

**MINIMASI *WASTE* PROSES *FEEDING ALTERNATIVE FUEL* MENGGUNAKAN
PENDEKATAN *SUSTAINABLE VALUE STREAM MAPPING* UNTUK
MENINGKATKAN KINERJA KEBERLANJUTAN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**



Nama : Mauranisa Darwi Amarta Putri
No. Mahasiswa : 22522330

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2026**

PERNYATAAN KEASLIAN

2

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 05 Juni 2026


METERAI
TEMPEL
E: 900ANX294941346
Mauranisa Parwi Amarta Putri
22522330

SURAT BUKTI PENELITIAN**SURAT KETERANGAN**

(000313/HM.10/SUP/50048653/5000/05.2026)

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama Mahasiswa	: Mauranisa Darwi Amarta Putri
NIM	: 22522330
Jurusan	: Teknik Industri
Universitas	: Universitas Islam Indonesia

Telah melaksanakan Penelitian di PT SEMEN GRESIK pada Section of Utility Opr & AFR Management selama 4 (empat) bulan dengan judul "Minimasi Waste Proses Feeding Alternative Fuel Menggunakan Pendekatan Sustainable Value Stream Mapping Untuk Meningkatkan Kinerja Keberlanjutan" dimulai tanggal 01 Desember 2025 – 30 Maret 2026. Demikian Surat Keterangan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Rembang, 13 Mei 2026

PT. SEMEN GRESIK

SM of Human Capital & General Affairs

RIZZA ADYA RUSPAPUTRA, ST., MT.

**Go
Beyond
Next**

PT Semen Gresik

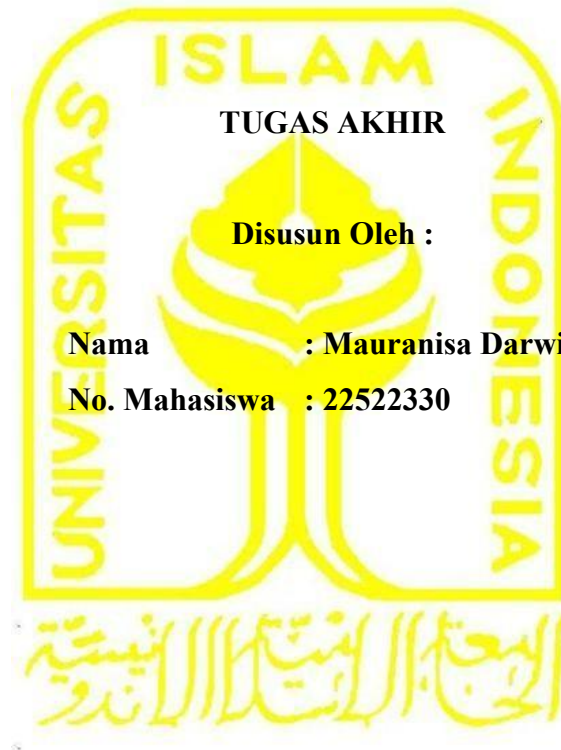
Gedung Utama SIG, Jalan Veteran, Gresik, Jawa Timur 61122

Desa Kajar, Kecamatan Gunem, Kabupaten Rembang, Jawa Tengah 59623

Telp. (0295)-320-2007 Fax. (0295)-320-2012 www.semengresik.sig.id

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**MINIMASI *WASTE* PROSES *FEEDING ALTERNATIVE FUEL* MENGGUNAKAN
PENDEKATAN *SUSTAINABLE VALUE STREAM MAPPING* UNTUK
MENINGKATKAN KINERJA KEBERLANJUTAN**



TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Mauranisa Darwi Amarta Putri

No. Mahasiswa : 22522330

Yogyakarta, 08 Juni 2026

Dosen Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Elisa', is written over a horizontal line.

Prof. Dr. Ir. Elisa Kusrini, MT, CPIM, CSCP, SCOR-P

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

MINIMASI WASTE PROSES FEEDING ALTERNATIVE FUEL MENGGUNAKAN PENDEKATAN SUSTAINABLE VALUE STREAM MAPPING UNTUK MENINGKATKAN KINERJA KEBERLANJUTAN

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Mauranisa Darwi Amarta Putri
No. Mahasiswa : 22522330

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 10 Juni 2025

Tim Penguji

Prof. Dr. Ir. Elisa Kusri M.T, CPIM,
CSCP, SCOR-P

Ketua

Putri Dwi Annisa, S.T., M.Sc.

Anggota I

Ir. Ali Parkhan, M.T

Anggota II



Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM
015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alaamiin

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq, hidayah, kesehatan, serta kekuatan, sehingga saya dapat mengerjakan tugas akhir ini sampai selesai dengan baik dan lancar. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada diri saya sendiri serta kedua orang tua tercinta. Terima kasih atas segala doa, pengorbanan, nasihat, dan dukungan yang senantiasa mengiringi dan menguatkan saya di setiap proses yang saya jalani. Selain itu, terimakasih juga untuk teman-teman dekat saya yang selalu memberikan motivasi, menemani, mendukung dan memberikan dorongan semangat saya dalam penyusunan tugas akhir ini.

MOTTO

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri”

-Surat Ar-rad; Ayat 11-

“Keberhasilan dimulai dengan keberanian untuk mencoba”

-Walt Disney-

“Kesempatan tercipta oleh mereka yang mempersiapkannya dengan baik.”

-Louis Pasteur-

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh
Bismillahirrahmanirrahim

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik dan lancar. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan seluruh umatnya yang istiqamah meneladani ajarannya hingga akhir zaman. Melalui kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, dan dukungan selama pelaksanaan kegiatan dan penyusunan tugas akhir ini:

1. Bapak Agus Mansur, S.T., M.Eng.Sc., selaku Plt. Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., selaku ketua Program Studi S1 Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Prof. Dr. Elisa Kusrini, MT., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan arahan, serta ilmu yang sangat berharga selama proses penyusunan laporan ini.
5. Kedua orang tua tercinta atas segala doa, kasih sayang, dukungan moril maupun materiil yang tiada henti hingga terselesaikannya laporan ini.
6. Seksi Operasi Utilitas & AFR, khususnya Pak Ilham, Pak Angga, dan Pak Fajar selaku mentor serta teman-teman karyawan yang telah mengizinkan dan membantu saya dalam melakukan penelitian tugas akhir ini.
7. Seluruh teman-teman saya, khususnya keishara, levi, april, dan yogi yang selalu memberikan motivasi dan dukungan penuh serta bertukar ilmu selama proses perjalanan magang dan penyusunan tugas akhir.
8. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam penyelesaian laporan akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan yang telah diberikan kepada penulis dengan limpahan rahmat dan karunia-Nya. Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini masih memiliki keterbatasan dan belum sepenuhnya sempurna, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi seluruh pembaca. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 05 Juni 2026



Penulis

ABSTRAK

Industri semen merupakan sektor dengan konsumsi energi tinggi yang bergantung pada bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama. Kondisi ini menyebabkan tingginya biaya operasional sekaligus berkontribusi signifikan terhadap emisi karbon. Pemanfaatan *alternative fuel* (AF) menjadi salah satu strategi untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Namun, proses *feeding alternative fuel* di PT Semen Gresik masih ditemukan berbagai pemborosan (*waste*) yang menghambat pencapaian kinerja operasional dan target keberlanjutan, sehingga diperlukan upaya sistematis untuk mengidentifikasi dan meminimasi pemborosan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis dan penyebab *waste* pada proses *feeding alternative fuel*, menganalisis dampaknya terhadap kinerja keberlanjutan dari aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial, serta merumuskan usulan perbaikan guna meningkatkan efisiensi dan kinerja keberlanjutan proses. Penelitian ini menggunakan pendekatan *Sustainable Value Stream Mapping* (SVSM). Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara, kuesioner, dan studi literatur. Analisis *waste* menggunakan *Value Stream Analysis Tools* (VALSAT) dan *Process Activity Mapping*, sedangkan identifikasi akar masalah dilakukan menggunakan *fishbone diagram*. Evaluasi kinerja keberlanjutan mengacu pada tiga dimensi *triple bottom line*, yaitu ekonomi (*Process Cycle Efficiency*/PCE), lingkungan (TSR, konsumsi energi, emisi CO), dan sosial (*Physical Load Index*, tingkat kesehatan pekerja, kondisi lingkungan kerja, dan risiko kerja). Hasil penelitian menunjukkan bahwa *waste* dominan adalah *waiting* (Skor 10), diikuti *motion* dan *inventory* (Skor 8). Nilai PCE *current state* sebesar 73,95% dengan total 20 aktivitas dan *lead time* 1899,6 detik, serta kapasitas *feeding* sebesar 30,7 ton/hari. Pada kondisi *future state*, jumlah aktivitas berkurang menjadi 15 aktivitas, *lead time* turun menjadi 1.638 detik, PCE meningkat menjadi 88,86%, dan kapasitas *feeding* naik menjadi 35,64 ton/hari. Peningkatan ini berpotensi mendukung pencapaian target *Thermal Substitution Rate* (TSR) pada tahun 2026 serta berkontribusi pada pengurangan emisi karbon dalam jangka panjang.

Kata Kunci: *Sustainable Value Stream Mapping*, *Waste*, *Alternative Fuel*, *Efficiency*, *Sustainability*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
SURAT BUKTI PENELITIAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
MOTTO.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Kajian Literatur	6
2.2. Landasan Teori.....	10
2.2.1. <i>Lean Manufacturing</i>	10
2.2.2. Pemborosan (<i>Waste</i>).....	11
2.2.3. <i>Sustainable Manufacturing</i>	12
2.2.4. <i>Value Stream Mapping</i>	13
2.2.5. <i>Sustainable Value Stream Mapping (SVSM)</i>	14
2.2.6. Dimensi <i>Sustainability</i> pada SVSM	15
2.2.7. <i>Process Activity Mapping (PAM)</i>	22
2.2.8. <i>Fishbone Diagram</i>	23
2.2.9. 5W+1H	24
2.2.10. Kapasitas <i>Feeding Alternative Fuel</i> Terhadap Pencapaian <i>Thermal Substitution Rate (TSR)</i>	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1. Objek Penelitian	27
3.2. Jenis Data	27
3.3. Metode Pengumpulan Data	27
3.4. Alur Penelitian.....	28
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	33
4.1. Pengumpulan Data	33
4.1.1. Profil Perusahaan.....	33
4.1.2. Bahan Bakar Alternatif.....	33
4.1.3. Proses <i>Feeding Alternative Fuel</i>	34
4.1.4. Aktivitas Produksi	35
4.1.5. Data <i>Feeding Alternative Fuel</i>	36
4.1.6. Data Sumber Daya dan Peralatan	36
4.1.7. Data Waktu Kerja	36
4.1.8. Data Waktu Produksi.....	37

4.2.	Pengolahan Data.....	38
4.2.1.	Uji Normalitas	38
4.2.2.	Uji Kecukupan Data	39
4.2.3.	Uji Keseragaman Data.....	41
4.2.4.	Waktu Siklus dan Kapasitas Feeding	42
4.2.5.	Rekapitulasi Kuesioner <i>Waste</i>	46
4.2.6.	Pembobotan <i>Value Stream Analysis Tools (VALSAT)</i>	47
4.2.7.	<i>Process Activity Mapping</i>	48
4.2.8.	<i>Sustainable Value Stream Mapping</i>	52
4.2.9.	<i>Sustainable Current State Value Stream Mapping</i>	59
4.2.10.	Identifikasi <i>Waste</i>	59
4.2.11.	<i>Fishbone Diagram</i>	60
4.2.12.	Usulan <i>Process Activity Mapping</i>	61
4.2.13.	<i>Sustainable Future Value Stream Mapping</i>	67
BAB V	PEMBAHASAN	68
5.1.	Analisis <i>Current State Sustainable Value Stream Mapping</i>	68
5.2.	Analisis <i>Waste</i> Proses Feeding AF.....	69
5.2.1.	Identifikasi <i>Waste</i>	69
5.2.2.	Keterkaitan <i>Waste</i> Terhadap Aspek <i>Sustainability</i>	70
5.2.3.	Dampak <i>Waste</i> Terhadap Kinerja Proses	71
5.2.4.	Dampak <i>Waste</i> Terhadap <i>Sustainability</i>	72
5.3.	Analisis Hasil Pembobotan <i>Value Steam Analysis Tools (VALSAT)</i>	73
5.4.	Analisis <i>Process Activity Mapping</i>	73
5.5.	Hubungan Aktivitas Produksi dengan Dimensi <i>Sustainability</i>	74
5.6.	Analisis <i>Fishbone Diagram</i>	77
5.6.1.	<i>Waste Waiting</i>	77
5.6.2.	<i>Waste Motion</i>	78
5.6.3.	<i>Waste Inventory</i>	80
5.7.	Analisis <i>Sustainable Metric</i>	81
5.7.1.	Aspek Ekonomi	81
5.7.2.	Aspek Lingkungan.....	82
5.7.3.	Aspek Sosial	83
5.8.	Analisis Usulan Perbaikan	85
5.8.1.	Usulan Perbaikan.....	85
5.8.2.	Usulan Perbaikan Aspek <i>Sustainability</i>	94
5.9.	Analisis Kinerja Keberlanjutan	95
5.10.	Analisis <i>Future Process Activity Mapping</i>	96
5.11.	Analisis <i>Future State Value Stream Mapping</i>	98
BAB VI	PENUTUP	99
6.1.	Kesimpulan.....	99
6.2.	Saran.....	100
DAFTAR PUSTAKA		102
LAMPIRAN		A-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kajian Literatur	8
Tabel 2.2 Indikator <i>Sustainability</i>	16
Tabel 2.3 Kategori <i>Physical Load Index</i>	21
Tabel 2.4 Perhitungan Kapasitas <i>Feeding</i>	26
Tabel 4.1 Aktivitas Produksi	35
Tabel 4.2 Histori Data <i>Feeding</i>	36
Tabel 4.3 Data Peralatan	36
Tabel 4.4 Jumlah Tenaga Kerja	36
Tabel 4.5 Data Waktu Kerja	37
Tabel 4.6 Data Waktu Produksi	37
Tabel 4.7 Uji Kecukupan Data	40
Tabel 4.8 Uji Keseragaman Data	41
Tabel 4.9 Waktu Siklus Produksi	43
Tabel 4.10 Total Kapasitas	44
Tabel 4.11 Rekapitulasi <i>Waste</i>	46
Tabel 4.12 <i>Value Stream Matrix</i>	47
Tabel 4.13 <i>Detail Mapping Tools</i>	48
Tabel 4.14 <i>Process Activity Mapping</i>	49
Tabel 4.15 Aktivitas & Kategori <i>Process Activity Mapping</i>	51
Tabel 4.16 Capaian <i>Thermal Substitution Rate</i>	53
Tabel 4.17 Konsumsi Energi Listrik	53
Tabel 4.18 Emisi CO	54
Tabel 4.19 <i>Physical Load Index</i>	55
Tabel 4.20 Kebisingan	55
Tabel 4.21 Intensitas Debu	56
Tabel 4.22 Tingkat Kehadiran	56
Tabel 4.23 Risiko Kerja	56
Tabel 4.24 <i>Future Process Activity Mapping</i>	61
Tabel 4.25 <i>Future Process Activity Mapping</i>	63
Tabel 4.26 Total Kapasitas <i>Feeding</i> Usulan	64
Tabel 5.1 Keterkaitan <i>Waste</i> dengan <i>Sustainability</i>	71
Tabel 5.2 Hubungan Aktivitas Produksi dengan <i>Sustainability</i>	75
Tabel 5.3 5W1H <i>Waste Waiting</i>	86
Tabel 5.4 5W1H <i>Waste Motion</i>	88
Tabel 5.5 5W1H <i>Waste Inventory</i>	91
Tabel 5.6 Usulan 5S	93
Tabel 5.7 Perbandingan PAM <i>Current & Future</i>	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Simbol <i>Value Stream Mapping</i>	14
Gambar 2.2 <i>Value Stream Mapping</i>	14
Gambar 2.3 <i>Sustainable Value Stream Mapping</i>	15
Gambar 2.4 <i>Sustainable Metric</i>	15
Gambar 2.5 <i>PLI Trunk</i>	20
Gambar 2.6 <i>PLI Arms</i>	20
Gambar 2.7 <i>PLI Legs</i>	21
Gambar 2.8 <i>PLI Weight1</i>	21
Gambar 2.9 <i>PLI Weight I</i>	21
Gambar 2.10 <i>Fishbone Diagram</i>	24
Gambar 3.1 Alur Penelitian	32
Gambar 4.1 Lokasi PT Semen Gresik	33
Gambar 4.2 Alur Proses <i>Feeding</i>	34
Gambar 4.3 Hasil Uji Normalitas	39
Gambar 4.4 Rekapitulasi <i>PLI Persiapan Material</i>	54
Gambar 4.5 <i>Sustainable Current State Value Stream Mapping</i>	59
Gambar 4.6 <i>Fishbone Waste Waiting</i>	60
Gambar 4.7 <i>Fishbone Waste Motion</i>	60
Gambar 4.8 <i>Fishbone Waste Inventory</i>	61
Gambar 4.9 <i>Sustainable Future State Value Stream Mapping</i>	67

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri semen merupakan salah satu sektor strategis dalam mendukung pembangunan nasional, terutama dalam menyediakan bahan konstruksi untuk infrastruktur, perumahan, hingga fasilitas industri lainnya. Seiring dengan meningkatnya proyek pembangunan, permintaan semen di Indonesia cenderung fluktuatif namun tetap tinggi, sehingga kondisi ini memaksa perusahaan untuk mempertahankan proses produksi mereka secara efisien dan kompetitif (Akbar, Nandika, & Safaruddin, 2022). Namun, efisiensi produksi di industri semen tidak hanya diukur dari volume output, melainkan juga dari intensitas energi dan dampak lingkungan yang dihasilkan, dimana industri semen merupakan salah satu industri dengan konsumsi energi dan emisi karbon tertinggi di dunia (Kindiy, et al., 2025).

Tantangan terbesar dalam industri semen saat ini adalah tingginya konsumsi energi termal, di mana lebih dari 40% biaya operasional dipengaruhi oleh energi, khususnya pada proses pembakaran kiln yang masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil seperti batubara (Ridwan & Adjar, 2025). Ketergantungan ini tidak hanya meningkatkan biaya produksi, tetapi juga berkontribusi signifikan terhadap emisi karbon yang berdampak negatif bagi lingkungan serta bertentangan dengan target keberlanjutan industri semen baik secara nasional maupun global (Fachruzzaki & Rina, 2024).

Untuk menjawab tantangan tersebut, industri semen telah beralih ke strategi *co-processing* sebagai upaya pengurangan konsumsi batubara dan dampaknya terhadap emisi dengan mendorong implementasi penggunaan *alternative fuel* (AF) seperti *refuse derived fuel* (RDF), limbah industri, dan biomassa sebagai substitusi energi di lini produksi (Rafi & Yayok, 2024). Tingkat keberhasilan substitusi bahan bakar ini diukur melalui *Thermal Substitution Rate* (TSR), yaitu persentase panas yang dihasilkan oleh bahan bakar alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil (seperti batu bara) dalam proses pembakaran pembuatan semen (Indra & Solikin, 2024). Semakin tinggi nilai TSR, semakin besar penggunaan bahan bakar alternatif dalam menggantikan penggunaan bahan bakar fosil, sehingga dapat membantu menurunkan emisi karbon secara lebih signifikan (Indra & Solikin, 2024). Meskipun potensi *alternative fuel* sangat besar, efektivitasnya sangat bergantung pada stabilitas aliran material dan efisiensi proses *feeding* AF ke sistem pembakaran.

