

Pengembangan 9 Waste Extended Value Stream Mapping untuk Mendukung Implementasi Lean Manufacturing

Innastya Hafshah Irbatul Ilmi*, Putu Dana Karningsih

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Email: innastya.13@gmail.com*, putu.karningsih@gmail.com

Keywords:

Extended VSM; Lean Manufacturing; Lean 9 Waste; HSE; Waste Identification.

Abstract

Heavy manufacturing processes are exposed to operational waste as well as health, safety, and environmental risks that may reduce process efficiency. Traditional Value Stream Mapping (VSM) mainly represents material and information flows and has limited capability to capture human factors and Health, Safety, and Environment (HSE) conditions. This study develops a 9 Waste Extended Value Stream Mapping (EVSM) by extending the eight-waste EVSM proposed in previous research and incorporating HSE as the ninth waste category. The developed map integrates cycle time, waiting time, work in process, defect rate, transportation flow, ergonomic risk using REBA, mental workload using NASA-TLX, non-utilized talent, HSE risk assessment, and workplace measurements. The method was applied to seven bogie casting processes at PT X: core making, mold making, setting core, melting, pouring, shakeout, and shotblast. The current-state 9 Waste EVSM identified eight of the nine waste categories. Waiting was the most frequently identified waste with 14 findings, followed by motion and non-utilized talent with five findings each, defect with four findings, and transportation, inventory, HSE, and extra-processing with three findings each. Overproduction was not identified during the observation period. The proposed 9 Waste EVSM provides a more comprehensive visual basis for Lean Manufacturing implementation by simultaneously showing operational, human, quality, and HSE conditions at each process stage.

Kata Kunci:

Extended VSM; Lean Manufacturing; Lean 9 Waste; HSE; Identifikasi Waste.

Abstrak

Proses produksi pada industri manufaktur berat menghadapi pemborosan operasional sekaligus risiko kesehatan, keselamatan, dan lingkungan yang dapat menurunkan efisiensi proses. *Value Stream Mapping* (VSM) tradisional terutama merepresentasikan aliran material dan informasi sehingga masih terbatas dalam menggambarkan faktor manusia dan kondisi *Health, Safety, and Environment* (HSE). Penelitian ini mengembangkan 9 Waste *Extended Value Stream Mapping* (EVSM) dengan memperluas EVSM delapan waste dari penelitian terdahulu dan menambahkan HSE sebagai kategori waste kesembilan. Peta yang dikembangkan mengintegrasikan *cycle time*, *waiting time*, *work in process*, *defect rate*, aliran transportasi, risiko ergonomi menggunakan REBA, beban kerja mental menggunakan NASA-TLX, *non-utilized talent*, penilaian risiko HSE, serta pengukuran kondisi lingkungan kerja. Metode diaplikasikan pada tujuh proses pengecoran bogie di PT X, yaitu core making, mold making, setting core, melting, pouring, shakeout, dan shotblast. Hasil *current state* 9 Waste EVSM mengidentifikasi delapan dari sembilan kategori waste. *Waiting* menjadi waste yang paling sering ditemukan dengan 14 temuan, diikuti *motion* dan *non-utilized talent* masing-masing lima temuan, *defect* empat temuan, serta *transportation*, *inventory*, HSE, dan *extra-processing* masing-masing tiga temuan. *Overproduction* tidak ditemukan selama periode pengamatan. 9 Waste EVSM yang dikembangkan memberikan dasar visual yang lebih komprehensif untuk mendukung implementasi *Lean Manufacturing* karena menampilkan kondisi operasional, faktor manusia, kualitas, dan HSE pada setiap tahapan proses secara terintegrasi.

