

Penerapan *Lean Manufacturing* Untuk Mengidentifikasi *Waste* Pada Proses Produksi Menggunakan *Value Stream Mapping* di Perusahaan Gas Industri

Hana Lee¹, Farida Djumiati Sitania², Yudi Sukmono³

^{1,2,3)} Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman Samarinda
Jl. Sambaliung No. 9, Sempaja Sel., Kec. Samarinda Utara, Kota Samarinda, Kalimantan Timur 75119
Email: hanalee015@gmail.com, farida.sitania@ft.unmul.ac.id, y.sukmono@ft.unmul.ac.id

ABSTRAK

Dalam lingkungan bisnis yang kompetitif, perusahaan manufaktur dituntut untuk meningkatkan efisiensi dengan mengidentifikasi dan mengurangi aktivitas tanpa nilai tambah (pemborosan) dalam proses produksi. Pada PT XYZ terdapat dua rak pengisian oksigen, masing-masing berisi 51 tabung. Waktu pengisian satu rak adalah 1,5 jam, dengan 7 jam kerja per hari seharusnya dapat mengisi 4 rak. Namun, hanya 2 rak yang terisi, menyebabkan slack 2 rak. Penerapan lean manufacturing dapat membantu mengidentifikasi dan mengurangi waste pada proses pengisian gas oksigen sehingga menjadi lebih optimal. Pada penelitian ini menggunakan lean manufacturing untuk melakukan pendekatan terhadap 7 waste yang ada, dengan menggunakan alat value stream mapping untuk mengetahui lead time, waste relationship matrix untuk mengetahui waste kritis pada perusahaan dan fishbone untuk analisis akar permasalahan. Waste kritis yang teridentifikasi selama proses produksi gas oksigen dengan perhitungan skor WRM, yakni waste transportation sebesar 54 (18%), waste process 54 (18%), dan waste motion 48 (16%). Hasil yang didapatkan teridentifikasi waste transportation yaitu peletakan tabung oksigen jauh dari rak pengisian dan area aisle yang sempit. Waste process yaitu pengencangan valve secara berulang, scan barcode lama dan lupa membuka katup valve. Waste motion yaitu kunci jauh dari jangkauan operator. Waste transportation dapat diminimasi dengan SOP jelas, penataan area kerja, alat bantu seperti troli, dan pemantauan real-time. Waste process diatasi melalui pembuatan SOP pengencangan valve, checklist, kamera wide angle, dan monitoring otomatis. Waste motion dikurangi dengan SOP, visualisasi area penyimpanan kunci berlabel, serta tempat penyimpanan ergonomis.

Kata kunci: Gas, Pemborosan, Lean Manufacturing, Value Stream Mapping, Waste Relationship Matrix, Fishbone.

ABSTRACT

In a competitive business environment, manufacturing companies are required to improve efficiency by identifying and eliminating non-value-added activities (waste) in the production process. At PT XYZ, there are two oxygen filling racks, each containing 51 cylinders. The filling time for one rack is 1.5 hours, and with a 7-hour workday, theoretically, 4 racks should be filled. However, only 2 racks are filled, resulting in a slack of 2 racks. The implementation of lean manufacturing can help identify and reduce waste in the oxygen gas filling process to make it more optimal. This study uses lean manufacturing to address the seven wastes by employing tools such as value stream mapping to determine lead time, waste relationship matrix to identify critical wastes in the company, and fishbone diagram for root cause analysis. The critical wastes identified during the oxygen gas production process based on the WRM score calculation are transportation waste at 54 (18%), process waste at 54 (18%), and motion waste at 48 (16%). The transportation waste includes the placement of oxygen cylinders far from the filling racks and narrow aisle areas. Process waste involves repeated valve tightening, slow barcode scanning, and forgetting to open the valve. Motion waste concerns keys being out of the operator's reach. Transportation waste can be minimized by clear SOP, workspace arrangement, aids like trolleys, and real-time monitoring. Process waste is addressed through SOPs for valve tightening, checklists, wide-angle cameras, and automatic monitoring. Motion waste is reduced by standard procedures, labeled visualized key storage areas, and ergonomic key storage.

Keywords: Gas, Waste, Lean Manufacturing, Value Stream Mapping, Waste Relationship Matrix, Fishbone.

Pendahuluan

Perkembangan industri manufaktur di era persaingan global menuntut setiap perusahaan untuk mampu meningkatkan efisiensi dan daya saing operasional secara berkelanjutan. Tantangan utama dalam proses manufaktur modern tidak lagi hanya terletak pada peningkatan *output*, tetapi juga pada upaya mengefisiensikan seluruh rantai proses produksi, termasuk mengidentifikasi dan meminimalkan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah, atau dikenal sebagai *waste* [1], [2]. *Waste* dalam konteks industri manufaktur, merupakan segala bentuk aktivitas yang tidak berkontribusi secara langsung

terhadap penciptaan nilai produk bagi pelanggan, sehingga keberadaannya berpotensi menimbulkan inefisiensi, pemborosan sumber daya, dan berujung pada peningkatan biaya produksi serta penurunan kualitas [3].

Identifikasi dan pengelolaan *waste* telah menjadi fokus utama berbagai penelitian di bidang teknik industri, karena terbukti mampu memberikan kontribusi signifikan dalam peningkatan produktivitas, pengurangan biaya, serta penciptaan proses kerja yang lebih ramping dan responsif [4]. Berbagai bentuk *waste* yang umum ditemukan pada proses manufaktur, antara lain *overproduction*, *waiting time*, *transportation*, *inventory*, *motion*, *defects*, dan *overprocessing* [5]. Keberadaan ketujuh *waste* ini telah diidentifikasi sebagai akar utama berbagai permasalahan pada aliran proses produksi, baik pada industri skala besar maupun menengah.