PT Semen Gresik merupakan salah satu perusahaan semen di Indonesia. Perusahaan ini telah mengimplementasikan bahan bakar alternatif dalam proses produksinya sebagai bagian dari komitmen terhadap efisiensi energi dan keberlanjutan. Target *thermal substitution rate* (TSR) yang ditetapkan perusahaan di tahun 2025 adalah 2,5%, yang merupakan indikator dalam memantau keberhasilan program substitusi bahan bakar alternatif. Berdasarkan observasi awal, capaian TSR rata-rata tahun 2025 telah mencapai 2,52%, yang secara angka telah melampaui target perusahaan. Namun, selisih pencapaian yang relatif kecil yakni 0,02% menunjukkan bahwa kinerja sistem masih berada pada batas minimum target dan belum mencerminkan kondisi operasional yang stabil maupun optimal, khususnya pada proses pengumpanan *alternative fuel*. Selain itu, terdapat kenaikan target *thermal substitution rate* (TSR) pada tahun 2026 menjadi 2,75%, sehingga diperlukan peningkatan efisiensi proses untuk mendukung pencapaian target tersebut.

Observasi awal menunjukkan bahwa proses *feeding alternative fuel* memiliki beberapa masalah operasional, mengingat proses ini masih dilakukan secara manual. Masalah operasional yang teridentifikasi meliputi ketidakstabilan aliran material, *downtime* peralatan, serta ketidakteraturan suplai *alternative fuel*. Hal ini menyebabkan ketidaksesuaian dalam proses pengisian bahan bakar dan berdampak pada capaian TSR yang rendah atau tidak sesuai target. Masalah operasional ini tidak hanya menghambat target substitusi energi, tetapi juga menciptakan pemborosan yang berdampak sistemik. Pemborosan tersebut seperti *motion* berlebih dan *waiting* pada operator tidak hanya membuang waktu, tetapi juga meningkatkan paparan debu dan kebisingan bagi pekerja. Dari sisi lingkungan, ketidakstabilan pasokan bahan bakar alternatif dapat menyebabkan fluktuasi suhu di *kiln* yang berisiko pada pembakaran tidak sempurna dan peningkatan emisi. Selain itu, menyebabkan konsumsi energi alat angkut yang tidak efisien. Kondisi ini menunjukkan adanya *waste* yang tidak hanya menimbulkan kerugian dari sisi ekonomi, tetapi juga dapat menurunkan kinerja keberlanjutan perusahaan secara keseluruhan.

Permasalahan operasional tersebut dikategorikan sebagai pemborosan, di mana aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah dianggap sebagai *waste* yang harus diminimalkan untuk meningkatkan efisiensi operasional (Nurullaily & Intan, 2020). Namun, tantangan industri modern menuntut perusahaan tidak hanya efisien secara waktu, tetapi juga bertanggung jawab secara ekologis dan sosial. *Waste* tidak hanya berdampak pada aspek operasional, tetapi juga memiliki implikasi langsung terhadap aspek keberlanjutan, seperti peningkatan konsumsi

energi, emisi karbon, serta penggunaan sumber daya yang tidak optimal (Itok & Uly, 2025). Oleh karena itu, identifikasi pemborosan tidak lagi cukup jika hanya menggunakan parameter waktu (*lead time*), melainkan harus mengintegrasikan metrik keberlanjutan untuk mengukur dampak nyata terhadap performa perusahaan secara menyeluruh.

Value Stream Mapping (VSM) merupakan alat visual untuk memetakan aliran material dan informasi dalam suatu proses produksi (Fandi & Dimas, 2019). Namun, VSM konvensional hanya berfokus pada aspek ekonomi dan waktu, tanpa secara langsung mengukur dampak lingkungan dan sosial dari proses yang dianalisis (Firdaus & Sri, 2022). Untuk mengatasi keterbatasan ini, diperlukan pengembangan metode menjadi *Sustainable Value Stream Mapping* (SVSM) yang mengintegrasikan indikator keberlanjutan dari tiga dimensi *triple bottom line* (TBL), yaitu ekonomi, lingkungan, dan sosial. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pendekatan *sustainable value stream mapping* (SVSM) mampu membantu perusahaan dalam mengidentifikasi, mengevaluasi, dan merumuskan rekomendasi perbaikan yang berdampak tidak hanya pada efisiensi produksi, tetapi juga pada kinerja keberlanjutan secara menyeluruh (Arif & Ayu, 2022).

Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian ini difokuskan pada minimasi *waste* proses *feeding alternative fuel* di PT Semen Gresik Pabrik Rembang dengan pendekatan *Sustainable Value Stream Mapping* (SVSM). Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan gambaran komprehensif terhadap kondisi saat ini (*current state*) dan merumuskan kondisi masa depan (*future state*) yang tidak hanya efisien secara biaya, tetapi juga berkelanjutan secara lingkungan dan sosial. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan rekomendasi perbaikan yang dapat meningkatkan stabilitas aliran material, mendukung pencapaian dan peningkatan TSR, serta meningkatkan kinerja keberlanjutan perusahaan secara keseluruhan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, berikut adalah rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Bagaimana kondisi kinerja keberlanjutan pada proses *feeding alternative fuel* berdasarkan pendekatan *sustainable value stream mapping*?
2. Apa saja jenis pemborosan yang terjadi pada proses *feeding alternative fuel* serta faktor penyebabnya ditinjau dari aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial?
3. Bagaimana dampak pemborosan terhadap kinerja keberlanjutan proses *feeding alternative fuel* pada aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial?

4. Apa usulan perbaikan yang dapat dilakukan untuk meminimasi *waste* guna meningkatkan kinerja berkelanjutan proses *feeding alternative fuel*?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, berikut merupakan tujuan penelitian ini dilakukan:

1. Mengetahui kondisi kinerja keberlanjutan proses *feeding alternative fuel* berdasarkan pendekatan *sustainable value stream mapping*.
2. Mengidentifikasi pemborosan dan faktor penyebabnya pada proses *feeding alternative fuel* berdasarkan aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial.
3. Mengetahui dampak pemborosan (*waste*) terhadap kinerja keberlanjutan proses *feeding alternative fuel* pada aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial.
4. Memberikan usulan perbaikan untuk meminimasi *waste* guna meningkatkan kinerja keberlanjutan proses *feeding alternative fuel*.

1.4. Manfaat Penelitian

Berikut merupakan manfaat penelitian pada permasalahan yang dikaji:

1. Bagi Perusahaan
Hasil penelitian dapat menjadi masukan dan bahan pertimbangan strategis bagi PT Semen Gresik dalam melakukan perbaikan proses *feeding AF* berdasarkan implementasi *Lean Manufacturing* dan SUS-VSM guna meningkatkan efisiensi proses, stabilitas *feeding*, serta optimalisasi pencapaian *Thermal Substitution Rate* (TSR).
2. Bagi Akademik
Penelitian ini secara tidak langsung mengimplementasikan keilmuan Teknik Industri yang diajarkan di kampus ke dalam permasalahan riil perusahaan. Hal ini meningkatkan relevansi kurikulum dan memperkaya literatur studi kasus akademik.
3. Bagi Peneliti
Penelitian ini menjadi wadah penerapan untuk mengaplikasikan konsep *lean manufacturing* dan *sustainable value stream mapping* secara nyata. Hal ini akan mengembangkan kompetensi dan keterampilan dalam mengidentifikasi, menganalisis, dan merumuskan strategi mitigasi *waste* operasional pada proses produksi, serta memperluas wawasan keilmuan dan pengalaman praktis di lingkup industri.

1.5. Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini bertujuan untuk memfokuskan kajian agar tujuan penelitian dapat dicapai secara tepat. Adapun batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada area proses *feeding Alternative Fuel* (AF) di PT Semen Gresik, yang mencakup aliran material dari area penyimpanan hingga titik *feeding* menuju calciner.
2. Penelitian hanya terfokus pada tahapan utama yaitu persiapan, *lifting*, *handling*, dan *feeding*, reposisi alat angkut, beserta aktivitas-aktivitas yang terjadi di dalamnya.
3. Data yang digunakan diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan pada bulan Desember 2025 s/d Maret 2026 seiring dengan data histori perusahaan yang berlaku pada rentang waktu satu tahun terakhir.
4. Penelitian ini dibatasi hingga tahap usulan perbaikan berupa *Future State Mapping*, tanpa memperhitungkan biaya-biaya terkait, maupun implementasi usulan perbaikan.
5. Penelitian ini bersifat teoretis dan hasilnya berupa rekomendasi operasional yang dapat dijadikan bahan pertimbangan bagi Perusahaan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Literatur

Dalam kajian literatur, penelitian terdahulu digunakan untuk memperluas wawasan dan mendukung pengembangan pengetahuan di bidang serupa. Tabel 2.1 merupakan kajian literatur yang digunakan sebagai referensi penelitian yang dilakukan.

Penelitian oleh Nashir, Purnawan, & Sri, (2023) menggunakan *Sustainable Value Stream Mapping* (SVSM) untuk mengevaluasi kinerja produksi ceftriaxone di PT XYZ dari segi ekonomi, lingkungan, dan sosial. Permasalahan utama meliputi waktu tunggu, *setup time*, dan *idle time*, serta postur kerja yang belum ergonomis dengan skor REBA sebesar 11. Hasil menunjukkan efisiensi waktu hanya 54,35% dan efisiensi *inventory* sebesar 16,28%, sementara kualitas produk mencapai 99,7%. Rekomendasi perbaikan mencakup penerapan TPM, SMED, 5S, percepatan proses pengeringan, penambahan operator, dan penggunaan *material handling* ergonomis.

Penelitian oleh Enrikko & Febriana (2025) menganalisis pemborosan dalam proses produksi Lapis Tugu Kediri dengan tujuan mengidentifikasi *waste* menggunakan VSM dan *fishbone*. Hasil menunjukkan *overprocessing* dan *unnecessary motion* sebagai *waste* utama, dan perbaikan meningkatkan PCE hingga 94,36% serta menurunkan *lead time* menjadi 127,66 menit.

Penelitian oleh Meutia, Dirhamsyah, & Husni (2021) berfokus pada penerapan *Value Stream Mapping* (VSM) dan metode 5W+1H di PT. Perkebunan Nusantara I Cot Girek untuk mengurangi pemborosan (*waste*) dalam proses produksi *Crude Palm Oil* (CPO). Tujuan utamanya adalah mengatasi kerugian waktu dan masalah kualitas yang ada. Dari identifikasi *waste*, empat aktivitas utama ditentukan untuk perbaikan. Setelah dilakukan analisis dan rekomendasi perbaikan, hasilnya adalah penurunan *Manufacturing Lead Time* dari 1185,70 menit menjadi 1069,73 menit. Selain itu, *Process Cycle Efficiency* (PCE) berhasil ditingkatkan dari 67% menjadi 74%.

Penelitian oleh Chory & Sri (2022) mengkaji kinerja keberlanjutan proses produksi *Crude Palm Oil* (CPO) di PKS Bunut PT Perkebunan Nusantara VI dengan menggunakan metode *Sustainable Value Stream Mapping* (SVSM). Metode ini digunakan melalui observasi, wawancara, dan studi dokumen untuk menilai efisiensi kualitas produk, konsumsi material,

serta kesehatan dan kepuasan pekerja. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi kualitas produk sebesar 99,780%, efisiensi penggunaan material 22,946%, serta efisiensi kesehatan dan kepuasan pekerja masing-masing 86,790% dan 99,549%. Penelitian ini merekomendasikan penerapan sistem *Material Requirement Planning* (MRP), perbaikan infrastruktur, penambahan pekerja, pelatihan K3, dan kerja sama dengan perusahaan perkebunan lain guna meningkatkan kinerja keberlanjutan perusahaan

Penelitian oleh Yusril (2023) berfokus pada peningkatan produktivitas di industri alat musik menggunakan *sustainable value stream mapping* (SVSM). Metode lain yang digunakan yakni *Lean manufacturing*, *VALSAT*, *PAM*, *Fishbone*. Hasil penelitian tersebut menunjukan *waste* terbesar adalah *overproduction* dan *defect*, kemudian implementasi SVSM berhasil meningkatkan produktivitas dan mengurangi *lead time* serta pemborosan yang terjadi.

Penelitian oleh Neha & Vinay (2021) mengkaji penerapan *Sustainable Value Stream Mapping* (SVSM) pada lini produksi antenna televisi satelit dengan tujuan menilai kinerja ekonomi, lingkungan, dan sosial secara bersamaan. Metode yang digunakan meliputi pengembangan SVSM dengan metrik keberlanjutan seperti konsumsi air proses, penggunaan bahan baku, konsumsi energi, serta kondisi lingkungan kerja dan beban kerja karyawan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SVSM efektif menangkap pemborosan energi dan air, terutama pada proses pencucian yang menyumbang 60% konsumsi energi total dan kehilangan air signifikan, sehingga menjadi fokus perbaikan keberlanjutan.

Penelitian oleh Salma & Joumil (2024) pada CV. Teguh Jaya Mandiri, sebuah perusahaan jasa sablon kemasan botol kaca. Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi *waste*, mengoptimalkan *cycle time*, serta memberikan usulan perbaikan untuk mengurangi pemborosan, terutama pada proses sablon. Metode yang digunakan yakni *Value Stream Mapping* (VSM), *Process Activity Mapping* (PAM), *Borda Count*, serta *Fishbone Diagram* dan *5 Whys*. Hasil menunjukkan bahwa *waste* terbesar adalah *overprocessing* dan aktivitas *Non Value Added cycle time* berhasil diturunkan dari 24.812,5 detik menjadi 13.908,5 detik, atau berkurang sekitar 44%.

Penelitian yang dilakukan oleh Menik, Raja, Bambang, & Sofian (2023) berfokus pada industri pertambangan batubara di Kalimantan Timur untuk mengidentifikasi pemborosan dalam proses penambangan. Penelitian menggunakan metode *Value Stream Mapping* (VSM), *Process Activity Mapping* (PAM), observasi lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa *waste* berhasil diidentifikasi, dan perbaikan yang diusulkan *cycle time* turun sebesar

23,4% dan *lead time* berkurang 56,1%, sehingga proses menjadi lebih efisien dan produktivitas meningkat.

Penelitian Nurwidiana & Nur (2025) meneliti industri tahu UKM di Semarang menggunakan metode *Sustainable Value Stream Mapping* (SVSM) yang mengintegrasikan aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial. Indikator yang dianalisis meliputi efisiensi waktu, kualitas produk, pemanfaatan material, pengelolaan limbah, serta risiko dan kesehatan pekerja. Hasil awal menunjukkan efisiensi waktu produksi rendah (78%), efisiensi material dan pengelolaan limbah masing-masing sekitar 89% dan 94%, serta kesehatan pekerja 86,43% dengan 13 risiko keselamatan. Setelah penerapan rekomendasi perbaikan seperti optimalisasi pengadaan kayu bakar, pemasangan kipas, penggunaan alat pemotong, dan pengolahan limbah ampas tahu, semua indikator mengalami peningkatan signifikan. Efisiensi waktu naik menjadi 89%, efisiensi material 95%, pengelolaan limbah 97%, risiko kecelakaan menurun, dan kesehatan pekerja meningkat hingga 95%.

Penelitian oleh Enik & Madinatul (2025) berfokus pada proses *loading-unloading* di PT XYZ, sebuah perusahaan air minum. Metode yang digunakan meliputi *Value Stream Mapping* (VSM), *Waste Assessment Model* (WAM), serta *Root Cause Analysis* (RCA) dengan *fishbone* diagram dan teknik *5 Why*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *waiting waste* menjadi masalah utama dengan proporsi 29,41% dari total waktu proses, dan mengalami peningkatan efisiensi sebesar 17,53%, sehingga alur kerja menjadi lebih cepat dan produktif.

Tabel 2.1 Kajian Literatur

Penulis	Objek	Metode				
		VSM	WAM	Fishbone	VALSAT	PAM SVSM 5W
(Nashir, Purnawan, & Sri, 2023)	Proses produksi di perusahaan farmasi, PT XYZ Departemen Antibiotik Beta Lactam.					√
(Enrikko & Febriana, 2025)	Lapis Tugu Kediri, UKM.	√		√		

Tabel 2.1 Kajian Literatur (Lanjutan)

Penulis	Objek	Metode						
		VSM	WAM	Fishbone	VALSAT	PAM	SVSM	5W
(Meutia, Dirhamsyah, Husni, 2021)	PT Perkebunan Nusantara I Cot Girek Unit	√						√
	Proses produksi <i>Crude Palm Oil</i> (CPO) di PKS Bunut PT Perkebunan Nusantara VI.						√	
(Chory & Sri, 2022)								
(Yusril, 2023)	Industri Alat Musik			√	√	√	√	
(Neha & Vinay, 2021)	Proses produksi manufaktur antena televisi satelit						√	
	CV. Teguh Jaya Mandiri, perusahaan jasa sablon kemasan botol kaca di Sidoarjo.	√		√		√		√
(Salma & Joumil, 2024)								
(Menik, Raja, Bambang, & Sofian, 2023)	Industri pertambangan batubara di Kalimantan Timur	√				√		

Tabel 2.1 Kajian Literatur (Lanjutan)

Penulis	Objek	Metode						
		VSM	WAM	Fishbone	VALSAT	PAM	SVSM	5W
(Nurwidiana & Nur, 2025)	Industri tahu Sari Pangan Makmur Sejahtera (SPMS)						√	
	Proses <i>loading-unloading</i> di perusahaan air minum dalam kemasan, Jawa Timur.	√	√	√				√
(Enik & Madinatul, 2025)								

2.2. Landasan Teori

2.2.1. *Lean Manufacturing*

Lean Manufacturing merupakan suatu pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi pemborosan (*waste*) melalui perbaikan berkelanjutan (*continuous improvement*) yang berfokus pada penciptaan nilai (Rendhika, Hasyrani, & Gigih, 2025). *Lean manufacturing* bertujuan untuk mereduksi aktivitas yang tidak memiliki nilai tambah dan mengoptimalkan aliran proses produksi. Metode ini sangat efektif untuk meningkatkan kinerja sistem dan proses produksi karena mampu membantu dalam mengidentifikasi permasalahan, melakukan pengukuran, menganalisis penyebab, serta merumuskan solusi perbaikan yang tepat (Pradana, Chaeron, & Khanan, 2018). Terdapat lima prinsip utama pada *lean manufacturing*, sebagai berikut:

1. Menentukan nilai (*value*) dari perspektif pelanggan
2. Memetakan aliran nilai (*value stream mapping*) untuk mengidentifikasi aktivitas yang tidak bernilai tambah
3. Menciptakan aliran (*flow*) agar proses berjalan tanpa hambatan
4. Membangun sistem tarik (*pull system*) berdasarkan permintaan nyata pelanggan
5. Mengejar kesempurnaan (*perfection*) melalui perbaikan berkelanjutan (*kaizen*)

Pendekatan *lean manufacturing* mampu memperkecil pemborosan produk, biaya, waktu, dan aspek lainnya yang tidak produktif. Awalnya *lean manufacturing* merupakan konsep yang dikembangkan oleh Toyota, kemudian dikenal sebagai *Just-In-Time Manufacturing* yang bertujuan agar perusahaan menjadi lebih efisien dan kompetitif, serta dapat meningkatkan *output* dengan menghilangkan pemborosan yang terjadi pada proses produksi (Aisyah, 2020). Menurut Ristyowati, Muhsin, dan Nurani (2017), terdapat tiga hasil utama yang diharapkan dari penerapan *lean*, antara lain:

1. Proses yang lebih optimal, yang berarti memberikan lebih banyak nilai kepada pelanggan dengan cara yang lebih efisien. Efisiensi mencakup penggunaan tindakan yang seminimal mungkin, biaya yang lebih rendah, serta kemampuan untuk mengurangi atau menghilangkan pemborosan.
2. Kondisi kerja yang semakin baik seperti aliran kerja yang lebih terstruktur, pembagian nilai dan tujuan pekerjaan yang lebih jelas, serta peningkatan kemampuan untuk terus melakukan perbaikan dan pengembangan dengan melibatkan karyawan secara aktif.
3. Pemenuhan kebutuhan dan tujuan organisasi yang meliputi peningkatan keuntungan, pertumbuhan, nilai organisasi, dan pengaruhnya.