PENDAHULUAN

Industri manufaktur berat, khususnya pengecoran logam, memiliki proses yang kompleks, melibatkan material berat, aktivitas *manual handling*, suhu tinggi, debu, dan kebisingan. Kondisi tersebut dapat memunculkan pemborosan operasional sekaligus meningkatkan risiko kesehatan, keselamatan kerja, dan lingkungan. Apabila tidak dipetakan secara bersamaan, perbaikan *Lean Manufacturing* berpotensi hanya berfokus pada waktu dan aliran material tanpa mempertimbangkan kondisi kerja yang memengaruhi produktivitas dan kualitas proses (Alli, 2001), (OSHA, 2016; Hamja et al., 2019).

Lean Manufacturing merupakan pendekatan sistematis untuk meningkatkan nilai melalui eliminasi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah. Konsep awal Toyota Production System mengenalkan tujuh waste, yaitu *overproduction*, *waiting*, *transportation*, *extra-processing*, *inventory*, *motion*, dan *defect* (Ohno, 1988; Womack & Jones, 1996). Perkembangan sistem produksi kemudian menambahkan *non-utilized talent* untuk menggambarkan tidak optimalnya pemanfaatan pengetahuan, keterampilan, dan keterlibatan pekerja. Pada industri berisiko tinggi, aspek *Health, Safety, and Environment* juga perlu dipertimbangkan sebagai pemborosan karena kondisi kerja yang tidak aman dan tidak sehat dapat memicu keterlambatan, kesalahan kerja, penurunan kualitas, dan gangguan proses (Gaspersz, 2006; Bhasin, 2015).

Value Stream Mapping digunakan untuk memvisualisasikan aliran material dan informasi serta membedakan aktivitas *value added* dan *non-value added*. Meskipun efektif untuk mengidentifikasi *waiting*, *inventory*, dan *overproduction*, VSM tradisional belum sepenuhnya menampilkan pemborosan yang berasal dari faktor manusia, ergonomi, dan kondisi lingkungan kerja (Rother & Shook, 1999; Roosen & Pons, 2013). Keterbatasan tersebut mendorong pengembangan *Extended Value Stream Mapping* dengan menambahkan indikator yang relevan terhadap karakteristik objek penelitian.

Sahdhani et al. (2025) mengembangkan EVSM untuk mengidentifikasi delapan waste dengan mengintegrasikan data manufaktur, ergonomi, beban kerja mental, dan lingkungan kerja. Pendekatan tersebut mampu mengungkap *hidden waste* berupa *motion* dan *non-utilized talent* yang sulit terlihat pada VSM konvensional. Namun, aspek HSE belum ditempatkan secara eksplisit sebagai kategori waste dan belum divisualisasikan melalui indikator risiko kesehatan, keselamatan, dan lingkungan pada setiap proses.

Meskipun penelitian-penelitian tersebut telah memberikan kontribusi signifikan dalam memperluas cakupan VSM, masih terdapat kesenjangan penelitian yang perlu diisi. Mayoritas penelitian EVSM yang ada masih berfokus pada delapan jenis waste tanpa menempatkan HSE secara eksplisit sebagai kategori waste tersendiri. Padahal, pada industri manufaktur berat seperti pengecoran logam, risiko HSE tidak hanya berdampak pada keselamatan pekerja tetapi juga berkontribusi terhadap pemborosan operasional melalui keterlambatan, kesalahan kerja, dan penurunan kualitas. Penelitian ini mengisi gap tersebut dengan mengembangkan 9 Waste Extended Value Stream Mapping yang menambahkan HSE sebagai waste kesembilan dan menyusun mekanisme visualisasi yang mengintegrasikan data operasional, kualitas, faktor manusia, dan kondisi lingkungan kerja.