Implementasi strategi eliminasi *waste* telah berkembang melalui pendekatan *lean manufacturing*, yang secara luas diakui sebagai paradigma modern dalam mengoptimalkan proses produksi [6]. *Lean manufacturing* menekankan pentingnya perbaikan berkelanjutan (*continuous improvement*) dan penciptaan aliran nilai yang optimal, sehingga setiap aktivitas dalam proses produksi dievaluasi secara sistematis untuk memastikan hanya aktivitas bernilai tambah yang dipertahankan [7], [8]. Penelitian-penelitian mutakhir membuktikan bahwa perusahaan yang berhasil mengadopsi *lean manufacturing* mampu menurunkan level pemborosan secara signifikan, bahkan hingga 30–60%, dengan dampak langsung pada peningkatan kapasitas dan kualitas layanan [9].

Salah satu alat utama dalam implementasi *lean manufacturing* adalah *Value Stream Mapping* (VSM), sebuah metode visualisasi aliran proses yang sangat efektif dalam mengidentifikasi aktivitas bernilai tambah dan non-nilai tambah pada seluruh rangkaian produksi [10]. VSM tidak hanya memberikan gambaran komprehensif tentang proses produksi, tetapi juga memfasilitasi identifikasi titik-titik kritis terjadinya *waste*, serta memberikan dasar pengambilan keputusan untuk tindakan perbaikan [11].

Pada konteks industri gas, upaya peningkatan efisiensi operasional memiliki urgensi tinggi, mengingat kebutuhan pasar yang sangat dinamis serta tuntutan keselamatan kerja yang ketat. PT XYZ sebagai salah satu perusahaan penyedia gas industri nasional menghadapi tantangan dalam pengelolaan proses *filling* gas oksigen. Secara operasional, PT XYZ mengelola dua tipe fasilitas, yaitu *Air Separation Plant* (ASP) sebagai produsen gas cair dan *filling station* sebagai unit pengisian gas ke dalam tabung untuk didistribusikan ke konsumen. *Fill station* bergantung pada pasokan oksigen cair dari ASP, kemudian melalui proses evaporasi, oksigen dikonversi dari bentuk cair ke gas sebelum diisikan ke tabung-tabung di rak pengisian.

Berdasarkan observasi awal, *filling station* PT XYZ memiliki dua rak pengisian, masing-masing berisi 51 tabung oksigen. Dengan waktu kerja efektif 7 jam per hari, secara teoritis seharusnya kapasitas maksimal adalah 4 rak tabung (204 tabung) per hari, namun realisasinya hanya mampu mengisi 2 rak (102 tabung). Kondisi ini menunjukkan adanya ketidakefisienan sebesar 50%, yang berimplikasi pada tidak optimalnya utilisasi sumber daya, waktu, dan energi kerja. Selama proses pengisian tabung oksigen, beberapa indikator *waste* yang teridentifikasi meliputi *idle time*, inefisiensi transportasi, proses pengerjaan berulang, akumulasi *inventory*. Fenomena ini menjadi hambatan utama dalam pencapaian target produksi dan pelayanan pelanggan secara optimal.

Dalam upaya menyelesaikan permasalahan *waste* tersebut, *lean manufacturing* menawarkan sejumlah *tools* analisis, antara lain *fishbone* diagram untuk mengidentifikasi akar masalah, *waste relationship matrix* untuk mengetahui *waste* kritis, serta VSM untuk memetakan dan menganalisis aliran nilai secara menyeluruh [12]. Metode *fishbone* secara efektif membantu tim produksi dalam mengelompokkan penyebab masalah ke dalam kategori material, metode, mesin, dan manusia, sehingga solusi yang diambil lebih terarah dan berkelanjutan [13]. Sementara itu, VSM menjadi fondasi utama untuk merancang perbaikan proses berbasis data aktual di lapangan [14].

Mengacu pada paparan di atas, penelitian ini berfokus pada penerapan *lean manufacturing* dengan *tools* utama *value stream mapping*, *waste relationship matrix*, dan *fishbone* diagram pada proses *filling* gas oksigen di PT XYZ. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengukur tingkat efisiensi proses produksi menggunakan VSM; (2) mengidentifikasi dan mengklasifikasi *waste* kritis selama proses *filling*; (3) menganalisis akar penyebab utama *waste* kritis; serta (4) memberikan rekomendasi strategis minimasi *waste* kritis berbasis hasil analisis lapangan. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan sistem produksi gas industri yang lebih efisien, adaptif, dan berkelanjutan, serta menjadi acuan bagi implementasi *lean manufacturing* pada industri sejenis di Indonesia.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui prosedur terstruktur yang terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dengan tahap pendahuluan untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai permasalahan *waste* pada proses produksi di PT XYZ. Pada tahap ini, dilakukan studi lapangan dengan kuesioner dan observasi langsung untuk mengidentifikasi *waste*, diikuti dengan studi literatur sebagai dasar konseptual dan landasan penyusunan kerangka penelitian. Selanjutnya, dilakukan perumusan masalah guna mengarahkan fokus penelitian serta penetapan tujuan penelitian yang menitikberatkan pada identifikasi jenis *waste*, analisis penyebab, dan pemberian solusi minimasi *waste* pada PT XYZ. Batasan masalah juga ditetapkan agar penelitian tetap terfokus pada ruang lingkup yang relevan dan dapat dikendalikan.

Pengumpulan Data

Setelah tahap pendahuluan, penelitian berlanjut pada tahap pengumpulan data yang mencakup data primer berupa pengamatan aktivitas produksi, waktu proses, hasil produksi, serta kuesioner *Waste Relationship Matrix*, dan data sekunder berupa dokumen perusahaan serta profil jam kerja.

Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh diolah melalui beberapa langkah, antara lain klasifikasi aktivitas berdasarkan *value added* (VA), *non-value added* (NVA), dan *necessary non-value added* (NNVA); uji keseragaman data dengan perhitungan rata-rata waktu siklus, standar deviasi, batas kendali atas dan bawah serta uji kecukupan data untuk memastikan validitas data yang dianalisis dengan menghitung rentang waktu.[15].