2.2.2. Pemborosan (*Waste*)

Dalam konsep *lean manufacturing*, pemborosan (*waste*) merupakan segala aktivitas yang mengosumsi waktu, energi, atau sumber daya namun tidak menambah *value* bagi pelanggan maupun proses. Pemborosan dianggap sebagai hambatan utama terhadap efisiensi proses karena tidak memberikan kontribusi langsung terhadap output dan sering kali meningkatkan biaya operasional (Dini, Fatih, Dwi, & Sofia, 2025). Terdapat tujuh jenis pemborosan yang didefinisikan sebagai berikut:

1. *Transportation* (Transportasi) merupakan pemborosan yang terjadi akibat pergerakan material, produk, atau informasi yang tidak perlu. Pergerakan material tidak menambah nilai pada produk itu sendiri tetapi menambah risiko kerusakan, penundaan, dan biaya.
2. *Inventory* (Penyimpanan) adalah pemborosan akibat adanya kelebihan stok atau melebihi batas toleransi perusahaan pada material mentah, *Work-in-Process* (WIP), ataupun produk jadi. *Waste* ini juga dapat terjadi karena banyaknya persediaan yang dipesan oleh pemasok yang harus disimpan sebelum proses produksi.

3. *Motion* (Gerakan) merupakan gerakan yang dilakukan oleh teknisi maupun mesin yang tidak berkontribusi terhadap peningkatan nilai produk termasuk dalam kategori pemborosan. Pemborosan ini merujuk pada seluruh aktivitas kerja yang memerlukan usaha tambahan namun tidak menghasilkan nilai tambah bagi produk.
4. *Waiting* (Menunggu) adalah pemborosan yang terjadi ketika manusia (operator) atau material harus berhenti dan menunggu selesainya suatu proses, material, ataupun peralatan.
5. *Overproduction* (Produksi Berlebih) yakni pemborosan yang terjadi akibat produksi atau penyiapan material yang melebihi kebutuhan aktual. *Overproduction* secara langsung menciptakan pemborosan lainnya.
6. *Overprocessing* (Proses Berlebih) merupakan pemborosan yang terjadi ketika suatu proses dilakukan secara berlebihan atau terdapat langkah-langkah yang tidak perlu dalam proses produksi. Kondisi tersebut dapat menyebabkan peningkatan biaya serta memperpanjang waktu proses tanpa memberikan nilai tambah pada produk.
7. *Defects* (Cacat) merupakan salah satu pemborosan yang terjadi akibat produksi barang atau jasa yang salah atau material yang tidak memenuhi spesifikasi, sehingga memerlukan pengerjaan ulang, perbaikan, ataupun dibuang.

2.2.3. Sustainable Manufacturing

Sustainability merujuk pada kemampuan suatu sistem untuk mempertahankan fungsinya dalam jangka panjang dengan menyeimbangkan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi agar dapat bertahan tanpa menguras sumber daya atau merusak lingkungan secara permanen (Vina, 2023). Konsep *sustainability* memperkenalkan kerangka *triple bottom line* (TBL) yang menegaskan bahwa keberlanjutan harus mempertimbangkan tiga dimensi yakni dimensi ekonomi (*profit*), lingkungan (*planet*), dan sosial (*people*) dimana kerangka ini merupakan pondasi penting untuk memahami keberlanjutan di sektor industri dan manufaktur (Nadya, 2025).

Konsep *triple bottom line* (TBL) diperkenalkan oleh Elkington dan menjadi kerangka yang paling dominan untuk mendeskripsikan aspek-aspek keberlanjutan (Nur, Fajri, & Nur, 2023). Menurut Prasetyo (2018), aspek ekonomi berkaitan dengan bagaimana suatu proses atau kegiatan dapat menghasilkan keuntungan secara optimal dengan meminimalkan kerugian atau pemborosan yang terjadi, aspek sosial menekankan pada tanggung jawab organisasi terhadap masyarakat, khususnya dalam memastikan bahwa kegiatan operasional yang dilakukan dapat

berjalan secara efektif dan memberikan dampak positif bagi lingkungan sosial. Sementara itu, aspek lingkungan berfokus pada bagaimana organisasi menjalankan tanggung jawabnya dalam menjaga kelestarian lingkungan melalui pengelolaan aktivitas yang lebih ramah lingkungan.

Sustainable manufacturing merupakan konsep yang mengintegrasikan prinsip-prinsip keberlanjutan dalam seluruh aspek proses produksi. *Sustainable manufacturing* digunakan untuk menggambarkan praktik dalam proses manufaktur yang memastikan setiap tahapan produksinya tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan maupun masyarakat (Prasetyo & Purnawan, 2019). *Sustainable manufacturing* dapat diartikan sebagai pendekatan dalam proses produksi yang bertujuan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, menghemat penggunaan sumber daya, serta menghasilkan produk yang aman bagi pekerja, masyarakat, dan konsumen (Bridgenr, 2025).

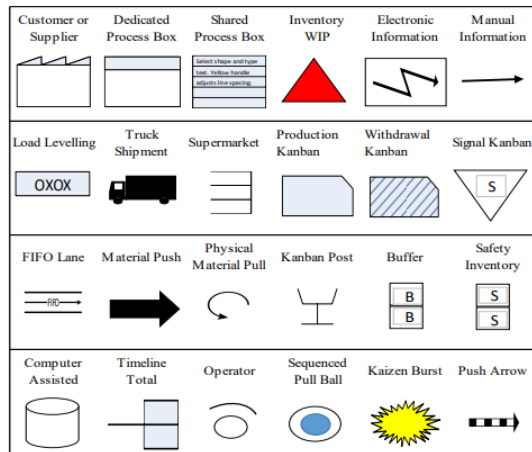
2.2.4. Value Stream Mapping

Value Stream Mapping (VSM) adalah salah satu alat dalam *lean manufacturing* yang berfungsi untuk menggambarkan aliran nilai, baik aliran material maupun informasi, mulai dari proses awal hingga menghasilkan produk akhir. *Value stream mapping* membantu memetakan kondisi aktual suatu proses secara menyeluruh dan aktivitas yang bernilai maupun tidak bernilai tambah, sehingga memudahkan identifikasi peluang perbaikan dan eliminasi pemborosan (Abdul, Vera, & Benedikta, 2017).

Value stream mapping berakar pada prinsip *lean* yang menekankan pengurangan *waste*, penurunan tingkat persediaan dan biaya operasional, peningkatan kualitas produk, serta peningkatan produktivitas dan kenyamanan kerja (Yassyr, 2019). *Value stream mapping* terdiri dari dua tipe, antara lain:

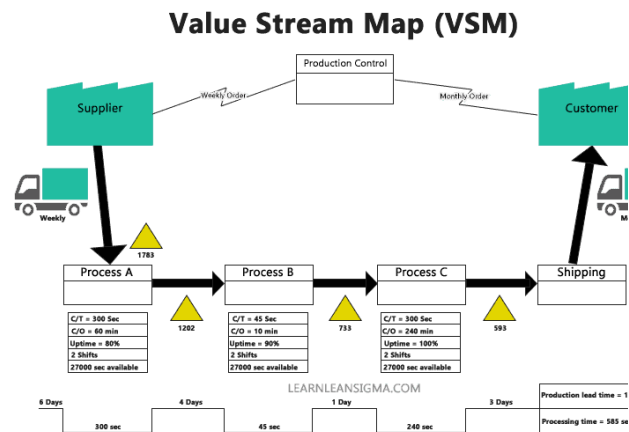
1. *Current State Mapping* merupakan representasi visual yang menunjukkan aliran material dan informasi pada kondisi proses produksi yang sedang berjalan. Peta ini disusun untuk membantu mengidentifikasi berbagai bentuk pemborosan serta titik-titik dalam proses yang memerlukan perbaikan.
2. *Future State Mapping* adalah peta yang menggambarkan bagaimana aliran material dan informasi akan berlangsung setelah upaya perbaikan diterapkan. Peta ini memberikan gambaran proses yang telah dioptimalkan melalui pengurangan pemborosan dan peningkatan efisiensi operasional.

Peta nilai vsm merupakan representasi konseptual yang memvisualisasikan aliran proses produksi, termasuk durasi *cycle time* setiap aktivitas, jumlah persediaan, serta elemen pendukung lainnya seperti jumlah operator pada tiap tahapan. Pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 merupakan simbol-simbol beserta gambaran peta aliran nilai yang digunakan dalam pembuatan *value stream mapping*:



Gambar 2.1 Simbol *Value Stream Mapping*

sumber: <https://repository.unkris.ac.id/id/eprint/1221/1/Buku%20Ajar%20Value%20Stream%20Mapping%20%28VSM%292023.pdf>



Gambar 2.2 *Value Stream Mapping*
sumber:

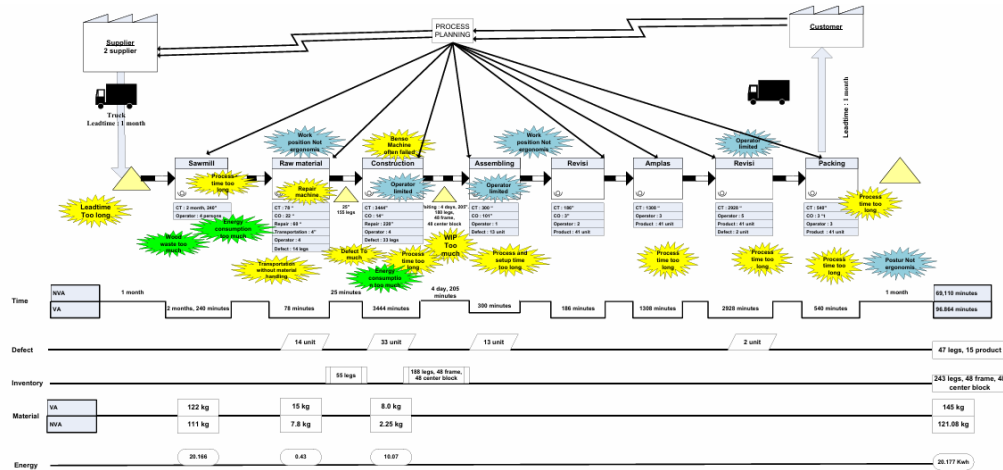
<https://www.learnleansigma.com/process-mapping/value-stream-mapping-vsm/>

2.2.5. Sustainable Value Stream Mapping (SVSM)

Sustainable Value Stream Mapping (SVSM) merupakan pengembangan dari metode *value stream mapping* konvensional yang tidak hanya berfokus pada metrik tradisional dalam proses produksi, tetapi juga mengintegrasikan indikator keberlanjutan. Indikator dalam *sustainable value stream mapping* mencakup tiga aspek utama yaitu aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial. Metode VSM konvensional hanya berfokus pada proses internal seperti waktu, *lead time*, *cycle time*, sehingga penelitian telah menunjukkan keterbatasannya dalam menangkap dampak lingkungan dan sosial secara memadai (Firdaus & Sri, 2022).

Sustainable value stream mapping digunakan untuk memvisualisasikan seluruh rangkaian proses produksi, mengidentifikasi aliran material dan informasi, serta menganalisis dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi dari setiap aktivitas yang dilakukan. Metode ini membantu

perusahaan dalam menemukan berbagai bentuk pemborosan, mengevaluasi kinerja keberlanjutan, serta memberikan rekomendasi perbaikan (Faulkner & Badurdeen, 2014). Perbaikan tersebut tidak hanya berfokus pada peningkatan efisiensi produksi, tetapi juga bertujuan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Gambar 2.3 merupakan contoh *sustainable value stream mapping*.



Gambar 2.3 *Sustainable Value Stream Mapping*

Sumber: (Sri, Udisubakti, Maria, Sriyanto, & Darminto, 2018)

2.2.6. Dimensi *Sustainability* pada SVSM

Dalam penyusunan *sustainable value stream mapping*, diperlukan tiga dimensi utama yakni dimensi ekonomi, lingkungan, dan sosial. Ketiga dimensi tersebut digunakan untuk menilai ukuran kinerja perusahaan dari berbagai aspek keberlanjutan (Adam, Joseph, & Fazleena, 2014). Gambar 2.4 merupakan indikator yang digunakan pada setiap dimensi dalam *sustainable value stream mapping* oleh penelitian Sri, Udisubakti, Maria, Sriyanto, & Darminto (2018).

Initial metrics from lean and sustainable manufacturing	Selected metrics
Metrics in value stream mapping for ensure sustainable manufacturing [29] : Economic : time , work in process, cost, defect Environment : CO2 emission, energy consumption, hazard waste, material waste , Packaging waste, waste metal container, water waste, food waste, material consumption, water consumption Social : Biodiversity, number of man hour, environment healty safety, absence day, physical load index, noise, local community, sickness rate, employee training, hazard material	Economic : time, work in process, cost, product defect Environment : energy consumption, material waste and consumption Social : environment health & safety, physical load index, sickness rate, Employee training, hazard material
Design of metrics in sustainable-value stream mapping for furniture company based on lean and sustainable manufacturing	Economic : time, work in process, cost, product defect Environment : energy consumption, material waste and material consumption, recycling of waste Social : health rate of employee, safety rate of employee, satisfaction rate of employee, training of employee

Gambar 2.4 *Sustainable Metric*

Sumber: (Sri, Udisubakti, Maria, Sriyanto, & Darminto, 2018)

Dalam penelitian ini, pengukuran *sustainable* dilakukan pada tiga dimensi utama sesuai dengan kerangka *triple bottom line* (TBL). Pemilihan indikator pada setiap dimensi berdasarkan pertimbangan ilmiah, relevansi terhadap manufaktur yang diteliti, serta ketersediaan data yang dapat dikumpulkan di lapangan. Tabel 2.2 adalah indikator yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 2.2 Indikator *Sustainability*

Dimensi	Indikator
Ekonomi	<i>Process Cycle Efficiency</i> (PCE)
Lingkungan	<i>Thermal Substitution Rate</i> (TSR), Konsumsi Energi, Emisi CO
Sosial	<i>Physical Load Index</i> (PLI), Kondisi Lingkungan Kerja (Kebisingan dan Intensitas Debu), Risiko Kerja, Tingkat Kesehatan Pekerja

2.2.6.1. Dimensi Ekonomi

Dimensi ekonomi mencakup kemampuan proses produksi untuk menciptakan nilai ekonomi secara efisien dan berkelanjutan. Dalam *lean manufacturing*, keberlanjutan ekonomi diwujudkan melalui identifikasi dan eliminasi pemborosan (*waste*) dalam proses produksi yang secara langsung meningkatkan efisiensi ekonomi proses produksi (Elvira, Kun, & Ratu, 2025).

Indikator yang digunakan pada dimensi ini yakni waktu dengan menggunakan *tools process cycle efficiency* (PCE). *Process cycle efficiency* (PCE) merupakan salah satu indikator dalam *lean manufacturing* untuk mengukur seberapa efisien suatu proses dalam mengkonversi input menjadi output yang bernilai bagi pelanggan (Aldi, Farida, & Wahyuda, 2025). Penelitian oleh Jonny (2022) membuktikan dalam studinya pada industri manufaktur bahwa peningkatan PCE sebesar 14% berkorelasi dengan pengurangan biaya produk sekitar 44%. Peningkatan PCE ini berhasil mengurangi waktu aktivitas *non-value-added* seperti waktu menganggur dan waktu tunggu, yang secara langsung berkontribusi pada penurunan biaya overhead, biaya tenaga kerja tidak produktif, serta biaya penyimpanan barang dalam proses (WIP). Kenaikan PCE secara langsung mencerminkan peningkatan nilai ekonomi yang diciptakan per satuan sumber daya yang digunakan.

Dalam konteks *sustainable manufacturing*, efisiensi proses bukan hanya berdampak pada dimensi ekonomi tetapi juga pada dimensi lingkungan dan sosial. Proses dengan nilai PCE yang rendah menunjukkan proses belum efisien, sehingga penggunaan energi dan material menjadi lebih besar untuk menghasilkan satu produk. Kondisi ini dapat meningkatkan dampak lingkungan dan menambah beban kerja yang tidak diperlukan bagi pekerja. Oleh karena itu,

PCE digunakan sebagai metrik yang menghubungkan efisiensi ekonomi dengan keberlanjutan secara keseluruhan (Sri, Udisubakti, Maria, Sriyanto, & Darminto, 2018). Berikut rumus dalam menghitung *proses cycle efficiency* (PCE):

$$\text{Process Cycle Efficiency} = \frac{\text{Value Added}}{\text{Total Lead Time}} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

2.2.6.2. Dimensi Lingkungan

Dimensi lingkungan merupakan kumpulan indikator yang digunakan untuk memetakan dan mengukur penggunaan sumber daya serta emisi atau limbah lingkungan pada setiap tahapan aliran nilai, sehingga dampak lingkungan dari proses dapat divisualisasikan dan dihubungkan langsung dengan aktivitas proses (Faulkner & Badurdeen, 2014).