Urgensi penelitian ini didasarkan pada kebutuhan industri manufaktur berat untuk memiliki alat pemetaan pemborosan yang lebih komprehensif. Proses pengecoran bogie di PT X melibatkan tujuh proses yang saling bergantung dengan paparan risiko ergonomi, beban kerja mental tinggi, dan kondisi lingkungan kerja yang tidak ideal. Tanpa pemetaan yang

terintegrasi, perbaikan Lean Manufacturing berpotensi hanya bersifat parsial dan tidak menyentuh akar penyebab pemborosan. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan EVSM dengan sembilan kategori waste yang mengintegrasikan HSE sebagai waste kesembilan, serta penerapan pada studi kasus pengecoran bogie di PT X untuk mengevaluasi kemampuannya dalam menggambarkan kondisi aktual secara komprehensif. Penelitian ini bertujuan mengembangkan 9 Waste Extended Value Stream Mapping dan mengaplikasikannya pada proses produksi bogie di PT X untuk mengidentifikasi pemborosan secara terintegrasi guna mendukung implementasi Lean Manufacturing. Manfaat penelitian ini adalah menyediakan alat pemetaan yang lebih komprehensif bagi industri manufaktur berat dalam mengidentifikasi dan mengeliminasi pemborosan operasional sekaligus risiko HSE.

METODE PENELITIAN

Penelitian terdiri atas dua tahap utama, yaitu pengembangan 9 *Waste Extended Value Stream Mapping* dan penerapan pada studi kasus. Pengembangan dilakukan dengan mengadopsi struktur EVSM Sahdhani et al. (2025), kemudian menambahkan HSE sebagai waste kesembilan. Sembilan kategori yang dianalisis terdiri atas *overproduction*, *waiting*, *transportation*, *extra-processing*, *inventory*, *motion*, *defect*, *non-utilized talent*, dan HSE.

Pengembangan 9 Waste Extended Value Stream Mapping

Pengembangan dimulai dengan menentukan data dan alat ukur untuk setiap waste. Data operasional diperoleh melalui observasi, stopwatch time study, process activity mapping, target dan realisasi produksi, *work in process*, serta quality report. Faktor manusia dianalisis menggunakan REBA untuk risiko postur, NASA-TLX untuk beban kerja mental, dan kuesioner *non-utilized talent*. Aspek HSE dianalisis melalui *risk assessment* berdasarkan likelihood dan severity serta didukung pengukuran temperatur, pencahayaan, dan kebisingan. Rancangan pengukuran dan representasi setiap waste disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan pengukuran dan visualisasi 9 Waste Extended VSM

Jenis Waste	Data/Alat Ukur	Representasi pada Extended VSM
Overproduction	Target dan realisasi produksi	Selisih produksi aktual terhadap kebutuhan/target dan kode O
Waiting	Stopwatch time study dan PAM	Waktu NVA, timeline, dan kode W
Transportation	Observasi perpindahan material	Panah aliran, frekuensi, ikon alat angkut, dan kode T
Extra-processing	Observasi aktivitas proses	Aktivitas tambahan/pengulangan dan kode E
Inventory	Jumlah WIP	Simbol inventory, jumlah unit, dan kode I
Motion	REBA dan observasi postur	Skor risiko postur, klasifikasi warna, dan kode M
Defect	Production and quality report	Defect rate dan kode D
Non-utilized talent	Kuesioner NUT dan NASA-TLX	Persentase NUT, skor beban mental, dan kode N
HSE	Risk assessment dan pengukuran lingkungan	Skor Health, Safety, Environment, temperatur, cahaya, kebisingan, dan kode HSE

Blok proses EVSM dikembangkan untuk memuat jumlah operator, *cycle time*, *defect rate*, skor REBA, NASA-TLX, persentase *non-utilized talent*, temperatur, kebisingan, pencahayaan, dan skor risiko HSE. Aliran material divisualisasikan menggunakan panah serta ikon alat pemindahan aktual, sedangkan WIP ditampilkan melalui simbol segitiga. Warna hijau, kuning,

dan merah digunakan untuk menunjukkan tingkat kebutuhan evaluasi berdasarkan standar perusahaan, kategori metode pengukuran, dan regulasi yang relevan. Kriteria visualisasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria klasifikasi warna indikator Extended VSM