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

Keterangan :

\bar{x} = waktu rata-rata

n = jumlah data

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Keterangan :

σ = standar deviasi

\bar{x} = waktu rata-rata

n = jumlah data

$$BKA = \bar{x} + k \cdot \sigma \quad (3)$$

$$BKB = \bar{x} - k \cdot \sigma \quad (4)$$

Keterangan :

\bar{x} = waktu rata-rata

K = tingkat keyakinan (jika 99%, maka $s=1\%$; jika 95%, maka $s=5\%$)

σ = standar deviasi

$$R = H - L \quad (5)$$

Keterangan :

R = rentang waktu

H = *High value* (nilai tertinggi pada siklus pekerjaan)

L = *low value* (nilai terendah pada siklus pekerjaan)

$$0,025(d_2)\sqrt{N} = \frac{R}{\bar{X}} \quad (6)$$

Keterangan :

R = rentang waktu

\bar{X} = rata-rata keseluruhan waktu siklus

d_2 = faktor berdasarkan jumlah pengamatan

N = jumlah pengamatan yang harus dilakukan

Tahapan berikutnya adalah perhitungan waktu baku dengan memperhatikan *rating factor*, waktu normal, dan *allowance*, yang hasilnya digunakan dalam pembuatan *Value Stream Mapping* (VSM) untuk menggambarkan aliran proses secara menyeluruh.

$$P = I + (skill + condition + effort + consistency) \quad (7)$$

$$Wn = Ws \times P \quad (8)$$

Keterangan :

Ws = waktu siklus

P = *rating factor*

$$Wb = Wn \times \frac{100}{100 - All} \quad (9)$$

Keterangan :

Wb = waktu baku

Wn = waktu normal

All = *allowance*

Selain itu, dilakukan perhitungan *Process Cycle Efficiency* (PCE) [16], penyusunan *Process Activity Mapping* (PAM), dan pengukuran *waste* kritis menggunakan WRM.

$$\text{Process Cycle Efficiency (PCE)} = \frac{\text{Value Added Time}}{\text{Total Lead Time}} \times 100\% \quad (10)$$

Pada tahap analisis dan pembahasan, hasil VSM dan WRM dianalisis secara mendalam, akar penyebab *waste* kritis diidentifikasi melalui *fishbone* diagram, serta dirumuskan rekomendasi perbaikan yang aplikatif. Terakhir, penelitian diakhiri dengan penarikan kesimpulan dan saran yang relevan bagi pengembangan keilmuan maupun praktik industri.

Hasil Dan Pembahasan

Efisiensi Proses Produksi Gas Oksigen Berdasarkan Value Stream Mapping

Pada penelitian ini, pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung di lini produksi *filling* gas oksigen sebanyak sepuluh kali siklus, menghasilkan rekaman waktu nyata dari setiap rincian aktivitas mulai dari operator menyalakan pompa, mempersiapkan tabung, proses pengisian, hingga aktivitas tambahan seperti pemuatan tabung ke truk.

Tabel 1. Data hasil pengamatan proses *filling* gas oksigen

No.	Rincian Aktivitas	Observasi (satuan detik)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Operator menyalakan pompa	10	9	10	10	9	9	9	8	9	8
2	Operator menuju ke panggung	55	56	58	60	56	54	57	55	56	61
3	Operator mempersiapkan tabung di rak pengisian gas	579	580	577	573	571	540	548	550	541	555
4	Operator berjalan dari rak ke stasiun untuk mengambil tabung	549	517	547	520	555	541	541	513	509	510
5	Operator menyambungkan konektor ke <i>valve</i> tabung gas	161	141	175	146	160	156	172	168	172	140
6	Operator berpindah dari konektor satu ke konektor lainnya	71	69	65	63	62	68	70	68	72	68
7	Pengisian tabung gas	2400	2400	2460	2460	2400	2400	2400	2460	2460	2400
8	Operator melepaskan konektor dari <i>valve</i> tabung gas	99	95	91	89	94	92	96	87	90	91
9	Operator berpindah dari konektor satu ke konektor lainnya	60	65	63	66	70	67	67	64	61	72
10	Operator melakukan <i>scan barcode</i> ke sistem <i>track about</i>	188	178	179	183	180	181	171	182	190	185
11	Operator berpindah dari tabung satu ke tabung lainnya untuk <i>scan</i>	87	89	90	99	96	88	89	92	92	95
12	Operator melakukan proses pemuatan tabung ke truk	576	564	580	579	569	560	549	548	546	540
13	Operator berjalan dari truk ke rak untuk mengambil tabung	553	559	604	558	555	557	562	553	556	548

Seluruh data hasil observasi ini menjadi fondasi bagi tahapan selanjutnya, yaitu klasifikasi aktivitas berdasarkan kategori *value added* (VA), *non-value added* (NVA), dan *necessary non-value added* (NNVA), sesuai praktik yang direkomendasikan dalam literatur *lean manufacturing* [17].

Tabel 2. Klasifikasi aktivitas proses *filling* gas oksigen

No	Rincian Aktivitas	Value Added	Non-Value Added	Necessary Non-Value Added
1	Operator menyalakan pompa	✓		
2	Operator menuju ke panggung			✓
3	Operator mempersiapkan tabung di rak pengisian	✓		
4	Operator berjalan dari rak ke stasiun untuk mengambil tabung			✓
5	Operator menyambungkan konektor ke <i>valve</i> tabung gas	✓		
6	Operator berpindah dari konektor satu ke konektor lainnya			✓
7	Pengisian tabung gas	✓		
8	Operator melepaskan konektor dari <i>valve</i> tabung gas	✓		
9	Operator berpindah dari konektor satu ke konektor lainnya			✓
10	Operator melakukan <i>scan barcode</i> ke sistem <i>track about</i>	✓		
11	Operator berpindah dari tabung satu ke tabung lainnya untuk <i>scan</i>		✓	
12	Operator melakukan proses pemuatan tabung ke truk	✓		
13	Operator berjalan dari rak ke truk untuk mengambil tabung			✓

Setelah seluruh aktivitas diklasifikasikan, dilakukan uji keseragaman data untuk memastikan validitas dan reliabilitas waktu siklus setiap aktivitas yang telah diamati. Uji ini penting agar keputusan perbaikan yang diambil berbasis data yang konsisten dan representatif, sehingga akurasi perhitungan waktu siklus, standar deviasi, BKA, BKB.