Dalam *sustainable manufacturing*, dimensi lingkungan berfokus pada minimasi dampak negatif aktivitas produksi terhadap ekosistem dan sumber daya alam. Indikator lingkungan biasanya berupa konsumsi air, konsumsi material, emisi, penggunaan energi, *hazard waste*, dan *food waste* sesuai dengan penelitian oleh Sri et al (2018). Dalam penelitian ini, indikator yang digunakan adalah sebagai berikut:

1) *Thermal Substitution Rate*

Thermal Substitution Rate (TSR) adalah presentase rasio (%) yang digunakan untuk mengukur sejauh mana bahan bakar konvensional dalam proses produksi dapat disubstitusi atau digantikan oleh sumber energi alternatif atau bahan bakar dari limbah (Indra & Solikin, 2024). Dalam industri semen, *thermal substitution rate* (TSR) menjadi indikator standar yang dimonitor oleh *Global Cement and Concrete Association* (GCCA) dan direkomendasikan oleh IEA (*International Energy Agency*) sebagai salah satu metrik kunci transisi energi di sektor industri berat. Nilai TSR yang tinggi mengindikasikan keberhasilan perusahaan dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan memanfaatkan limbah sebagai sumber energi. Nilai capaian *thermal substitution rate* di setiap perusahaan industri semen memiliki kebijakan dan target TSR yang berbeda-beda. Pada penelitian Indra & Solikin (2024), capaian *thermal substitusi rate* (TSR) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$TSR = \frac{En_{afr}}{En_{afr} + En_{coal}} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

$$En_{afr} = \sum (NCV_{afr} \times BB_{afr}) \dots\dots\dots(3)$$

$$En_{coal} = \sum (NCV_{coal} \times BB_{coal}) \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

- Enafr = Energi Total *Alternative Fuel & Raw Material* (kcal)
 Encoal = Energi Total *Coal* (kcal)
 NVCafr = *Net Calory Value Alternative Fuel & Raw Material* (kcal/ton)
 BBafr = Bahan Bakar *Alternative Fuel & Raw Material* (ton)
 NCVcoal = *Net Calory Value coal* (kcal/ton)
 BBcoal = Bahan Bakar *Coal* (ton)

2) Konsumsi Energi

Konsumsi energi adalah total penggunaan energi yang digunakan oleh proses manufaktur untuk seluruh sistem produksi dalam periode tertentu (Lanto, Yasin, Irawaty, Nova, & Amirudin, 2024). Indikator ini biasanya dinyatakan dalam satuan kWh, MJ, atau GJ, baik secara total maupun per unit output produksi. Konsumsi energi dipilih karena memiliki berhubungan erat biaya operasional produksi. Indikator ini digunakan untuk menunjukkan besarnya energi yang dikonsumsi pada setiap tahapan proses produksi, serta energi yang digunakan selama kegiatan transportasi maupun penyimpanan.

3) Emisi Karbon Monoksida (CO)

Emisi CO merupakan salah satu parameter penting dalam evaluasi pencemaran udara industri dan banyak digunakan dalam pemantauan emisi operasional karena berkaitan langsung dengan dampak lingkungan lokal dan kesehatan. Emisi karbon monoksida (CO) umumnya berasal dari emisi langsung yang dihasilkan akibat proses pembakaran tidak sempurna bahan bakar di fasilitas produksi (Fairuz & Nazwa, 2024). Emisi ini muncul ketika proses pembakaran berlangsung dengan suplai oksigen yang tidak optimal atau efisiensi pembakaran yang rendah, sehingga menghasilkan gas CO sebagai salah satu polutan udara utama pada aktivitas industri.

2.2.6.3. Dimensi Sosial

Dimensi sosial merupakan sekumpulan indikator yang menggambarkan dan menilai dampak proses terhadap manusia dan masyarakat di sepanjang *value stream* (Hamed, et al., 2019). Dimensi ini mempertimbangkan semua pihak yang terlibat dalam proses produksi, terutama karyawan sebagai pihak yang paling terdampak. Dalam mengevaluasi dimensi sosial, risiko yang berkaitan dengan kesehatan dan keselamatan kerja karyawan perlu diukur dan dipantau

secara berkala. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi kerja serta tingkat keselamatan karyawan, sekaligus menjadi dasar untuk menentukan apakah diperlukan analisis lebih lanjut terhadap permasalahan yang ada (Faulkner & Badurdeen, 2014).

Dimensi sosial juga berfokus pada kesejahteraan karyawan, keselamatan kerja, serta dampak sosial dari aktivitas perusahaan terhadap masyarakat di sekitar lingkungan kerja. Perusahaan perlu menyediakan lingkungan kerja yang aman, nyaman, dan layak bagi karyawan. Lingkungan kerja yang baik dapat membantu mengurangi risiko kecelakaan kerja serta meningkatkan semangat dan produktivitas karyawan. Terdapat beberapa indikator yang digunakan pada penelitian ini, antara lain:

1) Absensi Pekerja

Salah satu indikator keberlanjutan pada dimensi sosial adalah tingkat kesehatan karyawan yang diukur berdasarkan data absensi pekerja. Jika terdapat karyawan yang tidak hadir karena sakit, hal tersebut dapat menyebabkan ketidakseimbangan pada lini produksi. Kondisi ini berpotensi membuat proses produksi tidak berjalan secara optimal dan dapat berdampak pada tidak tercapainya target produksi perusahaan (Firdaus & Sri, 2022). Perhitungan efisiensi kesehatan berdasarkan tingkat absensi karyawan dapat dilakukan menggunakan rumus yang dikutip oleh Firdaus & Sri (2022), yaitu sebagai berikut:

$$Ef. Kesehatan = \frac{Jumlah\ Karyawan - Jumlah\ Karyawan\ Tidak\ Hadir}{Jumlah\ Karyawan} \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

2) Beban Kerja (*Physical Load Index*)

Indikator beban kerja digunakan untuk mengidentifikasi dan menggambarkan kondisi ergonomi fisik yang terjadi di lingkungan kerja. Menurut Nuhaa (2020), indikator kerja fisik dalam *Sustainable Value Stream Mapping* (SVSM) berfungsi untuk mengidentifikasi aktivitas atau pekerjaan yang berpotensi menimbulkan risiko bagi pekerja, sehingga dapat dilakukan analisis lebih lanjut tanpa perlu langsung melakukan evaluasi ergonomi secara menyeluruh.

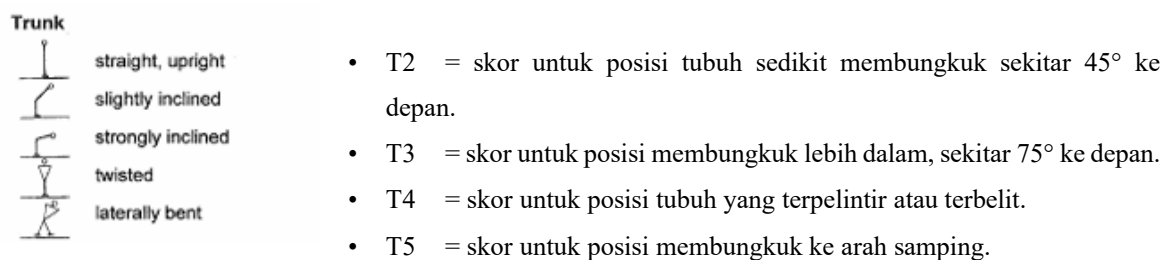
Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengukur indikator ergonomi, seperti *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA), *Rapid Entire Body Assessment* (REBA), *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), dan NASA-TLX. Meskipun berbagai metode ergonomi telah dikembangkan, penerapannya secara langsung dalam analisis SVSM dinilai kurang efisien. Sehingga, penelitian ini menggunakan pendekatan yang lebih sederhana yang diperkenalkan oleh

Hollman et al. (1999), yaitu metode *Physical Load Index* (PLI) karena lebih praktis serta mudah diterapkan dalam pemetaan SVSM.

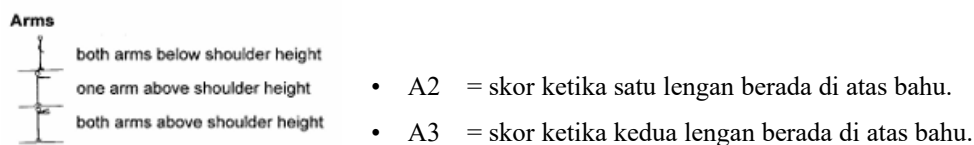
Metode *Physical Load Index* (PLI) merupakan indikator sederhana yang digunakan untuk mengevaluasi respons pekerja melalui kuesioner dengan mempertimbangkan frekuensi aktivitas atau postur tubuh tertentu, mulai dari kondisi yang jarang terjadi hingga yang paling sering dilakukan, serta tingkat beban kerja yang dialami. Penggunaan metode PLI dalam penelitian ini penting karena aktivitas *feeding* masih dilakukan secara manual oleh operator, sehingga berpotensi menimbulkan beban kerja fisik yang cukup tinggi. Dengan menggunakan PLI, kondisi beban kerja fisik pekerja dapat diidentifikasi secara lebih sederhana sehingga dapat diketahui potensi risiko ergonomi yang mungkin terjadi selama proses kerja. Berdasarkan penelitian oleh Hollmann et al. (1999), berikut rumus dalam menghitung beban PLI:

$$PLI = (0.974 \times T2) + (1.104 \times T3) + (0.068 \times T4) + (0.173 \times T5) + (0.157 \times A2) + (0.314 \times A3) + (0.405 \times L3) + (0.152 \times L4) + (0.152 \times L5) + (0.549 \times Wu1) + (1.098 \times Wu2) + (1.647 \times Wu3) + (1.777 \times Wi1) + (2.416 \times Wi2) + (3.056 \times Wi3) \dots \dots \dots (6)$$

Selain itu, gambar 2.5 hingga 2.9 di bawah ini merupakan keterangan yang menjadi dasar untuk menghitung rumus *physical load index*:



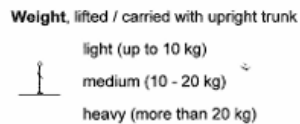
Gambar 2.5 PLI *Trunk*



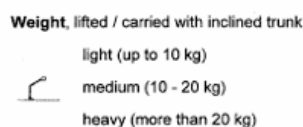
Gambar 2.6 PLI *Arms*

Gambar 2.7 PLI *Legs*

- L3 = skor untuk posisi jongkok dengan sudut sekitar 15° ke depan.
- L4 = skor untuk posisi berlutut, baik menggunakan satu maupun dua kaki.
- L5 = skor untuk aktivitas berjalan atau berpindah tempat.

Gambar 2.8 PLI *Weight I*

- Wu1= skor untuk aktivitas mengangkat atau membawa beban secara tegak lurus dengan berat kurang dari 10 kg.
- Wu2= skor untuk mengangkat atau membawa beban secara tegak lurus dengan berat antara 10–20 kg.
- Wu3= skor untuk mengangkat atau membawa beban secara tegak lurus dengan berat lebih dari 20 kg.

Gambar 2.9 PLI *Weight I*

- Wi1= skor untuk mengangkat atau membawa beban dalam posisi membungkuk dengan berat kurang dari 10 kg.
- Wi2= skor untuk mengangkat atau membawa beban dalam posisi membungkuk dengan berat 10–20 kg.
- Wi3= skor untuk mengangkat atau membawa beban dalam posisi membungkuk dengan berat lebih dari 20 kg.

Berdasarkan penelitian Hollman, Klimmer, Schmidt, & Kylian (1999), penentuan skor klasifikasi menggunakan skala 0 hingga 4, dimana 0 untuk tidak pernah, skala 1 untuk jarang, skala 2 kadang-kadang, skala 3 sering, dan skala 4 untuk sangat sering. Selain itu, hasil perhitungan PLI berada pada rentang 0 hingga 56 yang menunjukkan besarnya kontribusi beban kerja terhadap rata-rata pekerja pada setiap proses. Rentang nilai tersebut di bagi menjadi tiga kategori, ditunjukkan pada tabel 2.3 sebagai berikut:

Tabel 2.3 Kategori *Physical Load Index*

Rentang Nilai	Kategori	Deskripsi
0-18	Beban relatif ringan	Tekanan yang diberikan memiliki pengaruh kecil terhadap tubuh pekerja
19-37	Beban rata-rata	Tekanan yang diberikan memiliki pengaruh sedang terhadap tubuh pekerja
38-56	Beban Berat	Tekanan yang diberikan memiliki pengaruh besar terhadap tubuh pekerja

Pada tabel di atas menunjukkan katerigori PLI semakin besar nilai *Physical Load Index* (PLI), maka semakin buruk penilaian terhadap beban kerja fisik pada suatu pekerjaan.

Sebaliknya, jika nilai PLI semakin rendah, maka kondisi beban kerja fisik pada pekerjaan tersebut dinilai semakin baik.

3) Kondisi Lingkungan Kerja

Indikator ini berfokus pada keselamatan dan kesehatan kerja (K3) dengan mengidentifikasi berbagai sumber potensi bahaya bagi pekerja seperti kebisingan, paparan debu atau bahan kimia berbahaya. Potensi bahaya tersebut perlu dianalisis agar risiko kecelakaan kerja dapat diminimalkan dan lingkungan kerja yang aman serta nyaman bagi pekerja dapat tercipta.

Tingkat kebisingan di lingkungan kerja merupakan faktor yang mempengaruhi kenyamanan serta keselamatan pekerja. Pada durasi kerja selama 8 jam, batas kebisingan yang masih dapat ditoleransi oleh manusia adalah sebesar 85 dBA, dimana tingkat risiko tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya kebisingan tetapi juga lamanya paparan yang diterima pekerja. Semakin tinggi tingkat kebisingan, maka semakin rendah pula toleransi pekerja terhadap lingkungan tersebut (Faulkner & Badurdeen, 2014). Selain itu, paparan debu di lingkungan kerja merupakan salah satu faktor risiko utama yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan, terutama pada sistem pernafasan. Debu industri umumnya terbentuk dari proses pemindahan material, penghancuran, penggilingan, maupun aktivitas *handling* bahan baku yang menghasilkan partikel halus di udara. Paparan debu yang berkelanjutan berkontribusi pada penurunan kualitas hidup pekerja dan peningkatan beban ekonomi akibat penyakit terkait debu.

4) Risiko Kerja

Penilaian risiko kerja merupakan proses sistematis untuk mengidentifikasi bahaya di tempat kerja, mengevaluasi kemungkinan dan keparahan konsekuensinya, dan menentukan tingkat risiko yang dihadapi pekerja (Anni, et al., 2024).

2.2.7. *Process Activity Mapping* (PAM)

Proses Activity Mapping (PAM) adalah teknik pemetaan yang berfokus pada analisis aktivitas-aktivitas mikro dalam suatu aliran proses, yang bertujuan untuk membedah total waktu proses menjadi komponen-komponen yang bernilai tambah dan yang tidak bernilai tambah (Kartika & Dony, 2019). *Process Activity Mapping* berfungsi memberikan fokus detail pada operasi tunggal seperti aktivitas yang dilakukan oleh satu operator atau satu mesin. Menurut Gabriel,

Irma, & Nurjanah (2024), setiap aktivitas dalam suatu proses dapat dikelompokkan ke dalam tiga kategori utama, yaitu:

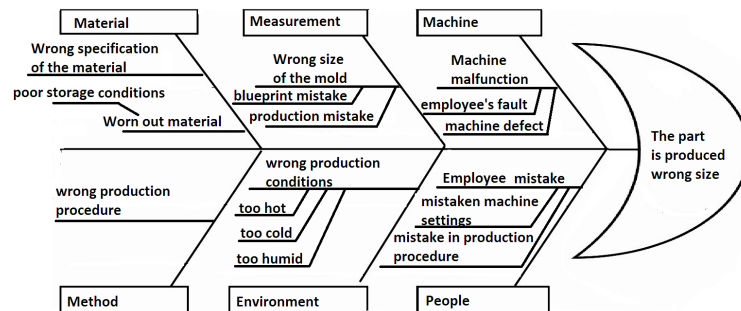
- a) *Value Added* (VA), yakni aktivitas yang secara langsung mengubah bahan mentah menjadi output yang memiliki nilai sesuai kebutuhan pelanggan.
- b) *Non-Value Added* (NVA), yaitu aktivitas yang tidak berkontribusi terhadap transformasi produk sehingga tidak memberikan nilai bagi pelanggan. Kegiatan-kegiatan ini dikategorikan sebagai pemborosan (*waste*), karena menghabiskan waktu, tenaga, dan biaya tanpa menghasilkan manfaat. Aktivitas yang tidak akan dibayar oleh pelanggan, seperti pemeriksaan bahan baku berulang, termasuk dalam kategori ini.
- c) *Necessary Non-Value Added* (NNVA), yaitu aktivitas yang tidak menambah nilai bagi pelanggan tetapi masih diperlukan agar proses dapat berjalan dengan kondisi sistem yang ada. Aktivitas semacam ini umumnya sulit dihilangkan dalam jangka pendek, namun berpotensi dikurangi atau dieliminasi jika dilakukan perubahan proses secara menyeluruh.

2.2.8. Fishbone Diagram

Fishbone diagram atau yang dikenal sebagai ishikawa diagram merupakan salah satu alat analisis dalam manajemen kualitas yang digunakan untuk mengidentifikasi, mengorganisasi, dan memvisualisasikan berbagai kemungkinan penyebab dari suatu permasalahan (Clarita, et al., 2025). *Fishbone diagram* ditunjukkan pada gambar 2.10, yang bertujuan untuk membantu mengidentifikasi akar penyebab dari terjadinya *waste*, sehingga perbaikan yang dilakukan dapat lebih tepat sasaran, efektif, dan berkelanjutan (Anastasia & Tuwanku, 2023). *Fishbone diagram* digunakan untuk mengelompokkan penyebab ke dalam beberapa kategori utama, sebagai berikut:

1. *Man*, faktor yang berkaitan dengan sumber daya manusia.
2. *Machine*, faktor yang berhubungan dengan peralatan, mesin, teknologi, serta kondisi infrastruktur pendukung dalam proses operasional.
3. *Method*, faktor yang berkaitan dengan prosedur kerja, standar operasional, serta cara atau metode yang diterapkan dalam menjalankan proses
4. *Material*, faktor yang berhubungan dengan bahan baku, komponen, maupun produk yang digunakan dalam proses produksi.

5. *Measurement*, faktor yang terkait dengan sistem pengukuran, metode evaluasi serta keakuratan alat ukur yang digunakan.
6. *Environment*, faktor terkait lingkungan kerja seperti layout dan kondisi area kerja.



Gambar 2.10 *Fishbone Diagram*

sumber: <https://www.leansixsigmadefinition.com/glossary/fishbone-diagram/>

2.2.9. 5W+1H

Metode 5W+1H merupakan teknik analisis yang digunakan untuk mengkaji suatu permasalahan secara sistematis melalui serangkaian pertanyaan dasar. Metode ini terdiri dari enam unsur utama, yaitu *what* (apa), *where* (di mana), *when* (kapan), *why* (mengapa), *who* (siapa), dan *how* (bagaimana). Keenam pertanyaan tersebut digunakan untuk menelusuri dan memahami sumber permasalahan yang telah teridentifikasi sehingga dapat ditemukan penyebab utamanya (Ana, Annisa, Lolyka, & Venus, 2021). Pendekatan 5W+1H sebagai berikut:

- a. *What* : Mengidentifikasi proses yang mengalami permasalahan
- b. *Where* : Menentukan lokasi/tahap proses penyebab timbulnya permasalahan tersebut.
- c. *When* : Menentukan waktu atau periode terjadinya permasalahan
- d. *Why* : Menganalisis faktor-faktor penyebab permasalahan
- e. *Who* : Mengidentifikasi pihak yang terlibat
- f. *How* : Merumuskan solusi untuk mengatasi permasalahan

Melalui pendekatan ini, peneliti dapat memperoleh gambaran yang lebih jelas mengenai kondisi permasalahan sehingga dapat merumuskan alternatif solusi yang tepat untuk mengatasinya. Dengan menggunakan analisis 5W+1H, proses identifikasi masalah dapat dilakukan secara lebih terstruktur karena setiap pertanyaan membantu menggali informasi terkait akar permasalahan. Sebelum menerapkan metode ini, diperlukan terlebih dahulu identifikasi awal terhadap faktor-faktor yang berpotensi menjadi penyebab masalah agar analisis yang dilakukan lebih terarah dan efektif (Fauzan & Ramadhan, 2023).