Indikator	Hijau	Kuning	Merah
Cycle time	Aktual $\leq$ standar	> standar hingga 5%	>5% di atas standar
REBA	1–3	4–7	≥ 8
NASA-TLX	<50	50–80	>80
Defect	0%	1–10%	>10%
Risiko HSE	Rendah	Sedang	Tinggi
Temperatur	$\leq 27^{\circ}\text{C}$	$27\text{--}28^{\circ}\text{C}$	$>28^{\circ}\text{C}$
Kebisingan	≤ 80 dBA	80–85 dBA	>85 dBA
Pencahayaan	≥ 300 lux	180–299 lux	<180 lux

Penerapan pada Studi Kasus PT X

Penerapan dilakukan pada proses produksi bogie di area *Foundry I* PT X. Aliran proses yang diamati mencakup core making, mold making, setting core, melting, pouring, shakeout, dan shotblast. Data dikumpulkan melalui observasi langsung, wawancara dengan pihak produksi dan HSE, studi dokumen perusahaan, penyebaran kuesioner, dokumentasi aktivitas, serta pengukuran kondisi lingkungan kerja.

Aktivitas setiap proses diklasifikasikan menjadi *value added*, *necessary but non-value added*, dan *non-value added* menggunakan process activity mapping. Hasil kuesioner *non-utilized talent* dihitung sebagai persentase skor aktual terhadap skor maksimum. NASA-TLX digunakan untuk memperoleh rata-rata beban kerja mental tiap proses, sedangkan REBA digunakan untuk menentukan tingkat risiko ergonomi. Nilai risiko HSE diperoleh dari perkalian likelihood dan severity. Seluruh hasil kemudian diintegrasikan dalam *current state 9 Waste* Extended VSM dan dikategorikan sesuai sembilan jenis *waste*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Proses dan Aktivitas *Non-Value Added*

Proses produksi bogie pada PT X terdiri atas tujuh proses yang saling bergantung. Core making dan mold making menyiapkan inti dan cetakan; setting core memasang inti ke dalam cetakan; melting dan pouring menyiapkan serta menuangkan logam cair; sedangkan shakeout dan shotblast memisahkan cetakan serta membersihkan produk. Hasil process activity mapping menunjukkan total aktivitas *non-value added* sebesar 15.660 detik. *Waiting* menjadi aktivitas NVA terbesar, terutama pada melting karena menunggu kesiapan mold hingga kapasitas furnace terpenuhi.

Tabel 3. Rekapitulasi aktivitas proses produksi

Proses	VA (detik)	NNVA (detik)	NVA (detik)	Total (detik)
Core Making	162	1.160	3.600	4.922
Mold Making	360	1.090	0	1.450
Setting Core	420	480	1.200	2.100

Proses	VA (detik)	NNVA (detik)	NVA (detik)	Total (detik)
Melting	5.280	750	7.200	13.230
Pouring	14.420	230	60	14.710
Shakeout	600	360	3.600	4.560
Shotblast	1.200	330	0	1.530

Aktivitas *waiting* ditemukan pada penyimpanan core di area WIP, penantian kesiapan mold untuk melting, penantian temperatur logam cair sebelum pouring, dan gangguan mesin shakeout. *Extra-processing* ditemukan pada setting core berupa penggosokan atau penyesuaian core akibat ketidaksesuaian cetakan. Temuan ini menunjukkan bahwa analisis waktu pada VSM tetap penting, tetapi belum cukup untuk menjelaskan faktor manusia, kualitas, dan HSE yang menyertai pemborosan tersebut.

Integrasi Faktor Manusia, Kualitas, dan HSE

Hasil pengukuran menunjukkan variasi faktor manusia pada setiap proses. Setting core memiliki nilai *non-utilized talent* tertinggi sebesar 80,00% dan skor REBA tertinggi sebesar 8, sedangkan pouring memiliki beban kerja mental tertinggi dengan nilai NASA-TLX 77,50. Nilai tersebut menunjukkan bahwa aktivitas dengan tuntutan ketelitian, paparan panas, gerakan membungkuk, dan penyesuaian manual perlu ditampilkan bersama data operasional agar penyebab kondisi tidak efisien dapat dipahami secara lebih utuh.