Tabel 3. Rekapitulasi uji keseragaman data

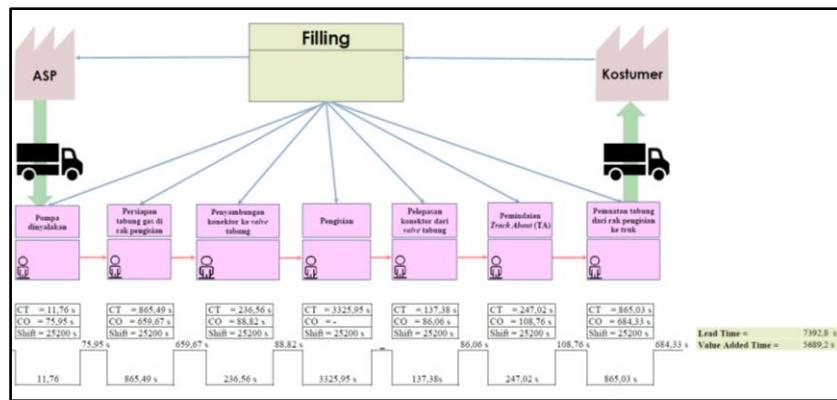
Rincian Aktivitas	Rata-rata (s)	SD	BKA	BKB	KET
Operator menyalakan pompa	9,1	0,7	10,6	7,6	SERAGAM
Operator menuju ke panggung	56,8	2,3	61,3	52,3	SERAGAM
Operator mempersiapkan tabung di rak pengisian	561,4	16,2	593,7	529,1	SERAGAM
Operator berjalan dari rak ke stasiun untuk mengambil tabung	530,2	18,0	566,2	494,2	SERAGAM
Operator menyambungkan koneksi ke <i>valve</i> tabung gas	159,1	13,1	185,3	132,9	SERAGAM
Operator berpindah dari koneksi satu ke koneksi lainnya	67,6	3,3	74,2	61	SERAGAM
Pengisian tabung gas	2.424	31	2486	2362	SERAGAM
Operator melepaskan koneksi dari <i>valve</i> tabung gas	92,4	3,6	99,6	85,2	SERAGAM
Operator berpindah dari koneksi satu ke koneksi lainnya	65,5	3,7	73,0	58,0	SERAGAM
Operator melakukan <i>scan barcode</i> ke sistem <i>track about</i>	181,7	5,4	192,5	170,9	SERAGAM
Operator berpindah dari tabung satu ke tabung lainnya untuk <i>scan</i>	91,7	3,9	99,5	83,9	SERAGAM
Operator melakukan proses pemuatan tabung ke truk	561,1	14,8	590,6	531,6	SERAGAM
Operator berjalan dari rak ke truk untuk mengambil tabung	560,5	15,8	592,0	529,0	SERAGAM

Menunjukkan seluruh aktivitas yang diamati masih berada dalam batas toleransi yang ditentukan. Tahapan berikutnya adalah perhitungan waktu normal, *allowance*, dan waktu baku untuk setiap aktivitas produksi. Perhitungan ini bertujuan untuk memperoleh waktu standar yang harus dicapai operator dalam menyelesaikan aktivitasnya secara efisien, sekaligus memperhitungkan faktor *allowance* sebagai penyesuaian untuk kelelahan, kondisi kerja, maupun kebutuhan biologis operator. Rekapitulasi seluruh hasil perhitungan waktu normal, *allowance*, dan waktu baku aktivitas *filling* gas oksigen ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 4. Rekapitulasi Waktu Baku Aktivitas *Fillng* Gas Oksigen

Rincian Aktivitas	Waktu Normal	Allowance	Waktu Baku
Operator menyalakan pompa	10,465	11	11,76
Operator menuju ke panggung	65,32	14	75,95
Operator mempersiapkan tabung di rak pengisian gas	623,154	28	865,49
Operator berjalan dari rak ke stasiun untuk mengambil tabung	567,314	14	659,67
Operator menyambungkan koneksi ke <i>valve</i> tabung gas	179,783	24	236,56
Operator berpindah dari koneksi satu ke koneksi lainnya	76,388	14	88,82
Pengisian tabung gas	2860,32	14	3325,95
Operator melepaskan koneksi dari <i>valve</i> tabung gas	104,412	24	137,38
Operator berpindah dari koneksi satu ke koneksi lainnya	74,015	14	86,06
Operator melakukan <i>scan barcode</i> ke sistem <i>track about</i>	188,968	23,5	247,02
Operator berpindah dari tabung satu ke tabung lainnya untuk <i>scan</i>	93,534	14	108,76
Operator melakukan proses pemuatan tabung ke truk	622,821	28	865,03
Operator berjalan dari truk ke rak untuk mengambil tabung	588,525	14	684,33

Seluruh hasil pengolahan data tersebut menjadi basis dalam penyusunan *Value Stream Mapping* (VSM) yang menggambarkan aliran proses, mulai dari *input*, aktivitas *value added*, hingga *output* produk jadi dalam bentuk tabung gas oksigen siap distribusi [18]. Diagram VSM yang telah disusun dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1. Value stream mapping proses filling gas oksigen

