutnya adalah menghitung waktu normal dengan menggunakan metode *Westinghouse*. Metode ini dipilih karena mampu memberikan penyesuaian waktu yang lebih objektif melalui penilaian terhadap kinerja operator berdasarkan empat faktor utama, yaitu *skill* (keterampilan), *effort*, *conditions*, dan *consistency* [12]. Keempat faktor tersebut dievaluasi secara sistematis untuk menentukan nilai faktor penyesuaian, yang kemudian digunakan untuk mengoreksi waktu siklus agar mencerminkan kondisi kerja nyata yang

lebih representatif. Perhitungan waktu normal dilakukan dengan mengalikan waktu siklus aktual dengan nilai faktor penyesuaian yang telah ditetapkan melalui analisis Westinghouse. Langkah ini penting untuk mendapatkan estimasi waktu kerja standar yang dapat dijadikan acuan dalam proses perencanaan dan pengendalian produksi. Waktu normal ini kemudian dianalisis untuk mengetahui efisiensi kerja pada masing-masing aktivitas produksi dan menjadi dasar bagi perhitungan waktu baku di tahap selanjutnya. Hasil dari perhitungan waktu normal pada setiap proses produksi disajikan secara rinci dalam Tabel 5.

Tabel 5. Waktu Normal Proses Produksi

No.	Aktivitas	Waktu Siklus (Menit)	Faktor Penyesuaian	Waktu Normal (Menit)
1.	Menyiapkan material, <i>tools</i> dan mesin	17,96	0,10	19,76
2.	Proses <i>shearing</i>	55,96	0,16	64,92
3.	Proses <i>milling</i>	63,11	0,08	68,16
4.	Proses <i>bending</i>	61,77	0,26	77,84
5.	Perakitan komponen	39,27	0,26	49,49
6.	<i>Quality control</i>	13,34	0,28	17,08
7.	Pemindahan Barang jadi	9,31	0,02	9,5
8.	Proses pengemasan	7,49	0,15	8,62

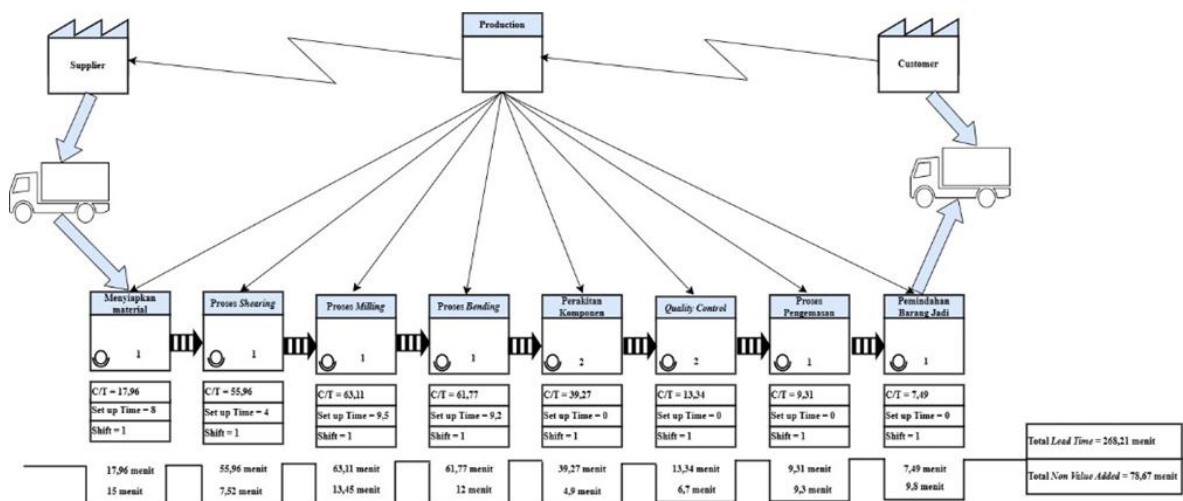
Waktu baku didapatkan dengan menambahkan toleransi pada waktu normal untuk mengakomodasi kelelahan, kebutuhan istirahat, gangguan pekerjaan, maupun keperluan pribadi. Selanjutnya adalah menghitung waktu baku untuk proses produksi. Perhitungan ini menggunakan nilai faktor kelonggaran yang telah ditetapkan dan waktu siklus dianalisis. Hasil dari perhitungan waktu produksi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Waktu Baku Proses Produksi

No.	Aktivitas	Waktu Normal (Menit)	Faktor Kelonggaran (%)	Waktu Baku (Menit)
1.	Menyiapkan material, <i>tools</i> dan mesin	19,76	28	25,29
2.	Proses <i>shearing</i>	64,92	28	83,10
3.	Proses <i>milling</i>	68,16	16,5	79,39
4.	Proses <i>bending</i>	77,84	26,5	98,49
5.	Perakitan komponen	49,49	25	61,86
6.	<i>Quality control</i>	17,08	24	21,18
7.	Pemindahan barang jadi	9,5	23,5	11,74
8.	Proses pengemasan	8,62	19,5	10,30

Identifikasi Pemborosan dan Efisiensi Proses

Pemetaan proses menggunakan *Current Value Stream Mapping* (CVSM) dilakukan untuk mengidentifikasi aktivitas yang tidak bernilai tambah dalam alur produksi [13].