Tabel 4. Rekapitulasi indikator operasional, faktor manusia, kualitas, dan WIP

Proses	CT (detik)	REBA	NASA-TLX	NUT (%)	Defect (%)	WIP
Core Making	1.202	6	60,53	66,75	–	25
Mold Making	1.420	7	58,19	75,42	30,38	–
Setting Core	1.980	8	67,92	80,00	10,07	–
Melting	13.200	5	50,78	36,67	–	–
Pouring	14.710	6	77,50	41,25	26,24	21
Shakeout	4.380	3	75,67	57,50	8,15	3
Shotblast	1.470	2	49,33	60,00	–	–

Penilaian HSE menunjukkan bahwa aspek kesehatan pada seluruh proses memiliki risiko dominan kategori sedang, terutama berupa debu, asap, panas, kebisingan, dan *manual handling*. Risiko keselamatan tertinggi terdapat pada core making, setting core, dan shotblast dengan nilai 6 akibat potensi tersayat. Pada aspek lingkungan, emisi udara, kebisingan lingkungan, dan penerapan 3R yang belum optimal merupakan temuan yang paling sering muncul. Pengukuran lingkungan juga menunjukkan kebisingan tertinggi pada shakeout sebesar 94,3 dB, temperatur tertinggi pada melting dan pouring sebesar 28,5°C, serta pencahayaan terendah pada melting sebesar 62 lux.

Tabel 5. Rekapitulasi risiko HSE dan kondisi lingkungan kerja

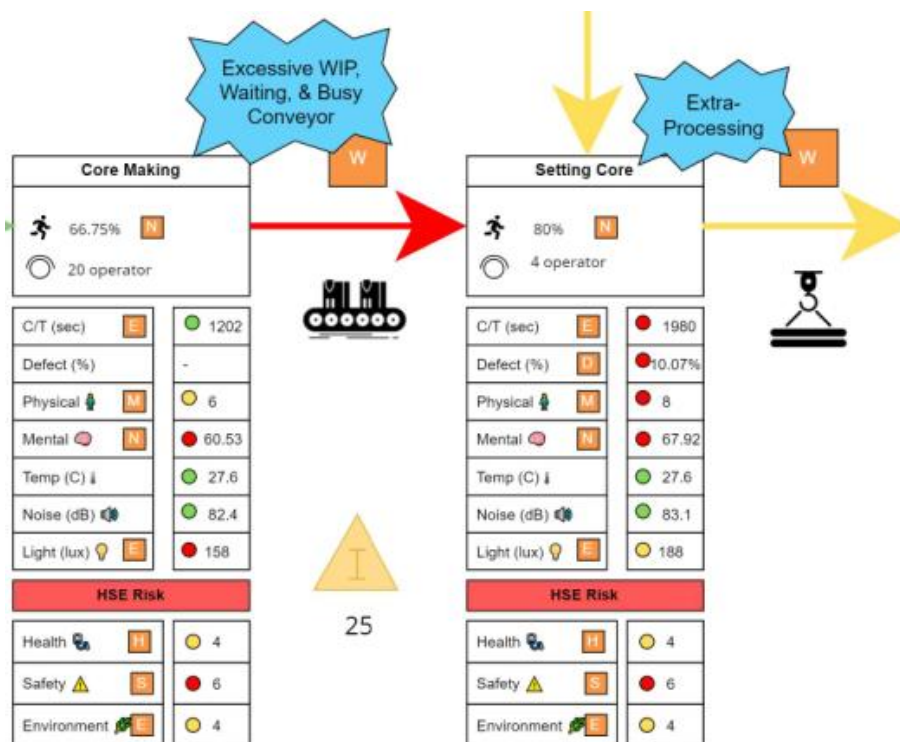
Proses	Health	Safety	Environment	Suhu (°C)	Cahaya (lux)	Bising (dB)
Core Making	4	6	4	27,6	158	82,4
Mold Making	4	4	4	27,3	395	74,0
Setting Core	4	6	4	27,6	188	83,1