2.2.10. Kapasitas *Feeding Alternative Fuel* Terhadap Pencapaian *Thermal Substitution Rate* (TSR)

Kapasitas *feeding* atau pengumpanan *alternative fuel* merupakan kemampuan pengumpanan dalam menyalurkan bahan bakar alternatif seperti tongkol jagung, sekam padi, dan lain sebagainya ke calciner dalam jumlah tertentu per satuan waktu. Kapasitas pengumpanan menjadi parameter penting dalam proses produksi semen karena menentukan kontinuitas suplai AF dan mempengaruhi kestabilan proses pembakaran. Sistem *feeding* yang mampu bekerja secara kontinu dan stabil akan mendukung peningkatan pemanfaatan AF sebagai pengganti bahan bakar fosil (Indra & Solikin, 2024).

Dalam industri semen, penggunaan *alternative fuel* bertujuan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil sekaligus menurunkan emisi karbon dari proses produksi klinker. Penggunaan bahan bakar alternatif umumnya diukur menggunakan *thermal substitution rate* (TSR), yang merupakan capaian persentase energi panas yang dihasilkan oleh bahan bakar alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil dalam proses pembakaran pembuatan semen (Indra & Solikin, 2024). Semakin tinggi nilai TSR maka semakin besar kontribusi *alternative fuel* dalam menggantikan bahan bakar fosil sehingga emisi karbon dapat ditekan (Indra & Solikin, 2024).

Kapasitas pengumpanan bahan bakar alternatif memiliki hubungan langsung dengan pencapaian *thermal substitution rate* (TSR). Sistem *feeding* yang tidak optimal dapat menyebabkan suplai *alternative fuel* (AF) ke kiln menjadi tidak stabil sehingga jumlah energi panas yang dihasilkan dari *alternative fuel* (AF) menurun. Kondisi tersebut menyebabkan penggunaan bahan bakar fosil tetap tinggi dan target TSR sulit dicapai. Hal ini penting untuk memastikan aliran AF yang stabil, sehingga mendukung upaya peningkatan pemanfaatan AF sebagai substitusi energi panas dalam proses produksi semen. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kapasitas pengumpanan AF meliputi:

1. Kapasitas dan kondisi alat pengangkut serta alat *feeding*
2. Waktu siklus pengangkutan (*cycle time*)
3. *Downtime* mesin dan gangguan operasional
4. Karakteristik dan ketersediaan material AF
5. Koordinasi operator dan sistem kerja
6. Efisiensi aliran proses *feeding*

Berikut Tabel 2.4 merupakan rumus untuk menghitung besar kapasitas *feeding* AF, dilakukan dengan beberapa langkah sebagai berikut:

Tabel 2.4 Perhitungan Kapasitas *Feeding*

Keterangan	Rumus
Total shift perhari	3 (shift)
Kapasitas angkut persiklus (KAP)	0,3 (ton)
Jumlah alat	3 (unit)
<i>Available time</i> (Jam kerja pershift)	6 jam = 21600 (detik)
<i>Cycle time</i> (waktu siklus)	Total waktu produksi (detik)
Siklus <i>feeding</i>	$Siklus = \frac{Available\ time}{Cycle\ time} (cycle/shift)$
Kapasitas <i>feeding</i> pershift (KFP)	$KFP = Siklus\ feeding \times KAP\ (ton/shift)$
Kapasitas <i>feeding</i> perhari (KF)	$KF = KFP \times Jumlah\ alat \times Total\ shift\ perhari\ (ton/hari)$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah proses *feeding alternative fuel* pada Seksi Operasi Utilitas & AFR di PT Semen Gresik yang terletak di Desa Kajar, Gunem, Kabupaten Rembang, Jawa Tengah. Penelitian ini difokuskan pada identifikasi dan minimasi *waste* yang terjadi selama proses *feeding* AF, serta dampaknya terhadap kinerja keberlanjutan perusahaan yang mencakup dimensi ekonomi, lingkungan, dan sosial.

3.2. Jenis Data

Data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan dua jenis data yakni sebagai berikut:

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung oleh peneliti dari pihak yang berkaitan dengan objek penelitian. Data primer didapatkan melalui observasi lapangan, pengambilan kuesioner, dan wawancara dengan narasumber yang terlibat dalam proses *feeding alternative fuel*.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung yang diperoleh dari sumber tertulis seperti jurnal ilmiah, buku referensi, dokumen perusahaan, serta literatur lain yang relevan dengan penelitian.

3.3. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan aktivitas yang dilakukan untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan. Penelitian ini menggunakan beberapa metode pengumpulan data, antara lain:

1. Observasi

Observasi dilakukan melalui pengamatan langsung pada proses *feeding alternative fuel* untuk memahami alur proses dan kondisi lapangan. Observasi ini difokuskan pada pengamatan seluruh proses serta mengidentifikasi pemborosan yang terjadi.

2. Wawancara

Wawancara dilakukan dengan pihak-pihak terkait seperti operator lapangan dan supervisor untuk mendapatkan informasi mengenai kendala dalam operasional yang ada,

faktor penyebab terjadinya pemborosan, kondisi lingkungan kerja, serta konfirmasi terhadap temuan selama observasi lapangan.

3. Kuesioner

Kuesioner disebarakan kepada tenaga ahli (*expert*) yang terlibat langsung dalam proses *feeding* AF pada setiap tahapan proses. Terdapat dua kuesioner yakni kuesioner identifikasi *waste* untuk menilai tingkat kemunculan tujuh jenis *waste* dengan menggunakan skala 0–4, di mana nilai 0 berarti *waste* tidak pernah terjadi dan nilai 4 berarti *waste* sangat sering terjadi. Kemudian, kuesioner *physical load index* (PLI), yang digunakan untuk menilai beban kerja fisik operator berdasarkan frekuensi postur tubuh dan aktivitas pengangkatan yang dilakukan selama proses berlangsung.

4. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan meninjau dokumen internal perusahaan seperti laporan operasional, capaian TSR, konsumsi energi, lingkungan kerja, dan jurnal ilmiah yang berhubungan dengan *lean manufacturing* dan *Sustainable Value Stream Mapping* (SVSM) sebagai data pendukung penelitian.

3.4. Alur Penelitian

Alur penelitian dirancang sistematis untuk mencapai tujuan penelitian. Gambar 3.1 merupakan diagram alur keseluruhan pada penelitian ini. Berikut merupakan penjelasan dari setiap tahapan dalam alur penelitian ini:

1. Mulai

Penelitian dimulai dengan persiapan penelitian yang dilakukan di PT Semen Gresik khususnya pada Seksi Operasi Utilitas & AFR.

2. Observasi Lapangan dan Studi Literatur

Observasi dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap proses *feeding* AF di lapangan. Studi literatur dilakukan secara bersamaan untuk memperkuat pemahaman mengenai *lean manufacturing*, *Sustainable Value Stream Mapping* (SVSM), analisis *waste*, serta metrik keberlanjutan yang relevan.

3. Identifikasi Masalah

Melakukan identifikasi permasalahan yang terjadi dalam proses *feeding* AF.

4. Rumusan Masalah

Merumuskan masalah penelitian berdasarkan hasil identifikasi masalah yang terjadi di lapangan, meliputi kondisi kinerja keberlanjutan, jenis *waste* yang dominan, dampaknya terhadap keberlanjutan, serta usulan perbaikan.

5. Penentuan Tujuan, Manfaat, dan Batasan Masalah

Langkah selanjutnya, menentukan tujuan penelitian, manfaat yang diharapkan, serta batasan penelitian agar pembahasan tetap terfokus dan tidak terlalu luas.

6. Pengumpulan Data

Kemudian dilakukan pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer dilakukan dengan cara observasi, wawancara, dan kuesioner. Data yang dikumpulkan berupa alur proses, waktu proses melalui *time study* dengan *stopwatch* sebanyak 10 kali pengamatan disetiap aktivitas, history kapasitas *feeding*, jumlah tenaga kerja, kuesioner *waste*, kuesioner PLI, serta data sekunder berupa profil perusahaan, data lingkungan kerja seperti uji kebisingan, intensitas debu dan emisi, serta data operasional, dan studi literatur.

7. Pengolahan Data

Pada penelitian ini, terdapat beberapa tahapan dalam melakukan pengolahan data antara lain:

a. Uji Kecukupan

Melakukan pengujian kecukupan data dengan menggunakan data waktu produksi yang telah diperoleh. Jumlah data hasil pengamatan dinyatakan dengan N dan dikumpulkan melalui 10 kali pengamatan. Apabila nilai $N' \leq N$, maka data dinyatakan mencukupi dan dapat dilanjutkan ke tahap analisis berikutnya. Namun, jika nilai $N' \geq N$, maka diperlukan evaluasi kembali terhadap proses pengumpulan data serta penambahan jumlah data pengamatan.

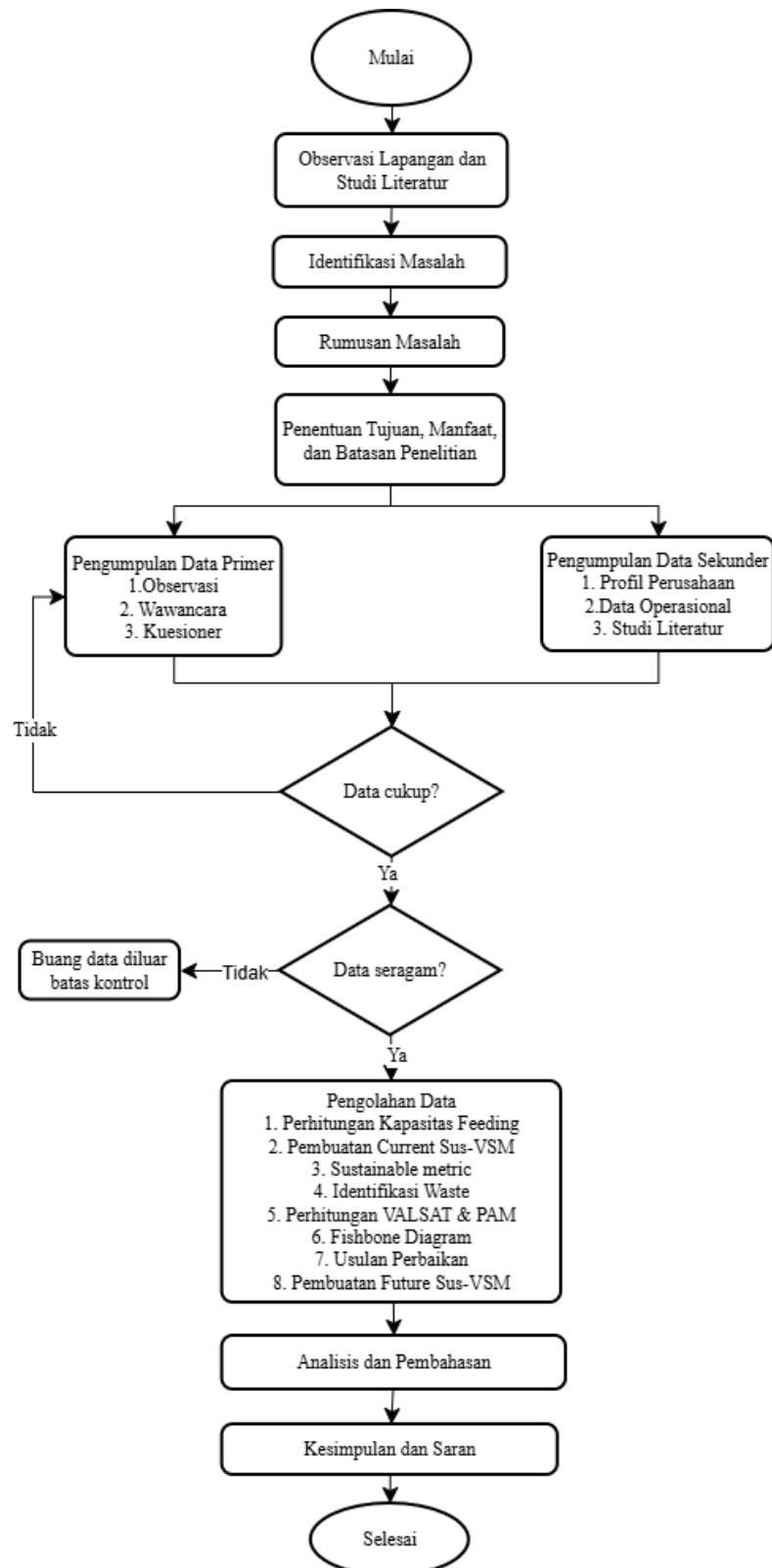
b. Uji Keseragaman

Setelah dilakukan pengujian data, selanjutnya adalah melakukan uji keseragaman data untuk memastikan bahwa data bersifat konsisten. Data dinyatakan seragam apabila seluruh nilai berada dalam rentang batas kontrol atas (BKA) dan batas kontrol bawah (BKB). Jika tidak seragam, data ditinjau ulang dan pengamatan tambahan dilakukan.

- c. Menghitung kapasitas *feeding current state*, dengan acuan waktu yang telah didapat dari hasil waktu siklus rata-rata, dan dihitung sesuai dengan perhitungan yang tertera pada 2.10 terkait kapasitas feeding.
- d. Membuat *Current State Sustainable Value Stream Mapping* berdasarkan data yang telah dikumpulkan seperti alur proses *feeding* AF, waktu proses, jumlah operator, kapasitas feeding, dengan mengintegrasikan metrik keberlanjutan seperti tsr, konsumsi energi, dan emisi co pada aspek lingkungan, dan PLI, data absensi, kondisi lingkungan kerja (intensitas debu dan kebisingan), dan risiko kerja pada aspek sosial.
- e. Pengukuran *sustainable metric* berdasarkan tiga dimensi keberlanjutan, yaitu:
 - 1. Dimensi ekonomi menggunakan Process Cycle Efficiency (PCE) untuk mengetahui efisiensi proses feeding. Di mana semakin tinggi nilai process cycle efficiency menunjukkan proses semakin efisien dikarenakan waste yang ada semakin kecil.
 - 2. Dimensi lingkungan digunakan untuk mengevaluasi dampak proses terhadap lingkungan, metrik yang digunakan yakni capaian Thermal Substitution Rate (TSR), konsumsi energi, dan emisi CO yang didapat dari data historis perusahaan satu tahun terakhir sejak penelitian berlangsung.
 - 3. Dimensi sosial untuk menilai aspek manusia dan keselamatan kerja. Metrik yang digunakan yakni menghitung nilai Physical Load Index (PLI) yang berasal dari kuesioner PLI, kondisi lingkungan kerja seperti kebisingan dan paparan debu, risiko kerja, dan tingkat kesehatan pekerja yang didapatkan dari data absensi pekerja.
- f. Mengidentifikasi waste dominan berdasarkan hasil rekapitulasi kuesioner waste yang telah disebarakan kepada masing-masing expert di setiap tahapan proses feeding alternative fuel, dengan menjumlahkan skor masing-masing jenis waste pada setiap aktivitas produksi untuk mengetahui waste yang paling dominan.
- g. Pembobotan menggunakan Value Stream Analysis Tools (VALSAT) untuk memilih detail mapping tool yang paling representatif dalam mengidentifikasi waste secara lebih mendalam.
- h. Process Activity Mapping (PAM) dilakukan untuk mengklasifikasikan seluruh aktivitas proses ke dalam kategori Value Added (VA), Necessary Non Value Added

(NNVA), dan Non Value Added (NVA) untuk mengidentifikasi aktivitas pemborosan dan menentukan peluang perbaikan proses.

- i. Menganalisis penyebab waste menggunakan fishbone diagram untuk mengidentifikasi akar penyebab dari setiap jenis waste yang dominan berdasarkan kategori man, machine, method, material, measurement, dan environment.
 - j. Penyusunan usulan perbaikan menggunakan metode 5W+1H sebagai rencana tindakan perbaikan operasional untuk masing-masing penyebab.
 - k. Membuat Future Process Activity Mapping dan Future State Sustainable Value Stream Mapping berdasarkan usulan perbaikan yang menggambarkan kondisi proses setelah perbaikan diterapkan.
8. Analisis dan Pembahasan
- Menganalisis hasil pengolahan data dan membahas kondisi aktual serta usulan perbaikan proses *feeding* AF ditinjau dari aspek *waste* dan kinerja keberlanjutan.
9. Kesimpulan dan saran
- Menarik kesimpulan berdasarkan seluruh hasil penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya.
10. Selesai



Gambar 3.1 Alur Penelitian

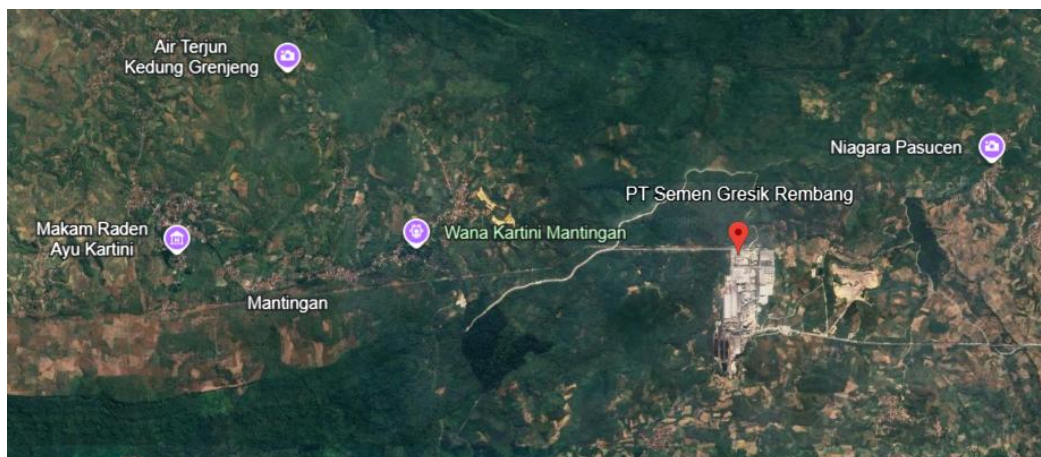
BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Pengumpulan Data

4.1.1. Profil Perusahaan

PT Semen Gresik merupakan perusahaan yang bergerak dalam industri semen dan merupakan unit operasional dari PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. PT Semen Gresik berfokus pada kegiatan produksi semen untuk memenuhi kebutuhan pasar regional dan nasional dengan kapasitas produksi sebesar 3 juta ton/tahun. Perusahaan ini berlokasi di Desa Kajar, Kecamatan Gunem, Kabupaten Rembang, Jawa Tengah, dan berdiri pada tanggal 10 Januari 2014. PT Semen Gresik menerapkan sistem *make to stock* dengan didukung oleh sistem produksi yang berorientasi pada efisiensi dan keberlanjutan. Salah satu upaya yang dilakukan perusahaan dalam mendukung konsep keberlanjutan adalah pemanfaatan *Alternative Fuel and Raw Material* (AFR) sebagai bagian dari proses produksi. Penggunaan AFR memerlukan pengelolaan proses yang baik agar operasional berjalan efektif, aman, dan ramah lingkungan. Gambar 4.1 merupakan denah lokasi penelitian, sebagai berikut:



Gambar 4.1 Lokasi PT Semen Gresik

4.1.2. Bahan Bakar Alternatif

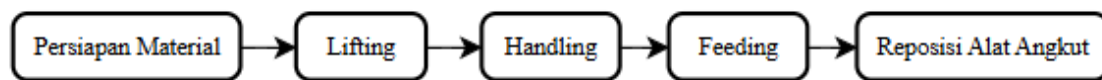
Bahan bakar alternatif atau *alternative fuel* (AF) merupakan bahan bakar non-konvensional yang digunakan untuk menggantikan bahan bakar fosil dalam proses pembakaran kiln. Bahan bakar alternatif yang digunakan dalam proses *feeding* atau pengumpanan, antara lain:

1. Sekam padi
2. Tongkol jagung

3. *Refuse Derived Fuel* (RDF)
4. Limbah Industri Non B3 (plastik, majun bekas, limbah kulit tas)
5. Limbah Industri B3 (limbah medis, slag, sludge, oli)

4.1.3. Proses *Feeding Alternative Fuel*

Proses *feeding alternative fuel* terdapat beberapa tahapan. Tahapan dimulai dari persiapan material AF hingga nantinya AF akan masuk menuju calciner untuk dilakukan pembakaran di kiln. Gambar 4.2 di bawah merupakan alur tahapan proses *feeding alternative fuel* pada PT Semen Gresik Rembang:



Gambar 4.2 Alur Proses *Feeding*

Berikut adalah penjelasan dari masing-masing proses:

1. Persiapan Material

Tahap persiapan material merupakan proses awal dalam rangkaian *feeding* AF. Pada tahap ini, operator mengambil jumbo bag dari area penyimpanan di lantai dasar. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan kondisi jumbo bag untuk memastikan tidak terdapat kerusakan. Material kemudian dirapikan di dalam jumbo bag agar distribusi beban merata. Setelah itu, jumbo bag diikat dan diposisikan pada area angkut untuk siap dilakukan proses pengangkatan.