Di mana seluruh aktivitas yang bernilai tambah dan tidak bernilai tambah divisualisasikan secara komprehensif. Berdasarkan hasil pemetaan dengan VSM, diperoleh nilai *process cycle efficiency* (PCE) sebesar 77%, yang berarti bahwa dari total waktu proses, 77% dialokasikan untuk aktivitas yang memberikan nilai tambah, sementara sisanya sebesar 23% masih terserap oleh aktivitas *non-value added* maupun *necessary non-value added* [19]. Temuan ini mengindikasikan adanya ruang perbaikan yang cukup signifikan, di mana perusahaan dapat menargetkan untuk menekan aktivitas NVA dan NNVA melalui redesign proses, perbaikan tata letak fasilitas, standarisasi prosedur kerja, serta pemanfaatan teknologi otomasi yang relevan. Dalam konteks PT XYZ, data dan analisis ini menjadi dasar pengambilan keputusan manajerial untuk melakukan *continuous improvement* secara berkelanjutan dengan menargetkan area-area yang masih didominasi oleh aktivitas tidak bernilai tambah. Selain itu, perhitungan efisiensi menggunakan VSM juga memberikan manfaat strategis bagi perusahaan dalam merancang strategi produksi yang lebih adaptif, responsif terhadap permintaan pasar, dan efisien dari sisi biaya serta waktu [20].

Identifikasi Waste Kritis pada Proses Produksi Gas Oksigen

Identifikasi *waste* kritis pada proses produksi gas oksigen di PT XYZ dilakukan melalui pendekatan *Waste Relationship Matrix* (WRM) yang bertujuan untuk memetakan tingkat pengaruh antar-tipe pemborosan (*waste*) secara kuantitatif, sehingga perusahaan dapat menentukan prioritas perbaikan berdasarkan *waste* yang paling berpengaruh terhadap efisiensi proses [21].

Selanjutnya, pengumpulan data *waste* dilakukan melalui kuesioner yang melibatkan para ahli dari internal perusahaan. Kuesioner ini mengukur seberapa kuat hubungan antara tujuh jenis *waste* utama *lean manufacturing* (*overproduction, inventory, defect, motion, transportation, process, and waiting*) dengan sistem skoring tertentu [22], [23], dan hasilnya direkap pada tabel berikut.

Tabel 6. Hasil kuesioner WRM

Question Relationship	Score						Relationship
	Ans.	Wght	Ans.	Wght	Ans.	Wght	
O_I	B	2	A	2	B	2	B
O_D	B	2	C	0	B	2	A
O_M	A	4	A	2	A	4	A
O_T	B	2	A	2	C	0	A
O_W	B	2	A	2	B	2	A
I_O	B	2	A	2	B	2	A
I_D	C	0	C	0	C	0	C
I_M	B	2	B	1	C	0	B
I_T	A	4	A	2	A	4	A
D_O	B	2	C	0	A	4	A
D_I	B	2	C	0	A	4	A
D_M	B	2	A	2	B	2	A
D_T	B	2	A	2	A	4	A
D_W	B	2	A	2	B	2	A
M_I	A	4	A	2	B	2	A
M_D	A	4	A	2	A	4	A
M_W	A	4	A	2	A	4	A
M_P	A	4	A	2	A	4	A
T_O	A	4	A	2	A	4	A
T_I	A	4	A	2	A	4	A
T_D	A	4	A	2	A	4	A
T_M	A	4	A	2	A	4	A
T_W	B	2	A	2	B	2	A

P_O	A	4	A	2	B	2	A	2	G	4	B	2	16	E
P_I	A	4	A	2	B	2	B	1	G	4	B	2	15	E
P_D	A	4	A	2	A	4	A	2	G	4	B	2	18	A
P_M	A	4	A	2	A	4	B	1	F	2	A	4	17	A
P_W	A	4	A	2	B	2	A	2	F	2	B	2	14	E
W_O	B	2	A	2	B	2	C	0	G	4	B	2	12	I
W_I	B	2	A	2	A	4	B	1	G	4	B	2	15	E
W_D	B	2	A	2	B	2	C	0	D	2	B	2	10	I

Setiap pasangan *waste* diberi skor berdasarkan bobot pengaruhnya dari hasil diskusi para *expert*, sebagai contoh, *relationship* antara *Overproduction-Inventory* (O_I), *Overproduction-Defect* (O_D), dan seterusnya, sehingga diperoleh total skor untuk masing-masing *waste*.

Tabel 8. Waste Relationship Matrix (WRM)

F/T	O	I	D	M	T	P	W
O	A	E	I	E	I	X	I
I	I	A	U	O	E	X	X
D	I	E	A	I	E	X	I
M	X	E	A	A	X	A	A
T	E	A	A	A	A	X	I
P	E	E	A	A	X	A	E
W	I	E	I	X	X	X	A

Menggunakan kode huruf (A, E, I, O, U, X) yang masing-masing memiliki nilai kuantitatif, misalnya A=10, E=8, I=6, dan seterusnya, guna memudahkan perhitungan *waste matrix value*. Hasil konversi nilai tersebut, setelah dijumlahkan dan dipresentasikan, disajikan pada tabel berikut.

Tabel 9. Waste matrix value

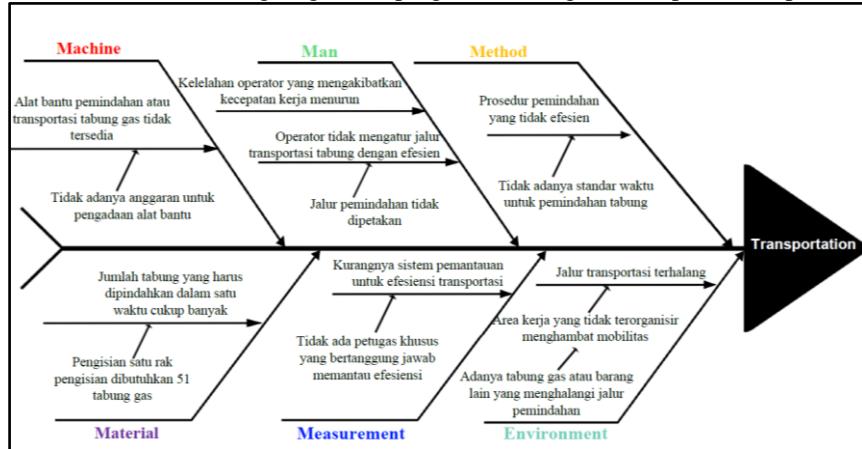
F/T	O	I	D	M	T	P	W	Score	%
O	10	8	6	8	6	0	6	44	14
I	6	10	2	4	8	0	0	30	10
D	6	8	10	6	8	0	6	44	14
M	0	8	10	10	0	10	10	48	16
T	8	10	10	10	10	0	6	54	18
P	8	8	10	10	0	10	8	54	18
W	6	8	6	0	0	0	10	30	10
Score	44	60	54	48	32	20	46	304	100
%	14	20	18	16	11	7	15	100	