Proses	Health	Safety	Environment	Suhu (°C)	Cahaya (lux)	Bising (dB)
Melting	4	3	4	28,5	62	79,0
Pouring	4	4	4	28,5	145	87,8
Shakeout	4	4	4	27,5	67	94,3
Shotblast	4	6	4	26,2	101	80,0

Pencantuman skor HSE dan data lingkungan kerja pada blok proses memperluas fungsi EVSM dari pemetaan aliran menjadi alat diagnosis visual. HSE diperlakukan sebagai leading indicator, yaitu kondisi yang berpotensi menimbulkan pemborosan lain sebelum terjadi kecelakaan atau gangguan proses. Sebagai contoh, debu dan panas dapat meningkatkan kelelahan, sedangkan pencahayaan yang rendah dan kebisingan tinggi dapat mengurangi konsentrasi serta komunikasi operator.

Penyusunan *Current State 9 Waste Extended VSM*

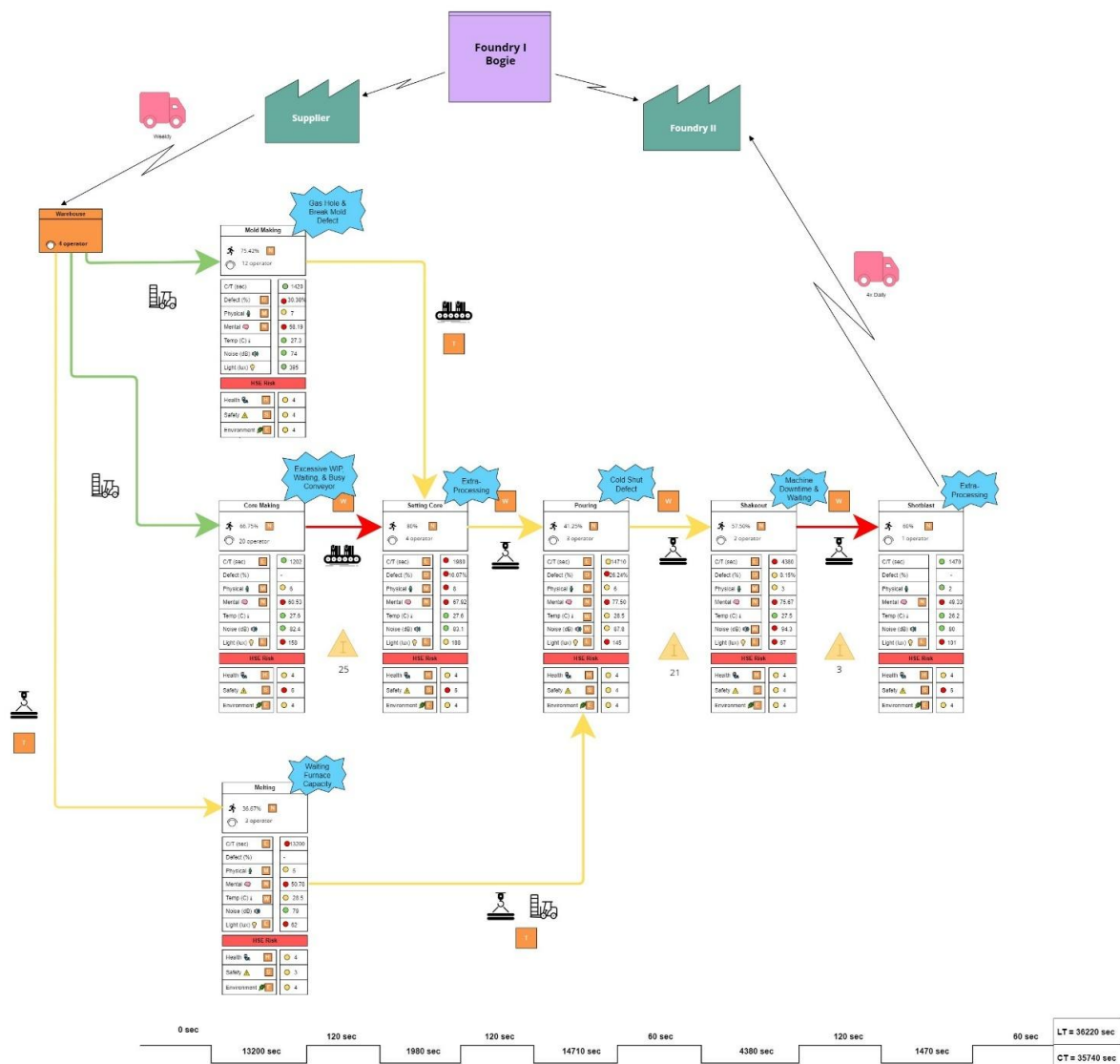
Setiap blok proses pada *current state* map menampilkan indikator operasional, faktor manusia, kualitas, lingkungan kerja, dan risiko HSE. Gambar 1 menunjukkan contoh penerapan blok informasi pada core making dan setting core. Warna indikator memperlihatkan kebutuhan tindakan, sedangkan simbol *waste* ditempatkan di dekat kondisi yang teridentifikasi. WIP sebanyak 25 unit di antara core making dan setting core ditampilkan menggunakan simbol *inventory*, sementara panah merah menunjukkan aliran yang memerlukan evaluasi karena adanya *waiting* dan penumpukan.