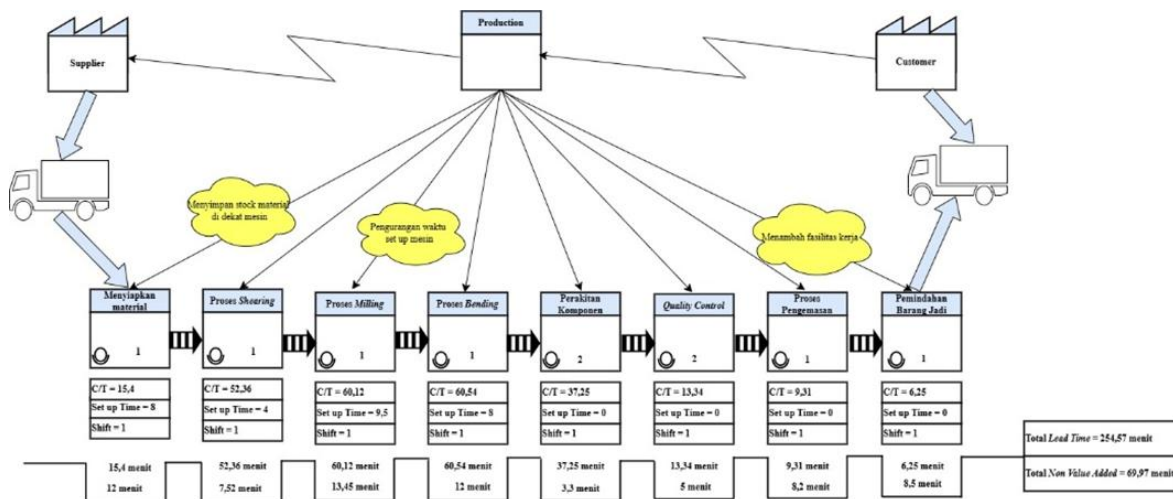
Gambar 2. *Current Value Stream Mapping*

Berdasarkan klasifikasi nilai tambah aktivitas, hanya 85,12% waktu aktivitas yang tergolong *value added*, sementara sisanya merupakan *non-value added time*. Perhitungan *Process Cycle Efficiency* (PCE) menunjukkan nilai 77,32%, yang mengindikasikan adanya ruang untuk perbaikan efisiensi.

$$\text{Process Cycle Efficiency} = \frac{\text{Value Added Time}}{\text{Total Lead Time}} \times 100\%$$

$$\text{Process Cycle Efficiency} = \frac{268,21}{346,88} \times 100\% = 77,32$$

Berdasarkan klasifikasi nilai tambah aktivitas, hanya 85,12% waktu aktivitas yang tergolong *value added*, sementara sisanya merupakan *non-value added time*. Perhitungan *Process Cycle Efficiency* (PCE) menunjukkan nilai 77,32%, yang mengindikasikan adanya ruang untuk perbaikan efisiensi. Berdasarkan temuan tersebut, dilakukan perancangan usulan perbaikan untuk mengurangi pemborosan melalui pendekatan lean, seperti penataan ulang *layout*, otomatisasi proses *input*, digitalisasi informasi, serta pelatihan operator. Sebagai representasi sistem yang telah dioptimalkan, dibuat *Future Value Stream Mapping* (FVSM) yang menunjukkan peningkatan aliran proses dan pengurangan pemborosan. Dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *Future Value Stream Mapping*

Setelah dilakukan perbandingan antara *current state* dan *future state* terhadap nilai aktivitas *non-value added* dan *process cycle efficiency* dapat digunakan untuk mengevaluasi peningkatan dalam proses produksi setelah diterapkannya usulan perbaikan, seperti menyimpan stok material di dekat area kerja, menyiapkan *tools* yang akan digunakan, dan menambah fasilitas kerja. Perbandingan pada CVSM dan FVSM pada proses produksi dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan CVSM dan FVSM

Indikator	CVSM	FVSM	Keterangan
Total Lead Time	268,21	250,29	Menurun sebesar 17,92 menit
Non-Value Added Activity	78,67	68,56	Menurun sebesar 10,08 menit
Process Cycle Efficiency	77,32	78,49	Meningkat sebesar 1,17 %