Menampilkan skor dan persentase dari setiap jenis *waste* dalam total proses *filling* gas oksigen. Berdasarkan analisis kuantitatif tersebut, ditemukan bahwa dua jenis *waste* tertinggi yang teridentifikasi pada proses *filling* gas oksigen di PT XYZ secara berturut-turut adalah *transportation* sebesar 18% dan *process* sebesar 18%, sedangkan *waste* lainnya berada di bawah 18%. Temuan ini memperkuat hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa pada sebagian besar industri manufaktur di Indonesia, *waste transportation* dan *process* memang menjadi penyumbang pemborosan terbesar akibat tata letak fasilitas yang belum optimal, banyaknya aktivitas pemindahan, serta belum adanya standarisasi operasi yang efisien. Dominasi *transportation waste* pada *filling* gas oksigen dapat dijelaskan oleh adanya aktivitas pemindahan tabung yang berulang-ulang, jarak antar stasiun yang relatif jauh, serta area kerja yang belum tertata baik sehingga menyebabkan waktu tidak produktif meningkat signifikan. Sementara itu, *process waste* muncul karena beberapa langkah kerja yang tidak efisien, seperti proses pengisian atau pengecekan yang dilakukan lebih dari satu kali akibat SOP yang kurang jelas [24]. Penting dicatat, identifikasi *waste* dengan WRM memberikan gambaran prioritas bagi perusahaan untuk fokus pada perbaikan *waste* dengan skor dan persentase tertinggi, seperti *transportation* dan *process*.

Analisis Penyebab Waste Kritis pada Proses Produksi Gas Oksigen

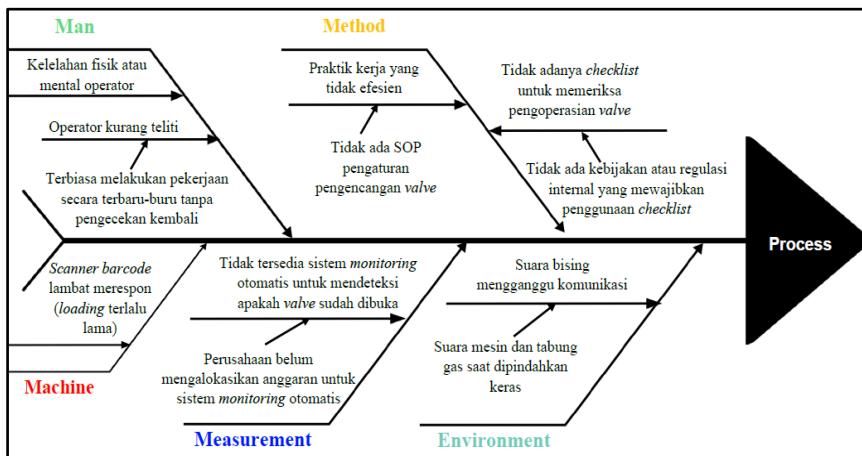
Analisis akar penyebab *waste* kritis dalam proses produksi gas oksigen di PT XYZ dilakukan dengan metode *fishbone* diagram, yang terbukti efektif untuk memetakan secara komprehensif faktor-faktor utama penyebab timbulnya

pemborosan pada proses produksi, serta menjadi rujukan utama dalam berbagai studi *lean manufacturing* di industri nasional maupun internasional. Pada penelitian ini, dua *waste* utama yang teridentifikasi melalui WRM yakni *transportation* dan *process* masing-masing dianalisis secara mendalam dengan *fishbone* diagram untuk mengidentifikasi akar permasalahan dari aspek manusia, metode, mesin, material, lingkungan, dan pengukuran, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Fishbone waste transportation

Berdasarkan *fishbone transportation*, ditemukan bahwa *waste transportation* dalam proses *filling* gas oksigen PT XYZ berasal dari kombinasi berbagai faktor. Dari segi mesin, alat bantu pemindahan atau transportasi tabung gas yang tidak tersedia sehingga menghambat efisiensi proses. Dalam aspek manusia, operator sering mengalami kelelahan yang mengakibatkan penurunan konsentrasi dalam mengelola pemindahan tabung serta operator tidak mengatur jalur transportasi tabung agar proses pemindahan tabung lebih mudah. Selain itu, tidak adanya standar waktu yang jelas dalam metode pemindahan menyebabkan proses menjadi tidak efisien. Dari segi material, jumlah tabung yang harus dipindahkan secara bersamaan tidak sesuai dengan kapasitas alat, sehingga memperlambat waktu pemindahan. Dalam hal pengukuran, kurangnya sistem pemantauan terhadap efisiensi transportasi membuat evaluasi proses menjadi sulit dilakukan. Terakhir, kondisi lingkungan di area kerja, yang tidak terorganisir dan jalur transportasi yang terhalang, semakin memperburuk masalah *waste* transportasi ini.