Gambar 1. Contoh penerapan data pada 9 Waste Extended VSM

Current state 9 Waste Extended VSM secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 2. Peta tersebut menghubungkan aliran pemasok, gudang, proses produksi, perpindahan material, WIP, waktu proses, dan indikator tambahan pada setiap stasiun. Dengan struktur ini, pengguna

dapat melihat lokasi pemborosan dan kondisi pendukungnya dalam satu visual, misalnya *defect* pada mold making, *extra-processing* pada setting core dan shotblast, *waiting* pada melting dan shakeout, serta risiko HSE yang tersebar pada seluruh proses.



Gambar 2. Current state 9 Waste Extended VSM proses produksi bogie di PT X

Identifikasi Waste pada Current State Extended VSM

Hasil kategorisasi menunjukkan bahwa delapan dari sembilan jenis *waste* ditemukan selama periode pengamatan. *Waiting* menjadi *waste* paling dominan dengan 14 temuan. *Motion* dan *non-utilized talent* masing-masing memiliki lima temuan, *defect* empat temuan, sedangkan *transportation*, *inventory*, HSE, dan *extra-processing* masing-masing memiliki tiga temuan. *Overproduction* tidak ditemukan karena realisasi produksi tidak melebihi target perusahaan.

Tabel 6. Frekuensi kemunculan 9 waste pada proses produksi bogie

No.	Jenis Waste	Frekuensi
1	Waiting	14
2	Motion	5

No.	Jenis Waste	Frekuensi
3	Non-Utilized Talent	5
4	Defect	4
5	Transportation	3
6	Inventory	3
7	HSE	3
8	Extra-Processing	3
9	Overproduction	0

Dominasi *waiting* konsisten dengan hasil process activity mapping yang menunjukkan waktu NVA tinggi pada melting dan gangguan shakeout. Namun, 9 Waste EVSM juga memperlihatkan bahwa *waiting* tidak berdiri sendiri. Pada beberapa proses, *waiting* berkaitan dengan WIP, keandalan peralatan, kondisi ergonomi, beban kerja mental, serta kondisi HSE. *Motion* yang tinggi pada setting core, misalnya, muncul bersamaan dengan skor REBA 8 dan *non-utilized talent* 80%, sedangkan kondisi pouring menunjukkan kombinasi *defect rate* 26,24%, NASA-TLX 77,50, temperatur 28,5°C, dan kebisingan 87,8 dB.