2. *Lifting*

Pada tahap *lifting*, jumbo bag yang telah siap diangkat menggunakan *hoist crane* dari lantai dasar menuju *feeding point* di lantai 4. Aktivitas ini melibatkan pemindahan material dari posisi awal ke posisi yang lebih tinggi atau ke wadah tertentu, seperti hopper.

3. *Handling*

Handling merupakan proses pemindahan material AF setelah dilakukan *lifting*. Pada tahap ini, material AF dipindahkan menuju titik *feeding* dengan menggunakan alat angkut, serta dilakukan penyesuaian posisi material agar sesuai dengan sistem *feeding*.

4. *Feeding*

Pada tahap *feeding*, AF dimasukkan ke dalam hopper dan dialirkan melalui sistem feeding menuju titik injeksi secara terkontrol sesuai kebutuhan proses..

5. Reposisi Alat Angkut

Tahap reposisi dilakukan dengan melepaskan jumbo bag kosong, mengembalikan alat angkut ke posisi awal, serta membersihkan area kerja untuk persiapan siklus berikutnya.

4.1.4. Aktivitas Produksi

Berdasarkan proses produksi yang telah dijelaskan di atas, tabel 4.1 merupakan rincian aktivitas-aktivitas yang dilakukan pada proses *feeding alternative fuel*:

Tabel 4.1 Aktivitas Produksi

Proses	Aktivitas Produksi	Jenis Aktivitas	Kode
Persiapan	Mengambil Jumbo bag	Manual	A1
Material	Memeriksa Kondisi Jumbo bag	Manual	A2
	Memasukkan material sak ke jumbo bag	Manual	A3
	Merapikan sak agar maksimal	Manual	A4
	Memasukkan material sak ke jumbo bag	Manual	A5
	hingga penuh		
	Memindahkan jumbo bag ke area angkut	Manual	A6
	Mengaitkan Jumbo bag ke Alat Angkut	Manual	A7
<i>Lifting</i>	Mengangkat Material Jumbo bag ke feeding point	Mesin	B1
	Menunggu area handling kosong	Mesin	B2
	Penempatan Landing Area	Mesin	B3
<i>Handling</i>	Melepas Pengait Jumbo bag	Manual	C1
	Menunggu Feeding Ready	Manual	C2
	Mengaitkan Jumbo bag menuju Hopper	Manual	C3
	Penempatan jumbo bag ke Hopper	Mesin	C4
	Melepas Pengait Jumbo bag	Manual	C5
<i>Feeding</i>	Membuka sak Material	Manual	D1
	Memasukan material ke Hopper	Manual	D2
Reposisi	Pengumpulan sak	Manual	E1
Alat	Memasukkan sak ke jumbo bag	Manual	E2
Angkut	Mengembalikan hoist ke posisi awal	Mesin	E3

4.1.5. Data *Feeding Alternative Fuel*

Proses *feeding Alternative Fuel* (AF) dilakukan secara kontinu untuk mendukung kebutuhan operasional kiln. Aktivitas *feeding* menggunakan sistem *hopper* dan alat angkut dengan pola kerja tiga shift dalam satu hari. Tabel 4.2 merupakan data historis proses *feeding* AF pada 4 bulan terakhir selama penelitian berlangsung:

Tabel 4.2 Histori Data *Feeding*

Bulan	Total	Rata-rata/hari	Satuan
Oktober	604,6	20,15	Ton
November	220,9	7,36	Ton
Desember	927,5	30,91	Ton
Januari	587,5	19,58	Ton

4.1.6. Data Sumber Daya dan Peralatan

Dalam proses produksi *feeding* AF dibantu dengan sumber daya manusia serta beberapa peralatan yang digunakan. Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 merupakan jumlah tenaga kerja pada proses *feeding alternative fuel*:

Tabel 4.3 Data Peralatan

No	Peralatan	Jumlah	Kapasitas
1	Alat angkut	3	5 ton
2	Jumbo Bag	3	100 kg

Tabel 4.4 Jumlah Tenaga Kerja

No	Proses	Jumlah Tenaga Kerja
1	Persiapan Material	2
2	<i>Lifting</i>	1
3	<i>Handling</i>	2
4	<i>Feeding</i>	2
5	Reposisi Alat Angkut	1

4.1.7. Data Waktu Kerja

Proses *feeding* AF dilaksanakan selama 24 jam penuh dengan sistem kerja tiga *shift*, yaitu shift pagi, shift sore, dan shift malam. Setiap *shift* memiliki durasi kerja selama 8 jam, termasuk waktu istirahat selama 2 jam. Dengan demikian, waktu kerja efektif pada masing-masing shift

adalah sebesar 6 jam. Berikut Tabel 4.5 merupakan data waktu kerja selama proses *feeding* berlangsung:

Tabel 4.5 Data Waktu Kerja

No	Proses Produksi	Available Time (s)
1	Persiapan Material	21600
2	<i>Handling</i>	21600
3	<i>Lifting</i>	21600
4	<i>Feeding</i>	21600
5	Reposisi Alat angkut	21600

4.1.8. Data Waktu Produksi

Pengumpulan data waktu proses produksi dilakukan menggunakan metode *time study* dengan alat bantu *stopwatch* sebanyak 10 kali pengamatan pada tiap proses, hasil waktu yang digunakan merupakan hasil rata-rata dari 10 kali pengamatan masing-masing proses. Tabel 4.6 merupakan data waktu proses yang didapatkan:

Tabel 4.6 Data Waktu Produksi

Kode	Watu Proses tiap Aktivitas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	19	18	22	21	23	22	21	20	22	21
A2	15	14	16	15	17	16	15	14	16	15
A3	210	200	205	215	220	210	208	212	218	205
A4	40	38	42	45	39	41	40	43	44	39
A5	90	85	88	92	95	90	87	93	91	89
A6	15	14	16	15	17	16	15	14	16	15
A7	40	38	42	41	39	40	43	44	41	39
B1	420	410	415	425	430	420	418	422	428	415
B2	60	58	62	65	59	61	60	63	64	59
B3	10	10	11	10	12	11	10	9	11	10
C1	15	14	16	15	17	16	15	14	16	15

Tabel 4.6 Lanjutan Data Waktu Produksi

Kode	Watu Proses tiap Aktivitas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C2	120	115	118	122	125	120	117	123	124	119
C3	20	19	22	21	19	20	23	18	21	19
C4	10	9	11	10	12	11	10	11	11	10
C5	15	14	16	15	17	16	15	14	16	15
D1	30	28	32	31	29	30	33	34	31	29
D2	320	310	315	325	330	320	318	322	328	315
E1	10	10	11	10	12	11	10	11	11	10
E2	10	12	11	10	12	11	10	10	11	10
E3	420	410	415	425	430	420	418	422	428	415

4.2. Pengolahan Data

4.2.1. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data waktu aktivitas produksi yang digunakan dalam penelitian mengikuti distribusi normal atau tidak. Jumlah sampel pada setiap aktivitas sebanyak 10 pengamatan ($n < 50$), metode yang digunakan adalah uji Shapiro-Wilk karena lebih sesuai untuk ukuran sampel kecil. Kriteria pengambilan keputusan adalah apabila nilai signifikansi (Sig.) $\geq 0,05$ maka data berdistribusi normal, sedangkan apabila nilai signifikansi $\leq 0,05$ maka data tidak berdistribusi normal. Hasil pengujian normalitas untuk setiap aktivitas proses feeding AF disajikan pada Gambar 4.3.

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
A1	.226	10	.158	.929	10	.441
A2	.224	10	.168	.911	10	.287
A3	.119	10	.200 [*]	.977	10	.945
A4	.182	10	.200 [*]	.947	10	.630
A5	.100	10	.200 [*]	.996	10	1.000
A6	.224	10	.168	.911	10	.287
A7	.145	10	.200 [*]	.964	10	.835
B1	.119	10	.200 [*]	.977	10	.945
B2	.182	10	.200 [*]	.947	10	.630
B3	.282	10	.023	.890	10	.172
C1	.224	10	.168	.911	10	.287
C2	.137	10	.200 [*]	.976	10	.939
C3	.181	10	.200 [*]	.950	10	.668
C4	.222	10	.178	.906	10	.258
C5	.224	10	.168	.911	10	.287
D1	.145	10	.200 [*]	.964	10	.835
D2	.119	10	.200 [*]	.977	10	.945
E1	.305	10	.009	.781	10	.008
E2	.302	10	.010	.781	10	.008
E3	.119	10	.200 [*]	.977	10	.945

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Gambar 4.3 Hasil Uji Normalitas

Berdasarkan hasil uji normalitas pada Gambar 4.3 di atas, diketahui bahwa sebagian besar aktivitas memiliki nilai signifikansi (Sig.) $\geq$ dari 0,05 sehingga dapat dinyatakan berdistribusi normal. Dari total 20 aktivitas yang diuji, terdapat 18 aktivitas yang berdistribusi normal dan 2 aktivitas yang tidak berdistribusi normal, yaitu aktivitas E1 dan E2 dengan nilai signifikansi sebesar 0,008. Ketidaknormalan ini diduga disebabkan oleh rentang data yang sangat sempit dan nilai pengamatan yang hanya terdiri atas beberapa kategori waktu. Namun demikian, data tetap dapat digunakan dalam perhitungan waktu baku karena tidak ditemukan outlier yang signifikan dan data merepresentasikan kondisi aktual proses di lapangan (Gallwey, 1992). Selain itu, metode *stopwatch time study* pada asumsi normalitas bukan merupakan persyaratan utama (Sianturi, 2025). Pengukuran kerja lebih menekankan pada keseragaman dan kecukupan data pengamatan untuk memastikan bahwa waktu yang diperoleh merepresentasikan kondisi kerja yang sebenarnya (Rizqi, Andhyka, & Anjas, 2023). Hasil ini menunjukkan bahwa data pengamatan yang digunakan cukup representatif untuk menggambarkan kondisi aktual proses *feeding alternative fuel*.

4.2.2. Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data bertujuan untuk memastikan apakah data yang telah dikumpulkan sudah mencukupi dan mampu merepresentasikan populasi yang diteliti. Data dinyatakan cukup

apabila memenuhi kondisi $N' \leq N$. Adapun rumus yang digunakan dalam uji kecukupan data adalah sebagai berikut:

$$N' = \left[\frac{k/s \sqrt{N \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right]^2 \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

N' = Jumlah data teoritis

k = Tingkat kepercayaan ($95\% \approx 2$)

s = Tingkat ketelitian

N = Jumlah data yang diamati

x = Data pengamatan

Berikut tertera pada Tabel 4.7 merupakan perhitungan dan hasil dari uji kecukupan data:

Watu Proses tiap Aktivitas						
Kode	N	$\sum Xi$	$\sum Xi^2$	$\sum (Xi)^2$	N'	Hasil
A1	10	209	4389	43681	7,655502	Cukup
A2	10	153	2349	23409	5,536332	Cukup
A3	10	2103	442607	4422609	1,252112	Cukup
A4	10	411	16941	168921	4,631751	Cukup
A5	10	900	81078	810000	1,540741	Cukup
A6	10	153	2349	23409	5,536332	Cukup
A7	10	407	16597	165649	3,100532	Cukup
B1	10	4203	1766867	17665209	0,313475	Cukup
B2	10	611	37381	373321	2,095784	Cukup
B3	10	104	1088	10816	9,467456	Cukup
C1	10	153	2349	23409	5,536332	Cukup
C2	10	1203	144813	1447209	1,018236	Cukup
C3	10	202	4102	40804	8,469758	Cukup
C4	10	105	1109	11025	9,433107	Cukup
C5	10	153	2349	23409	5,536332	Cukup
D1	10	307	9457	94249	5,449395	Cukup
D2	10	3203	1026267	10259209	0,539769	Cukup

Tabel 4.7 Lanjutan Uji Kecukupan Data

Watu Proses tiap Aktivitas						
Kode	N	$\sum Xi$	$\sum Xi^2$	$\sum (Xi)^2$	N'	Hasil
E1	10	106	1128	11236	6,265575	Cukup
E2	10	107	1151	11449	8,524762	Cukup
E3	10	4203	1766867	17665209	0,313475	Cukup

Hasil uji kecukupan data menunjukkan bahwa semua aktivitas proses memiliki nilai $N' \leq N$ (10). Sehingga dari hasil uji kecukupan data tersebut dapat diketahui bahwa data yang diambil cukup dijadikan waktu proses.

4.2.3. Uji Keseragaman Data

Uji keseragaman data dilakukan untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan bersifat konsisten dan berasal dari pengamatan yang sama. Data dinyatakan seragam apabila seluruh nilai berada dalam rentang Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB). Adapun rumus yang digunakan dalam uji keseragaman data adalah sebagai berikut:

$$BKA = \bar{x} + k\sigma \dots\dots\dots(8)$$

$$BKB = \bar{x} - k\sigma \dots\dots\dots(9)$$

$$\text{Standar Deviasi } (\sigma) = \sqrt{\frac{\sum (x-xi)^2}{N-1}} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

- BKA = Batas Kontrol Atas
- BKB = Batas Kontrol Bawah
- σ = Standar Deviasi
- $\bar{x}$ = Rata-rata
- k = Tingkat kepercayaan (95% $\approx$ 2)

Pada Tabel 4.8 merupakan hasil dari perhitungan uji keseragaman data yang telah dilakukan:

Tabel 4.8 Uji Keseragaman Data

Kode	Jumlah	Rata-rata	Standar Deviasi	BKA	BKB	Hasil
A1	209	20,9	1,523884	23,95	17,85	Seragam
A2	153	15,3	0,948683	17,20	13,40	Seragam

Tabel 4.8 Lanjutan Uji Keseragaman Data

Kode	Jumlah	Rata-rata	Standar Deviasi	BKA	BKB	Hasil
A3	2103	210,3	6,201254	222,70	197,90	Seragam
A4	411	41,1	2,330951	45,76	36,44	Seragam
A5	900	90	2,94392	95,89	84,11	Seragam
A6	153	15,3	0,948683	17,20	13,40	Seragam
A7	407	40,7	1,888562	44,48	36,92	Seragam
B1	4203	420,3	6,201254	432,70	407,90	Seragam
B2	611	61,1	2,330951	65,76	56,44	Seragam
B3	104	10,4	0,843274	12,09	8,71	Seragam
C1	153	15,3	0,948683	17,20	13,40	Seragam
C2	1203	120,3	3,198958	126,70	113,90	Seragam
C3	202	20,2	1,549193	23,30	17,10	Seragam
C4	105	10,5	0,849837	12,20	8,80	Seragam
C5	153	15,3	0,948683	17,20	13,40	Seragam
D1	307	30,7	1,888562	34,48	26,92	Seragam
D2	3203	320,3	6,201254	332,70	307,90	Seragam
E1	106	10,6	0,699206	12,00	9,20	Seragam
E2	107	10,7	0,823273	12,35	9,05	Seragam
E3	4203	420,3	6,201254	432,70	407,90	Seragam

Berdasarkan tabel tersebut, dapat diketahui bahwa data hasil pengamatan bersifat seragam dan seluruh nilai berada dalam batas kontrol yang ditetapkan. Sehingga, data tersebut dinyatakan valid dan selanjutnya digunakan sebagai waktu siklus.

4.2.4. Waktu Siklus dan Kapasitas Feeding

Setelah data proses *feeding alternatif fuel* memenuhi uji kecukupan dan uji keseragaman data, maka dilakukan perhitungan waktu siklus. Rincian waktu siklus setiap aktivitas produksi ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Waktu Siklus Produksi

No	Proses	Aktivitas Produksi	Jenis	Kode	Waktu
			Aktivitas	Aktivitas	Rata-rata
1	Persiapan Material	Mengambil Jumbo bag	Manual	A1	20,9
		Memeriksa Kondisi Jumbo bag	Manual	A2	15,3
		Memasukkan material sak ke jumbo bag	Manual	A3	210,3
		Merapikan sak agar maksimal	Manual	A4	41,1
		Memasukkan material sak ke jumbo bag hingga penuh	Manual	A5	90
		Memindahkan jumbo bag ke area angkut	Manual	A6	15,3
		Mengaitkan Jumbo bag ke Alat Angkut	Manual	A7	40,7
		Mengangkat Material Jumbo bag ke feeding point	Mesin	B1	420,3
		Menunggu area handling kosong	Mesin	B2	61,1
2	Lifting	Penempatan Landing Area	Mesin	B3	10,4
		Melepas Pengait Jumbo bag	Manual	C1	15,3
		Menunggu Feeding Ready	Manual	C2	120,3
3	Handling	Mengaitkan Jumbo bag menuju Hopper	Manual	C3	20,2
		Penempatan jumbo bag ke Hopper	Mesin	C4	10,5
		Melepas Pengait Jumbo bag	Manual	C5	15,3

Tabel 4.9 Lanjutan Waktu Siklus Produksi

No	Proses	Aktivitas Produksi	Jenis	Kode	Waktu
			Aktivitas	Aktivitas	Rata-rata
4	Feeding	Membuka sak Material	Manual	D1	30,7
		Memasukan material ke Hopper	Manual	D2	320,3
5	Reposisi	Pengumpulan sak	Manual	E1	10,6
	Alat	Memasukkan sak ke	Manual	E2	10,7
	Angkut	jumbo bag			
		Mengembalikan hoist ke posisi awal	Mesin	E3	420,3
TOTAL LEAD TIME					1889,6

Berdasarkan tabel tersebut, diketahui bahwa total *lead time* sebesar 1899,6 detik. Kemudian, *lead time* tersebut akan dihitung untuk mengetahui besar kapasitas *feeding* AF perhari berdasarkan data yang telah diperoleh, berikut Tabel 4.10 hasil perhitungan total kapasitas untuk *feeding* AF:

Tabel 4.10 Total Kapasitas

Siklus Awal	Keterangan	Total	Satuan
Jumlah <i>shift</i>	Total <i>shift</i> per hari	3	<i>shift</i> /hari
Kapasitas angkut	Kapasitas jumbo bag	0,3	ton
Jumlah alat	Alat angkut yang digunakan	3	unit
<i>Available Time</i>	Jam Kerja Efektif x 3600	$6 \times 3600 = 21600$	detik/ <i>shift</i>
<i>Cycle Time</i>	Waktu Aktivitas	1899,6	detik
Siklus	<i>Available Time/Cycle Time</i>	$\frac{21600}{1899,6} = 11,37$	<i>cycle/shift</i>
Kapasitas Total pershift	Siklus x Kapasitas Angkut	$11,37 \times 0,3 = 3,4$	ton/shift
Kapasitas <i>feeding</i>	Kapasitas total pershift x Jumlah Alat x Jumlah <i>shift</i>	$3,4 \times 3 \times 3 = 30,7$	ton/hari

Berdasarkan hasil perhitungan kapasitas di atas, diperoleh bahwa kapasitas *feeding* per hari mencapai 30,7 ton, dimana masing-masing *shift* memiliki kemampuan *feeding* sebesar ± 10 ton. Nilai kapasitas *feeding* tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam perhitungan

kontribusi *thermal substitution rate* (TSR) untuk mengetahui pengaruh peningkatan penggunaan *alternative fuel* terhadap substitusi energi termal pada proses pembakaran kiln.