Gambar 3. Fishbone waste process

Analisis pada *waste process* juga menunjukkan kontribusi berbagai faktor yang saling berinteraksi. Dari sisi manusia, masalah muncul karena kelelahan fisik atau mental yang dialami oleh operator, serta kurangnya ketelitian dalam menjalankan tugas, sehingga sering kali terjadi pengencangan *valve* secara berulang atau operator lupa membuka *valve* sebelum proses dimulai. Dari sisi metode, tidak adanya standar operasional prosedur (SOP) yang mengatur secara spesifik mengenai tata cara pengencangan *valve* serta tidak tersedianya *checklist* pemeriksaan menyebabkan operator bekerja tanpa panduan yang jelas dan konsisten, ditambah dengan praktik kerja yang tidak efisien. Dari segi mesin, *scanner barcode* yang lambat merespon membuat waktu untuk melakukan *scan* menjadi lebih lama. Selain itu, tidak adanya sistem *monitoring* otomatis untuk mendeteksi apakah *valve* terbuka membuat operator harus mengandalkan ingatan pribadi yang rawan terhadap kelalaian. Dalam hal pengukuran, ketidadaan sistem pemantauan memperbesar kemungkinan terjadinya kesalahan yang tidak segera diketahui. Lingkungan kerja pun memberikan kontribusi terhadap jenis *waste* ini, terutama karena adanya suara bising yang mengganggu komunikasi antar operator [25].

Rekomendasi Minimasi Waste Kritis pada Proses Produksi Gas Oksigen

Upaya minimasi *waste* kritis dalam proses produksi gas oksigen di PT X merupakan tahap lanjutan yang sangat penting setelah dilakukannya proses identifikasi jenis *waste* dan analisis akar penyebabnya. Berdasarkan hasil dari WRM dan *fishbone* diagram, dua jenis *waste* utama yaitu *transportation* dan *process*, diperlukan penanganan secara spesifik, sistematis, dan terukur. Untuk *waste transportation*, solusi yang dapat diterapkan meliputi penyusunan *Standard Operating Procedure* (SOP) pemindahan tabung yang memuat urutan aktivitas dan durasi ideal yang dapat dijadikan standar evaluasi, penataan ulang *layout* area kerja agar jalur pemindahan tidak terhalang benda-benda lain, serta penyediaan alat bantu pemindahan seperti troli atau *forklift* ringan guna mengurangi beban kerja operator. Lebih lanjut, implementasi sistem pemantauan secara *real-time*, seperti pengawasan *supervisor* langsung atau teknologi pemindai posisi tabung, akan memberikan kontrol yang lebih baik terhadap efisiensi transportasi. Untuk *waste process*, perbaikan dapat difokuskan pada pembuatan SOP dan *checklist* khusus terkait pengencangan dan pembukaan *valve*, disertai penerapan teknologi kamera industri berlensa *wide angle* yang mampu membaca *barcode* seluruh rak tabung secara otomatis, sehingga proses *scan* tidak perlu dilakukan satu per satu secara manual. Di samping itu, pemasangan indikator digital pada *valve* akan membantu operator mengetahui status terbuka atau tertutupnya *valve* secara cepat dan akurat, sehingga potensi kesalahan kerja dapat ditekan.

Simpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan *lean manufacturing* dengan pendekatan *Value Stream Mapping* (VSM), *Waste Relationship Matrix* (WRM), dan *fishbone* diagram secara efektif mampu mengidentifikasi serta menganalisis *waste* yang terjadi dalam proses *filling* gas oksigen di PT XYZ. Hasil analisis menunjukkan bahwa efisiensi proses produksi berdasarkan VSM mencapai 77%, namun masih terdapat ruang perbaikan dengan proporsi aktivitas *non-value added* dan *necessary non-value added* sebesar 23%. Dua *waste* kritis utama yang ditemukan melalui WRM adalah *transportation* dan *process*. *Waste transportation* terutama terjadi karena tata letak area kerja yang tidak optimal dan kurangnya alat bantu, sedangkan *waste process* muncul akibat prosedur yang belum standar dan alat kerja yang terbatas.. Analisis akar penyebab melalui *fishbone* diagram memberikan gambaran faktor-faktor penyumbang utama pada setiap *waste*. Rekomendasi perbaikan difokuskan pada penataan ulang area kerja, penyusunan SOP yang jelas, pemanfaatan alat bantu, serta penerapan teknologi *monitoring* digital.

Daftar Pustaka

- [1] S. Fitriana, Y. E. Prawaty, and I. Sujana, “Pendekatan Lean Manufacturing pada Industri Kelapa Sawit untuk Meminimalkan Waste dengan Metode Value Stream Mapping (VSM) dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA),” *Integr. Ind. Eng. Manag. Syst.*, vol. 7, no. 1, pp. 68–81, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jtinUNTAN/issue/view/2000>
- [2] S. R. Hasanati *et al.*, “Penerapan Lean Manufacturing di Perusahaan Mixue,” *J. Manaj. dan Akunt.*, vol. 1, no. 4, pp. 219–230, 2024, doi: 10.62017/wanargi.
- [3] M. Shobur, R. Alfatiyah, T. Dahniar, and E. Supriyadi, *Sistem Produksi Lean*. Tangerang Selatan: Unpam Press, 2021.
- [4] I. T. B. Widiwati, S. D. Liman, and F. Nurprahatin, “The Implementation of Lean Six Sigma Approach to Minimize Waste at a Food Manufacturing Industry,” *J. Eng. Res.*, vol. 13, no. 2, pp. 611–626, 2025.
- [5] S. A. Lesmana, “Lean Manufacturing Implementation to Reduce Waste Using the Waste Assessment Model Method in the Production Process,” *Int. J. Eng. Res. Adv. Technol.*, 2020, doi: 10.31695/IJERAT.
- [6] Y. Prawira, A. Ishak, and A. Anizar, “A Review of Literature on Lean Manufacturing Tools and Implementation Based on Case Studies,” *J. Sist. Tek. Ind.*, vol. 26, no. 1, pp. 11–21, 2024.
- [7] A. Setianandha and A. Z. Al-Faritsy, “Meminimalisir Waste Pada Proses Produksi Sarung Tangan Golf Menggunakan Lean Six Sigma,” *J. Sains Student Res.*, vol. 2, no. 4, pp. 64–77, 2024.
- [8] N. Kumar, S. S. Hasan, K. Srivastava, R. Akhtar, R. K. Yadav, and V. K. Choubey, “Lean Manufacturing Techniques and Its Implementation: A Review,” *Mater. Today Proc.*, vol. 64, pp. 1188–1192, 2022.
- [9] N. Zaky, M. Z. Ahmed, A. Alarjani, and E.-A. Attia, “Lean Manufacturing Implementation in Iron and Steel Industries: Effect of Wastes Management on the Production Costs,” *J. Eng. Des. Technol.*, vol. 23, no. 2, pp. 525–545, 2025.
- [10] F. A. Hutami, A. Sudiarso, and M. K. Herliansyah, “Identifikasi Waste pada Proses Produksi Batik Tulis Menggunakan Pendekatan Lean Manufacturing dengan Metode Value Stream Mapping (Studi Kasus: Batik Tulis di Giriloyo),” in *Prosiding Seminar Nasional Industri Kerajinan dan Batik*, 2021, p. D-10.
- [11] A. Fole and J. Kulsaputro, “Implementasi Lean Manufacturing untuk Mengurangi Waste pada Proses Produksi Sirup Markisa,” *J. Ind. Eng. Innov.*, vol. 1, no. 1, pp. 23–29, 2023, doi: 10.58227/jiei.v1i1.59.
- [12] J. Alieva and D. Powell, “The Significance of Digital Waste in the Automation of Lean Practices,” *Qual.*