Dibandingkan VSM tradisional, peta yang dikembangkan memberikan informasi yang lebih lengkap untuk mendukung tahap awal implementasi *Lean Manufacturing*. Perusahaan tidak hanya memperoleh informasi mengenai waktu tunggu dan persediaan, tetapi juga dapat menentukan proses yang perlu dievaluasi berdasarkan faktor manusia, kualitas, dan risiko HSE. Meskipun demikian, penggunaan metode ini membutuhkan ketersediaan data yang lebih luas dan proses assessment lintas fungsi agar indikator yang ditampilkan tetap akurat dan dapat diperbarui secara berkala.

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan 9 Waste Extended Value Stream Mapping melalui pengembangan EVSM delapan waste dengan menambahkan *Health, Safety, and Environment* sebagai waste kesembilan. Pengembangan dilakukan dengan mengintegrasikan *cycle time*, aktivitas VA dan NVA, WIP, *defect rate*, aliran transportasi, REBA, NASA-TLX, *non-utilized talent*, *risk assessment* HSE, serta temperatur, pencahayaan, dan kebisingan ke dalam blok proses dan aliran *current state map*.

Penerapan pada tujuh proses produksi bogie di PT X berhasil mengidentifikasi delapan dari sembilan kategori waste. *Waiting* merupakan waste paling dominan dengan 14 temuan, diikuti *motion* dan *non-utilized talent* masing-masing lima temuan, *defect* empat temuan, serta *transportation*, *inventory*, HSE, dan *extra-processing* masing-masing tiga temuan. *Overproduction* tidak ditemukan selama periode pengamatan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa 9 Waste EVSM dapat mendukung implementasi *Lean Manufacturing* melalui pemetaan pemborosan yang lebih komprehensif dan terintegrasi, khususnya pada industri manufaktur berat yang memiliki paparan faktor manusia dan risiko HSE tinggi.

REFERENSI

- Alli, B. O. (2001). *Fundamental principles of occupational health and safety*.
 Bhasin, S. (2015). *Lean Management Beyond Manufacturing: A Holistic Approach*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17410-5>

- Gaspersz, V. (2006). Continuous Cost Reduction Through Lean-Sigma Approach. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hamja, A., Maalouf, M., & Hasle, P. (2019). The effect of lean on occupational health and safety and productivity in the garment industry: A literature review. *Production & Manufacturing Research*, 7(1), 316–334. <https://doi.org/10.1080/21693277.2019.1620652>
- Hines, P., Holweg, M., & Rich, N. (2004). Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994–1011. <https://doi.org/10.1108/01443570410558049>
- Hughes, P., & Ferrett, E. (2007). *Introduction to Health and Safety at Work* (3rd ed.). Elsevier.
- International Finance Corporation. (2007). *General Environmental, Health, and Safety Guidelines*. World Bank Group.
- Liker, J. K. (2008). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.
- Occupational Safety and Health Administration. (2016). *OSHA Field Safety and Health Manual*.
- Punnett, L., & Wegman, D. H. (2004). Work-related musculoskeletal disorders: The epidemiologic evidence and the debate. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(1), 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2003.09.015>
- Roosen, T. J., & Pons, D. J. (2013). Environmentally lean production: The development and incorporation of an environmental impact index into value stream mapping. *Journal of Industrial Engineering*, 2013, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2013/298103>
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Lean Enterprise Institute.
- Sahdhani, M. A., Karningsih, P. D., & Dewi, D. S. (2025). Development Value Stream Mapping to Identify 8 Types of Waste, 8(2).
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simon & Schuster.