Berdasarkan data tersebut, terjadi penurunan total lead time sebesar 17,92 menit, dari 268,21 menit menjadi 250,29 menit. Selain itu, durasi aktivitas *non-value added* juga menurun sebesar 10,08 menit, dari 78,67 menit menjadi 68,59 menit. Peningkatan efisiensi

juga tercermin pada nilai *process cycle efficiency* yang meningkat dari 77,32% menjadi 78,49%, atau sebesar 1,17%.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mengidentifikasi dan menganalisis pemborosan utama dalam proses produksi menggunakan pendekatan lean manufacturing. Berdasarkan temuan di lapangan, dirancang sejumlah usulan perbaikan yang bertujuan untuk mengurangi waste, khususnya pemborosan gerakan (*motion*) dan waktu menunggu (*waiting*). Perbaikan yang diusulkan meliputi penataan ulang tata letak stasiun kerja, digitalisasi aliran informasi, otomatisasi sebagian proses input, serta peningkatan kapabilitas operator melalui pelatihan. Rekomendasi tersebut diformulasikan berdasarkan akar penyebab pemborosan dan disajikan secara sistematis untuk mendukung implementasi teknis di lapangan. Setelah penerapan *Lean Manufacturing* dan SMED, terjadi perbaikan signifikan pada kinerja proses produksi. Total *lead time* menurun sebesar 17,92 menit (6,68%), dan aktivitas *non-value added* berkurang 10,08 menit (12,81%). Peningkatan juga terlihat pada *Process Cycle Efficiency* (PCE), dari 77,32% menjadi 78,49% (naik 1,17% atau 1,51% relatif). Identifikasi terhadap *motion waste* menunjukkan operator sering berjalan jauh untuk mengambil material dan alat. Solusinya meliputi penyediaan stok material di dekat area kerja dan penambahan troli untuk mempercepat pemindahan barang. Hal ini meningkatkan efisiensi internal transportasi dan mengurangi pemborosan gerakan. Sebelum perbaikan, *waiting time* tinggi karena operator membaca modul manual, menginput data satu per satu, serta mesin belum otomatis. Material juga disimpan jauh dari area kerja, menyebabkan waktu terbuang. Setelah implementasi *Lean* dan SMED, perbaikan dilakukan melalui SOP visual, panduan digital, dan integrasi sistem input data otomatis. Aktivitas *non-value added* berhasil dieliminasi, serta *point-of-use storage* diterapkan untuk memperpendek jarak pengambilan material. Hasilnya, proses menjadi lebih cepat, efisien, dan minim pemborosan. Temuan ini membuktikan bahwa pendekatan *lean manufacturing* yang diterapkan secara sistematis mampu meningkatkan efisiensi proses produksi dan dapat dijadikan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam perancangan sistem produksi yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J.P. Womack and D.T. Jones, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, New York, NY: Free Press., 2003.
- [2] F.A. Abdulmalek and J. Rajgopal, "Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study," *International Journal of Production Economics*, vol. 107, no. 1, pp. 223-236, 2007.
- [3] EPA (United States Environmental Protection Agency), *Lean Manufacturing and the Environment: Research on Advanced Manufacturing Systems and the Environment and Recommendations for Leveraging Better Environmental Performance*, 2003.
- [4] C.M. Dües, K.H. Tan, and M. Lim, "Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain," *Journal of Cleaner Production*, vol. 40, pp. 93–100, 2013.
- [5] J.D. Sterman, *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000.
- [6] A.R. Rahmani and M. Saman, "Implementation of Green Lean Manufacturing in Improving Production Efficiency," *International Journal of Production Research*, vol. 56, no. 5, pp. 1675–1689, 2019.

- [7] M.M. Gupta and R. Jain, “Dynamic System Modeling for Waste Reduction in Manufacturing using CLD and SFD,” *Systems Research and Behavioral Science*, vol. 36, no. 2, pp. 210–222, 2020.
- [8] J. Banks, J.S. Carson II, B.L. Nelson, and D.M. Nicol, *Discrete-Event System Simulation*, 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2010.
- [9] J. Heizer and B. Render, *Operations Management*, 11th ed. New Jersey: Pearson Education, 2014.
- [10] S.S. Shapiro and M.B. Wilk, “An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples),” *Biometrika*, vol. 52, no. 3/4, pp. 591–611, 1965.
- [11] L.J. Cronbach, “Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests,” *Psychometrika*, vol. 16, no. 3, pp. 297–334, 1951.
- [12] R.M. Barnes, *Motion and Time Study: Design and Measurement of Work*, 7th ed. New York: John Wiley & Sons, 1980.
- [13] M. Rother and J. Shook, *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA*, Cambridge, MA: Lean Enterprise Institute, 2003.