- Manag. J.*, vol. 30, no. 2, pp. 121–134, 2023, doi: 10.1080/10686967.2023.2171323.
- [13] M. F. Fadilah and R. Wibero, “Rancangan Lean Manufacturing untuk Mengurangi Pemborosan pada Proses Pembuatan Sepatu dengan Pendekatan Metode Value Stream Mapping (VSM) dan Root Cause Analysis (RCA) di Home Industry Sepatu,” *J. Greenation Ilmu Tek.*, vol. 2, no. 1, pp. 16–25, 2024, doi: 10.38035/jgit.v2i1.230.
- [14] A. B. Erquiñigo, J. O. Porras, H. Q. Saavedra, P. C. Chamorro, R. M. Alva, and P. V. Carhuapuma, “Green Lean Method to Identify Ecological Waste in a Nectar Factory,” *Int. J. Prod. Manag. Eng.*, vol. 11, no. 2, pp. 197–207, 2023, doi: 10.4995/ijpme.2023.19598.
- [15] A. A. Muti, T. N. Sari, and N. H. Ahmad, “Determinasi Patokan Waktu Pabrikasi dengan Stopwatch Time Study (Studi Kasus Cemilan SBR),” *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 8, no. 1, pp. 36–40, 2022, doi: 10.33884/jrsi.v8i1.6370.
- [16] H. Paramawardhani and K. Amar, “Waste Identification in Production Process Using Lean Manufacturing: A Case Study,” *J. Ind. Eng. Halal Ind.*, vol. 1, no. 1, pp. 39–46, 2020, doi: 10.14421/jiehis.1827.
- [17] I. Komariah, “Penerapan Lean Manufacturing untuk Mengidentifikasi Pemborosan (Waste) pada Produksi Wajan Menggunakan Value Stream Mapping (VSM) pada Perusahaan Primajaya Alumunium Industri di Ciamis,” *J. Media Teknol.*, vol. 8, no. 2, pp. 109–118, 2022, doi: 10.25157/jmt.v8i2.2668.
- [18] T. H. Suryatman and E. C. Aprilia, “Meminimasi Waste pada Proses Fabrikasi Struktur Baja dengan Konsep Lean Manufacturing Menggunakan Metode Value Stream Mapping (Studi Kasus PT. CDB),” *J. Tek.*, vol. 11, no. 2, 2022.
- [19] D. C. Kurniawan, M. Muqimuddin, and M. I. Zamzani, “Identifikasi Waste pada Proses Remanufaktur Blade Lift Cylinder D-8R dengan Pendekatan Lean Manufacturing,” *J. Tek. Ind.*, vol. 12, no. 2, pp. 153–160, 2022, doi: 10.25105/jti.v12i2.15641.
- [20] N. Nasution and A. P. Harahap, “Implementation of Lean Management Methods in Improving Operational Efficiency and Reducing Waste in Manufacturing Companies,” *J. Manajemen, Inform. Rekayasa Perangkat Lunak dan Teknol. Komun.*, vol. 2, no. 2, pp. 53–59, 2023, doi: 10.35335/jmirte.v2i2.126.
- [21] E. Nuryanti, A. Z. Muttaqin, and A. T. Hendrawan, “Minimasi Waste Proses Produksi Teh di PT X Menggunakan Metode Waste Relationship Matrix,” *SET-UP (Jurnal Keilmuan Tek.)*, vol. 01, no. 02, pp. 116–123, 2023, doi: 10.25273/SET-UP.V1I2.13453.116-123.
- [22] A. Irawan and B. I. Putra, “Identifikasi Waste Kritis pada Proses Produksi Pallet Plastik Menggunakan Metode WAM (Waste Assessment Model) di PT. XYZ,” *J. SENOPATI Sustain. Ergon. Optim. Appl. Ind. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 20–29, 2021, doi: 10.31284/j.senopati.2021.v3i1.2098.
- [23] S. Hartini, *Buku Ajar Lean Manufacturing System*. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, 2021.
- [24] Y. Silambi and R. Indiyanto, “Lean Manufacturing Analysis to Minimize Waste on The Production Process,” *Indones. J. Comput. Sci.*, vol. 13, no. 1, 2024.
- [25] I. Leksic, N. Stefanic, and I. Veza, “The Impact of Using Different Lean Manufacturing Tools on Waste Reduction.,” *Adv. Prod. Eng. Manag.*, vol. 15, no. 1, 2020.