Untuk mengetahui *thermal substitution rate* (TSR) dapat dihitung dengan rumus:

$$TSR = \frac{Enafr}{Enafr + Encoal} \times 100\%$$

$$Enafr = \sum (NCV afr \times BB afr)$$

$$Encoal = \sum (NCV coal \times BB coal)$$

Keterangan:

Enafr = Energi Total *Alternative Fuel & Raw Material* (kcal)

Encoal = Energi Total *Coal* (kcal)

NVCafr = *Net Calory Value Alternative Fuel & Raw Material* (5500 kcal/ton)

BBafr = *Bahan Bakar Alternative Fuel & Raw Material* (ton)

NCVcoal = *Net Calory Value coal* (4300 kcal/ton)

BBcoal = *Bahan Bakar Coal* (ton)

Sebelum dilakukan perhitungan TSR, diketahui bahwa produksi klinker pada PT Semen Gresik adalah 8.000 ton/hari dengan indeks konsumsi batu bara sebesar 0,23 ton. Berdasarkan nilai tersebut, kebutuhan batu bara harian dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan batubara mentah} &= \text{Produksi Klinker} \times \text{Indeks batubara} \\ &= 8.000 \times 0,23 \\ &= 1.840 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan batu bara sebesar 1.840 ton/hari. Selanjutnya, jumlah *pulverized coal* dihitung berdasarkan proporsi penggunaan sebesar 80% dari total kebutuhan batu bara, 80% digunakan karena 20% batu bara sisanya mengandung kadar air, sehingga diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{pulverized coal (BBcoal)} &= \text{Kebutuhan batubara mentah} \times 80\% \\ &= 1.840 \times 0,8 \\ &= 1.472 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

Kebutuhan *pulverized coal* adalah 1.472 ton/hari. Kemudian, sebelum menghitung *thermal substitution rate*, perlu mengetahui energi batu bara yang dihasilkan, maka dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Encoal = NCVcoal \times BBcoal$$

Nilai kalor batu bara yang digunakan sebesar 4300 kcal, sesuai asumsi yang digunakan pada perusahaan, maka energi total batu bara yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$Encoal = 4300 \times 1.472 = 6.329.600 \text{ kcal}$$

Berdasarkan hasil tersebut, total energi kalor yang dihasilkan adalah 6.329.600 kcal. Selanjutnya, menghitung energi total bahan bakar alternatif dengan rumus

$$Enafr = NCVafr \times BBafr$$

Nilai kalor dari bahan bakar alternatif bervariasi tergantung AF yang digunakan, namun pada penelitian ini nilai kalor yang digunakan adalah 5.500 kcal sesuai asumsi rata-rata AF yang digunakan oleh perusahaan. Sehingga, didapatkan total energi kalor AF adalah

$$Enafr = 5500 \times 30,7 = 168.850 \text{ kcal}$$

Kemudian, berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh nilai *thermal substitution rate* sebagai berikut:

$$TSR = \frac{Enafr}{Enafr + Encoal} \times 100\%$$

$$TSR = \frac{168.850}{168.850 + 6.329.600} \times 100\%$$

$$TSR = 2,59\%$$

Berdasarkan perhitungan asumsi *thermal substitution rate* (TSR) pada kondisi eksisting didapatkan bahwa nilai TSR sebesar 2,59% perhari.

4.2.5. Rekapitulasi Kuesioner Waste

Identifikasi *waste* dalam penelitian ini dilakukan melalui penyebaran kuesioner yang berisikan 5 pernyataan disetiap *waste* pada masing-masing aktivitas produksi proses *feeding alternative fuel*. Penilaian kuesioner menggunakan metode pembobotan dengan skala 0–4, dimana 0 menunjukkan *waste* tidak pernah terjadi dan 4 menunjukkan *waste* sangat sering terjadi. Nilai total bobot diperoleh dari hasil penjumlahan skor masing-masing jenis *waste* pada setiap aktivitas produksi. Berikut tabel 4.11 merupakan hasil rekapitulasi kuesioner yang telah dilakukan:

Tabel 4.11 Rekapitulasi Waste

Aktivitas Produksi	<i>Overproduction</i>	<i>Waiting</i>	<i>Transportation</i>	<i>Overprocessing</i>	<i>Inventory</i>	<i>Motion</i>	<i>Defect</i>
Persiapan Material	4	9	6	3	13	9	6

Tabel 4.11 Lanjutan Rekapitulasi *Waste*

Aktivitas Produksi	<i>Overproduction</i>	<i>Waiting</i>	<i>Transportation</i>	<i>Overprocessing</i>	<i>Inventory</i>	<i>Motion</i>	<i>Defect</i>
<i>Lifting</i>	5	11	6	1	7	4	5
<i>Handling</i>	2	9	8	6	10	7	5
<i>Feeding</i>	8	15	9	8	7	12	9
Reposisi							
Alat	1	6	6	4	3	8	5
Angkut							
Total	20	50	35	22	40	40	30
Rata-rata	4	10	7	4,4	8	8	6

Berdasarkan hasil perhitungan *waste* yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa *waste* terbesar pada proses *feeding alternative fuel* adalah *waiting* dengan nilai rata-rata sebesar 10. Selanjutnya, *waste motion* dan *inventory* memiliki nilai rata-rata yang sama, yaitu sebesar 8. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga jenis *waste* tersebut menjadi penyumbang pemborosan paling dominan dalam proses *feeding alternative fuel*.

4.2.6. Pembobotan *Value Stream Analysis Tools* (VALSAT)

Setelah tahap pembobotan *waste* selesai dilakukan, berikutnya adalah melakukan pembobotan menggunakan metode VALSAT. Analisis ini bertujuan untuk menentukan *tools detail mapping* yang paling sesuai dan representatif dalam mengidentifikasi secara lebih mendalam posisi serta jenis *waste* yang muncul pada *value stream* sistem produksi perusahaan. Pemilihan *tools* dalam VALSAT dilakukan dengan cara mengalikan nilai rata-rata masing-masing *waste* dengan *value stream matrix*. Tabel 4.12 dan 4.13 merupakan penjabaran bobot *value stream matrix* serta hasil perhitungan *value stream analysis tools*:

Tabel 4.12 *Value Stream Matrix*

Jenis Waste	PAM	SCRM	PVF	QFM	DAM	DPA	PS
<i>Over-production</i>	L	M		L	M	M	
<i>Waiting</i>	H	H	L		M	M	
<i>Transportation</i>	H						L

Tabel 4.12 Lanjutan *Value Stream Matrix*

Jenis Waste	PAM	SCRM	PVF	QFM	DAM	DPA	PS
<i>Overprocessing</i>	H		M	L		L	
<i>Inventory</i>	M	H	M		H	M	L
<i>Motion</i>	H	L					
<i>Defect</i>	L			H			

Keterangan:

H (*High Correlation and Usefulness*) = Skor 9

M (*Medium Correlation and Usefulness*) = Skor 3

L (*Low Correlation and Usefulness*) = Skor 1

Tabel 4.13 *Detail Mapping Tools*

Jenis Waste	Bobot	PAM	SCRM	PVF	QFM	DAM	DPA	PS
<i>Overproduction</i>	4	4	12		4	12	12	
<i>Waiting</i>	10	90	90	10		30	30	
<i>Transportation</i>	7	63						7
<i>Overprocessing</i>	4,4	40		13	4		4	
<i>Inventory</i>	8	24	72	24		72	24	8
<i>Motion</i>	8	72	8					
<i>Defect</i>	6	18			54			
Jumlah		311	182	47	62	114	70	15

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel di atas, diperoleh dari perkalian nilai *Final Result* dengan bobot awal pada tabel *mapping tools*, diketahui bahwa *Process Activity Mapping* (PAM) memiliki skor tertinggi, yaitu sebesar 311. Sehingga, *tools* yang dipilih dan digunakan dalam penelitian ini adalah *Process Activity Mapping* (PAM) karena dinilai paling representatif dalam mengidentifikasi dan menganalisis *waste* pada proses yang diteliti.

4.2.7. *Process Activity Mapping*

Process Activity Mapping (PAM) digunakan untuk memetakan seluruh aktivitas yang terjadi selama proses feeding AF. *Tools* ini berfungsi untuk mengidentifikasi aktivitas yang tidak bernilai tambah, mengevaluasi peluang peningkatan efisiensi pada setiap tahapan proses, serta merumuskan usulan perbaikan yang bertujuan mengurangi pemborosan yang terjadi. Tabel 4.14 dibawah ini merupakan *process activity mapping* pada penelitian ini:

Tabel 4.14 *Process Activity Mapping*

No	Proses	Aktivitas Produksi	Jenis Aktivitas	Kode aktivitas	Waktu	Aktivitas					Keterangan
						O	T	I	S	D	
1	Persiapan Material	Mengambil Jumbo bag	Manual	A1	20,9		T				NNVA
		Memeriksa Kondisi Jumbo bag	Manual	A2	15,3			I			NNVA
		Memasukkan material sak ke jumbo bag	Manual	A3	210,3	O					VA
		Merapikan sak agar maksimal	Manual	A4	41,1	O					NNVA
		Memasukkan material sak ke jumbo bag hingga penuh	Manual	A5	90	O					NNVA
		Memindahkan jumbo bag ke area angkut	Manual	A6	15,3		T				NNVA
		Mengaitkan Jumbo bag ke Alat Angkut	Manual	A7	40,7	O					NNVA
2	Lifting	Mengangkat Material Jumbo bag ke feeding point	Mesin	B1	420,3		T				VA
		Menunggu area handling kosong	Mesin	B2	61,1					D	NVA

Tabel 4.14 Lanjutan *Process Activity Mapping*

No	Proses	Aktivitas Produksi	Jenis Aktivitas	Kode aktivitas	Waktu	Aktivitas					Keterangan
						O	T	I	S	D	
3	Handling	Penempatan Landing Area	Mesin	B3	10,4	O					NNVA
		Melepas									
		Pengait Jumbo bag	Manual	C1	15,3	O					NNVA
		Menunggu Feeding Ready	Manual	C2	120,3					D	NVA
		Mengaitkan Jumbo bag menuju Hopper	Manual	C3	20,2	O					NNVA
		Penempatan jumbo bag ke Hopper	Mesin	C4	10,5		T				NNVA
4	Feeding	Melepas									
		Pengait Jumbo bag	Manual	C5	15,3	O					NNVA
		Membuka sak Material	Manual	D1	30,7	O					VA
5	Reposisi Alat Angkut	Memasukan material ke Hopper	Manual	D2	320,3	O					VA
		Pengumpulan sak	Manual	E1	10,6		T				NNVA
		Memasukkan sak ke jumbo bag	Manual	E2	10,7	O					NNVA

Tabel 4.14 Lanjutan *Process Activity Mapping*

No	Proses	Aktivitas Produksi	Jenis Aktivitas	Kode aktivitas	Waktu	Aktivitas O T I S D	Keterangan
		Mengembalikan hoist ke posisi awal	Mesin	E3	420,3	T	VA

Keterangan:

VA : *Value Added*

NVA : *Non Value Added*

NNVA: *Necessary Non Value Added*

Berdasarkan hasil klasifikasi *Process Activity Mapping* (PAM) di atas, diperoleh rekapitulasi total waktu proses produksi yang dikelompokkan berdasarkan jenis aktivitas serta kategori *Value Added* (VA), *Necessary Non Value Added* (NNVA), dan *Non Value Added* (NVA) pada Tabel 4.15 di bawah ini:

Tabel 4.15 Aktivitas & Kategori *Process Activity Mapping*

Aktivitas	Jumlah	Waktu (s)	Persentase
<i>Operation</i> (O)	11	805	42%
<i>Transportation</i> (T)	6	897,9	47%
<i>Inspection</i> (I)	1	15,3	1%
<i>Storage</i> (S)	0	0	0%
<i>Delay</i> (D)	2	181,4	10%
Total	20	1899,6	100%
VA	5	1401,9	74%
NNVA	13	316,3	17%
NVA	2	181,4	10%
Total	20	1899,6	100%

Berdasarkan hasil *Process Activity Mapping* (PAM), diketahui bahwa terdapat 20 aktivitas dalam proses produksi dengan total waktu sebesar 1.899,6 detik. Dari keseluruhan aktivitas tersebut, terdapat 5 aktivitas yang termasuk kategori *Value Added* (VA) dengan total waktu 1.401,9 detik. Selain itu, terdapat 13 aktivitas *Necessary Non Value Added* (NNVA) dengan total waktu 316,3 detik, serta 2 aktivitas *Non Value Added* (NVA) dengan total waktu 181,4 detik.

4.2.8. Sustainable Value Stream Mapping

Sustainable value stream mapping digunakan untuk mengevaluasi kinerja proses *feeding alternative fuel* tidak hanya dari sisi efisiensi operasional, tetapi juga dari perspektif keberlanjutan yang mencakup aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial. Metrik yang digunakan pada masing-masing aspek dijelaskan sebagai berikut:

a. Aspek Ekonomi

Aspek ekonomi dalam *sustainable value stream mapping* bertujuan untuk mengukur tingkat efisiensi proses *feeding alternative fuel* dalam menciptakan nilai tambah. Metrik ekonomi yang digunakan pada penelitian ini adalah *Process Cycle Efficiency (PCE)*, yang menggambarkan perbandingan antara waktu aktivitas bernilai tambah (*value added*) terhadap total waktu proses. Berikut perhitungan *process cycle efficiency*:

$$\begin{aligned} \text{Process Cycle Efficiency} &= \frac{\text{Value Added}}{\text{Total Lead Time}} \times 100 \\ &= \frac{1401,9}{1899,6} \times 100 \\ &= 73,95\% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan *Process Cycle Efficiency (PCE)* diperoleh sebesar 73,95%, yang dimana proses produksi pada *feeding alternative fuel* telah tergolong cukup efisien. Persentase tersebut mengindikasikan aliran proses sudah berjalan baik dan pemborosan waktu dapat ditekan, namun masih terdapat peluang perbaikan untuk meningkatkan efisiensi menuju kondisi lean yang lebih optimal.

b. Aspek Lingkungan

Pada penelitian ini, aspek lingkungan difokuskan pada tiga indikator utama, yaitu *Thermal Substitution Rate (TSR)*, emisi karbon monoksida (CO), dan konsumsi energi. Pemilihan indikator tersebut didasarkan pada relevansinya terhadap proses *feeding alternative fuel*, yang secara langsung berkaitan dengan pemanfaatan bahan bakar alternatif, efisiensi penggunaan energi, serta dampak emisi gas hasil pembakaran terhadap lingkungan.

TSR digunakan untuk mengukur tingkat substitusi bahan bakar fosil dengan bahan bakar alternatif sebagai upaya pengurangan penggunaan sumber daya tidak terbarukan. Semakin tinggi capaian TSR, semakin besar kontribusi penggunaan AF dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar konvensional. Emisi CO digunakan

sebagai indikator penting dalam menilai kualitas proses pembakaran dan tingkat pencemaran udara yang dihasilkan. Konsumsi energi dianalisis untuk mengetahui penggunaan energi selama proses berlangsung. Konsumsi energi tersebut meliputi penggunaan listrik pada alat angkut (*hoist crane*) yang digunakan pada aktivitas *lifting* material menuju *feeding point*. Pada Tabel 4.16, Tabel 4.17, Tabel 4.18 merupakan data pendukung untuk aspek lingkungan pada penelitian ini:

Tabel 4.16 Capaian *Thermal Substitution Rate*

Periode	Capaian TSR	Periode	Capaian TSR	Target TSR
Januari	2,77	Juli	2,55	2,5
Februari	2,53	Agustus	2,52	2,5
Maret	2,54	September	2,51	2,5
April	0	Oktober	2,51	2,5
Mei	2,62	November	2,16	2,5
Juni	0	Desember	2,52	2,5
Rata-rata			2,52	2,5

Capaian *Thermal Substitution Rate* (TSR) menunjukkan nilai rata-rata sebesar 2,52, sedikit melampaui target perusahaan sebesar 2,5 dengan selisih peningkatan hanya 0,02. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan bahan bakar alternatif telah memenuhi target minimum, namun peningkatannya masih relatif kecil sehingga peluang optimalisasi penggunaan *alternative fuel* masih terbuka. Nilai TSR sebesar nol pada beberapa periode terjadi karena tidak adanya aktivitas produksi, sehingga tidak mencerminkan penurunan kinerja lingkungan melainkan kondisi operasional perusahaan.

Tabel 4.17 Konsumsi Energi Listrik

No	Aktivitas Proses	Konsumsi Energi (kWh)
1	Persiapan Material	0
2	Lifting	22,5
3	Handling	0
4	Feeding	0
5	Reposisi Alat Angkut	22,5

Berdasarkan Tabel 4.17, konsumsi energi listrik terjadi pada aktivitas *lifting* dan reposisi alat angkut masing-masing sebesar 22,5 kWh. Sementara itu, aktivitas persiapan material, feeding, dan *handling* tidak menunjukkan konsumsi energi listrik karena tidak

menggunakan peralatan berbasis listrik secara langsung atau tidak berlangsung pada periode pengamatan.

Tabel 4.18 Emisi CO

Periode	CO	Periode	CO
Januari	485,4	Juli	221,38
Februari	116,37	Agustus	641,19
Maret	179,4	September	605,51
April	0	Oktober	593,71
Mei	45,52	November	519,37
Juni	0	Desember	542,25
Rata-rata		395,01	

Berdasarkan Tabel 4.18, emisi CO menunjukkan fluktuasi yang cukup signifikan sepanjang periode pengamatan dengan nilai rata-rata sebesar 395,01 ppm. Nilai emisi tertinggi terjadi pada bulan Agustus dan September.

c. Aspek Sosial

Aspek sosial pada penelitian ini menggunakan beberapa aspek antara lain pendekatan ergonomi beban kerja menggunakan *Physical Load Index* (PLI), kondisi lingkungan kerja (seperti kebisingan dan intensitas debu), tingkat kesehatan pekerja, dan risiko kerja. PLI digunakan untuk mengukur tingkat beban fisik yang diterima oleh operator berdasarkan aktivitas kerja yang dilakukan, seperti pengangkatan, pendorongan, penarikan, serta postur kerja (Hollman, Klimmer, Schmidt, & Kylian, 1999). Gambar 4.3 merupakan contoh rekapitulasi pada proses persiapan material untuk perhitungan PLI:

PHYSICAL LOAD INDEX					
Persiapan Material					
Kode	Bagian Tubuh	Tidak Pernah	Jarang	Kadang-kadang	Sering Sangat Sering
Trunk (Badan)					
T1	Lurus, Tegak				1
T2	Sedikit miring			1	
T3	Sangat miring		1		
T4	Berputar	1			
T5	Menbungkuk		1		
Arms (Lengan)					
A1	Keduanya dibawah bahu		1		
A2	Satu tangan dibawah bahu		1		
A3	Kedua tangan diatas bahu			1	
Legs (Kaki)					
L1	Duduk	1			
L2	Berdiri				1
L3	Jongkok			1	
L4	Berlutut dengan salah satu atau dua kaki	1			
L5	Berjalan, berpindah				1
Membawa beban-kondisi tegak					
WU1	Ringan				1
WU2	Sedang			1	
WU3	Berat				1
Membawa beban-kondisi miring					
WI1	Ringan	1			
WI2	Sedang	1			
WI3	Berat			1	

Gambar 4.4 Rekapitulasi PLI Persiapan Material

Gambar 4.3 rekapitulasi proses persiapan material dihitung menggunakan rumus PLI sebagaimana dijelaskan pada poin 2.2.6.3 terkait beban kerja PLI, dan metode perhitungan yang sama juga diterapkan pada seluruh proses lainnya. Di bawah ini adalah salah satu hasil perhitungan pada proses persiapan material:

$$\begin{aligned}
 PLI &= (0.974 \times 2) + (1.104 \times 1) + (0.068 \times 0) + (0.173 \times 1) + (0.157 \times 1) \\
 &\quad + (0.314 \times 2) + (0.405 \times 2) + (0.152 \times 0) + (0.152 \times 4) \\
 &\quad + (0.549 \times 3) + (1.098 \times 2) + (1.647 \times 3) + (1.777 \times 0) \\
 &\quad + (2.416 \times 0) + (3.056 \times 2) \\
 &= 20,324.
 \end{aligned}$$

Pada Tabel 4.19 merupakan hasil perhitungan *physical load index* masing-masing proses pada penelitian ini:

Tabel 4.19 *Physical Load Index*

No	Proses Produksi	<i>Physical Load Index</i>	Kategori Deskripsi
1	Persiapan Material	20,324	Beban rata-rata (19-37)
2	Lifting	0,618	Beban relatif ringan (0-18)
3	Handling	12,78	Beban relatif ringan (0-18)
4	Feeding	21,429	Beban rata-rata (19-37)
5	Reposisi Alat Angkut	3,488	Beban relatif ringan (0-18)

Berdasarkan hasil perhitungan PLI di atas, menunjukkan bahwa aktivitas *feeding* dan persiapan material memiliki beban kerja fisik kategori rata-rata, sehingga berpotensi lebih melelahkan dibanding proses lainnya.

Kemudian, kondisi lingkungan kerja pada proses *feeding* AF juga berkaitan dengan kebisingan dan intensitas debu. Kebisingan pada proses *feeding* berasal dari area *kiln*, yang merupakan salah satu sumber utama kebisingan di lingkungan kerja. Hasil pengukuran tingkat kebisingan pada area tersebut disajikan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Kebisingan

Area	Hasil Uji	Satuan	NAB	Alat Uji
Kiln	83,6	dB(A)	85	Sound Level Meter (SL-4035 SD)

Tabel 4.20 menunjukkan bahwa tingkat kebisingan di area kiln sebesar 83,6 dB(A) masih berada di bawah nilai ambang batas, sehingga relatif aman namun tetap perlu pengendalian. Kemudian selain kebisingan, kondisi lingkungan kerja di pabrik semen

juga dipengaruhi oleh intensitas debu yang dihasilkan selama proses produksi. Hasil pengukuran intensitas debu pada area kerja disajikan pada tabel 4.21 berikut:

Tabel 4.21 Intensitas Debu

Area	Hasil Uji	Satuan	NAB	Alat Uji
Kiln	1,25	mgr/m^3	10	Rotameter - LVAS

Pada tabel 4.21 pengujian intensitas debu didapatkan sebesar 1,25 mg/m³ berada di bawah NAB (10 mg/m³), menunjukkan kondisi lingkungan kerja masih dalam batas yang diperbolehkan.

Tabel 4.22 Tingkat Kehadiran

Bulan	Jumlah Pekerja	Jumlah Pekerja Sehat	Kehadiran (%)
September 2025	27	27	100%
Oktober 2025	27	27	100%
November 2025	26	26	100%
Desember 2025	26	26	100%
Januari 2026	26	19	73,08%
Februari 2026	40	36	90,00%
Rata-rata	29	27	94%

Tabel 4.22 merupakan tingkat kehadiran pekerja pada 6 bulan terakhir sejak penelitian berlangsung. Hasil wawancara yang dilakukan pada bagian terkait menunjukkan bahwa masih terdapat tingkat absensi pekerja pada proses *feeding AF*, khususnya terlihat pada bulan Januari dan Februari, yang menyebabkan ketidakseimbangan tenaga kerja di lini produksi. Kondisi ini berpotensi menghambat kelancaran proses serta mempengaruhi pencapaian target produksi yang telah ditetapkan.

Selain itu, tingkat kesehatan pekerja pada proses *feeding AF* juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan kerja. Berikut tabel 4.23 merupakan kondisi lingkungan kerja pada proses *feeding*:

Tabel 4.23 Risiko Kerja

No	Aktivitas Kerja	Kode	Potensi Bahaya	Risiko Bahaya	Likehood	Severity	Klasifikasi
1	Persiapan Material	A1	Terpeleset, tersandung	Keseleo, Cedera	2	2	L

Tabel 4.23 Lanjutan Risiko Kerja

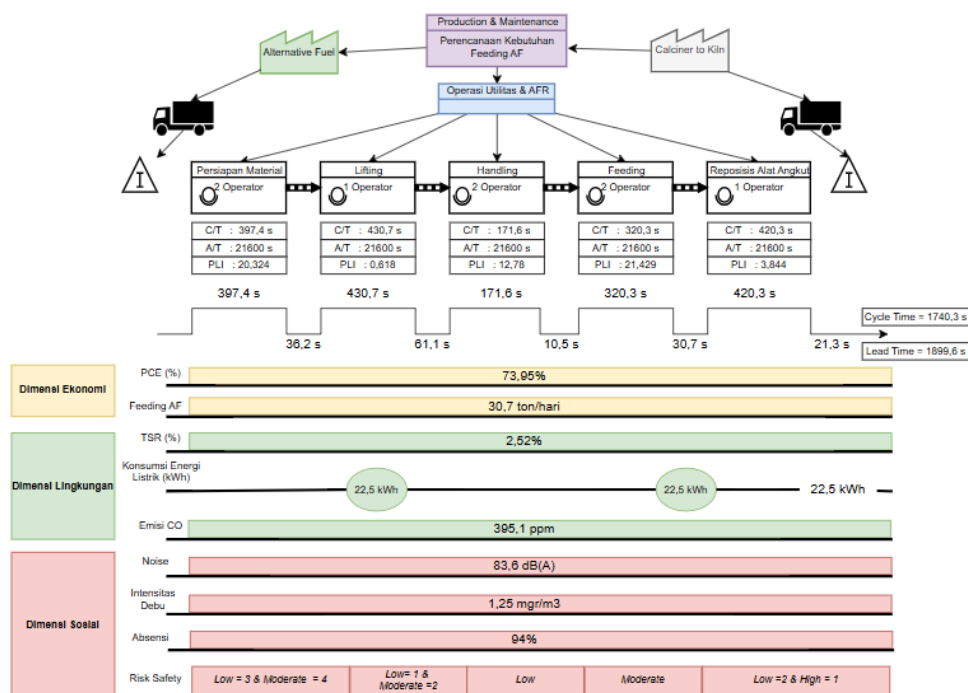
No	Aktivitas Kerja	Kode	Potensi Bahaya	Risiko Bahaya	<i>Likelihood</i>	<i>Severity</i>	Klasifikasi
1	Persiapan Material	A2	Paparan debu	Gangguan pernafasan, Iritasi Mata	3	1	L
		A3	Beban berat	Gangguan muskuloskeletal	3	2	M
		A4	Beban berat, Paparan Debu	Gangguan muskuloskeletal, Gangguan pernafasan	2	3	M
		A5	Beban berat	Cedera otot/punggung	3	2	M
		A6	Beban berat	Cedera punggung	2	3	M
		A7	Terjepit pengait	Luka gores jari/tangan	1	2	L
				Cedera			
2	Lifting	B1	Beban Jatuh	serius/tertimpa material	1	3	M
		B2	Paparan debu panas, kebisingan	Gangguan pernapasan	2	1	L
		B3	Terpeleset, bekerja di area ketinggian	Cedera serius	1	3	M
3	Handling	C1	Terjepit pengait	Luka tangan	2	2	L

Tabel 4.23 Lanjutan Risiko Kerja

No	Aktivitas Kerja	Kode	Potensi Bahaya	Risiko Bahaya	<i>Likelihood</i>	<i>Severity</i>	Klasifikasi
4	Feeding	C2	Terpapar panas, terpapar debu panas	Gangguan pernafasan	3	1	L
		C3	Terjepit pengait	Cedera tangan	1	2	L
		C4	Beban Jatuh	Tersandung	2	2	L
		C5	Terjepit pengait	Cedera tangan	3	1	L
		D1	Terpapar panas, terpapar debu panas	Iritasi, terpeleset, gangguan pernafasan	2	3	M
5	Reposisi Alat Angkut	D2	Terjungkal/ terpeleset	Cedera tubuh	2	3	M
		E1	Gerakan berulang	Nyeri otot	3	1	L
		E2	Gerakan berulang	Kelelahan otot	3	1	L
		E3	Bekerja di area ketinggian	Hoist terlilit, terjatuh, cedera serius	1	4	H

4.2.9. Sustainable Current State Value Stream Mapping

Berikut merupakan *sustainable current value stream mapping* pada penelitian ini:



Gambar 4.5 Sustainable Current State Value Stream Mapping

4.2.10. Identifikasi Waste

Berdasarkan hasil rekapitulasi kuesioner *waste* yang telah dilakukan, diperoleh tiga jenis *waste* yang paling dominan yaitu *waiting*, *motion*, dan *inventory*.

1. *Waiting*

Waste waiting terjadi ketika proses *feeding* tidak dapat berjalan secara kontinu karena adanya waktu tunggu pada beberapa tahapan aktivitas. Dalam proses *feeding* AF, *waiting* banyak ditemukan pada aktivitas proses *lifting* serta saat *feeding* ke calciner. Waktu tunggu umumnya terjadi karena material belum tiba di *feeding point* akibat antrean alat angkut atau keterlambatan proses *lifting*. Selain itu, *waiting* juga muncul ketika mesin *feeding* atau *hoist* belum siap digunakan, baik karena masih digunakan untuk proses lain maupun karena terjadi gangguan operasional. Kondisi ini menyebabkan aliran material tidak berjalan lancar dan menghambat kontinuitas *feeding*.

2. *Motion*

Waste motion berkaitan dengan gerakan operator atau pekerja yang berlebihan dan sebenarnya tidak memberikan nilai tambah terhadap proses. Pada proses *feeding* AF, *motion* terjadi ketika operator harus bolak-balik mengambil atau memindahkan

material, mengatur ulang posisi jumbo bag, atau berjalan cukup jauh untuk melakukan kegiatan lain.

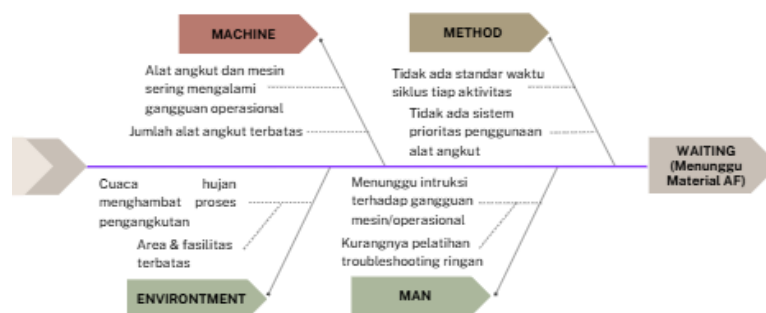
3. *Inventory*

Waste inventory pada proses *feeding* AF terjadi akibat adanya penumpukan material AF yang melebihi kebutuhan aktual *feeding*. Penumpukan ini umumnya dilakukan sebagai antisipasi untuk menjaga kontinuitas *feeding*, khususnya pada kondisi cuaca hujan. Namun, material AF yang sudah disiapkan tidak langsung digunakan sehingga harus disimpan cukup lama. Kemudian, penumpukan jumbo bag AF di area persiapan serta material AF di *feeding point* menyebabkan area proses menjadi penuh dan kurang tertata. Kondisi ini menghambat kelancaran aliran material dan menyulitkan aktivitas *feeding*.

4.2.11. *Fishbone Diagram*

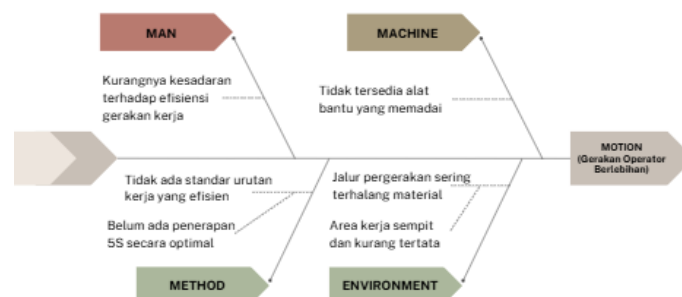
Fishbone diagram yang merupakan salah satu metode dari *seven quality tools* yang berfungsi untuk mengidentifikasi akar penyebab dari suatu permasalahan. Pada *feeding* AF terdapat tiga jenis *waste* utama yaitu *waiting*, *motion*, dan *inventory*. Berikut ini merupakan visualisasi *fishbone diagram* dari masing-masing *waste* yang terjadi pada penelitian ini:

1. *Waste Waiting*



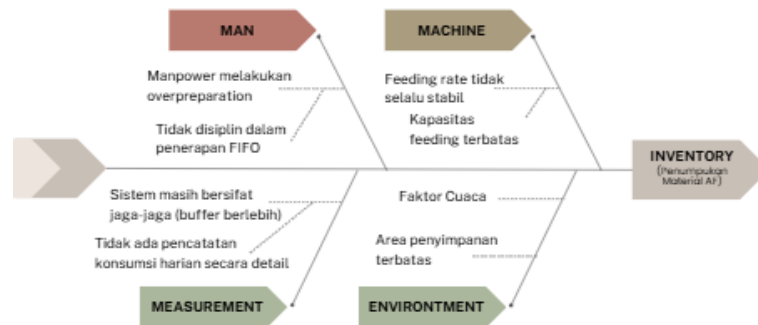
Gambar 4.6 *Fishbone Waste Waiting*

2. *Waste Motion*



Gambar 4.7 *Fishbone Waste Motion*

3. Waste Inventory



Gambar 4.8 Fishbone Waste Inventory

4.2.12. Usulan Process Activity Mapping

Berdasarkan hasil *process activity mapping* yang telah ditampilkan pada Tabel 4.14 di atas, masih ditemukan sejumlah aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah dan seharusnya tidak perlu dilakukan. Aktivitas tersebut perlu dieliminasi atau diperbaiki agar lebih efektif. Sehingga, pemborosan dapat ditekan, waktu produksi pada proses feeding AF menjadi lebih efisien, kapasitas *feeding* meningkat, dan nilai TSR juga berpotensi mengalami peningkatan. Berikut adalah rancangan *future process activity mapping* yang diusulkan dalam penelitian ini:

Tabel 4.24 Future Process Activity Mapping

No	Proses	Aktivitas Produksi	Jenis Aktivitas	Kode aktivitas	Waktu	Aktivitas O T I S D					Keterangan
1	Persiapan Material	Mengambil Jumbo bag	Manual	A1	5	T					NNVA
		Memeriksa Kondisi Jumbo bag	Manual	A2	10		I				NNVA
		Memasukkan material sak ke jumbo bag	Manual	A3	300	O					VA
		Merapikan sak agar maksimal	Manual	A4	0						
		Memasukkan material sak ke jumbo bag hingga penuh	Manual	A5	0						

Tabel 4.24 Lanjutan *Future Process Activity Mapping*

Tabel 12.2. Langkah-langkah Proses Handling Mapping								
No	Proses	Aktivitas Produksi	Jenis Aktivitas	Kode aktivitas	Waktu	Aktivitas O T I S D	Keterangan	
2	Lifting	Memindahkan jumbo bag ke area angkut	Manual	A6	0			
		Mengaitkan Jumbo bag ke Alat Angkut	Manual	A7	25	O		NNVA
		Mengangkat Material Jumbo bag ke feeding point	Mesin	B1	420,3		T	VA
		Menunggu area handling kosong	Mesin	B2	0			
		Penempatan Landing Area	Mesin	B3	10,4	O		NNVA
		Melepas Pengait Jumbo bag	Manual	C1	15,3	O		NNVA
		Menunggu Feeding Ready	Manual	C2	60			D
3	Handling	Mengaitkan Jumbo bag menuju Hopper	Manual	C3	20,2	O		NNVA
		Penempatan jumbo bag ke Hopper	Mesin	C4	10,5		T	NNVA

Tabel 4.24 Lanjutan *Future Process Activity Mapping*

No	Proses	Aktivitas Produksi	Jenis Aktivitas	Kode aktivitas	Waktu	Aktivitas O T I S D					Keterangan
4	Feeding	Melepas Pengait Jumbo bag	Manual	C5	15,3	O					NNVA
		Membuka sak Material	Manual	D1	15	O					VA
		Memasukan material ke Hopper	Manual	D2	300	O					VA
		Pengumpulan sak	Manual	E1	0						
5	Reposisi Alat Angkut	Memasukkan sak ke jumbobag	Manual	E2	10,7	O					NNVA
		Mengembalikan hoist ke posisi awal	Mesin	E3	420,3		T				VA

Pada tabel tersebut, aktivitas yang berwarna merah merupakan aktivitas-aktivitas yang harus dihilangkan dikarenakan menimbulkan *waste* dan ketidakefisien proses. Sehingga, dapat mengoptimalkan waktu produksi *feeding* AF. Hasil perbaikan menunjukkan bahwa jumlah aktivitas berkurang menjadi 15 aktivitas dengan total waktu proses sebesar 1.638 detik.

Tabel 4.25 *Future Process Activity Mapping*

Aktivitas	Jumlah	Waktu (s)	Persentase
Operation (O)	9	711,9	43%
Transportation (T)	4	856,1	52%
Inspection (I)	1	10	1%
Storage (S)	0	0	0%
Delay (D)	1	60	4%
Total	15	1638	100%

Tabel 4.25 Lanjutan *Future Process Activity Mapping*

Aktivitas	Jumlah	Waktu (s)	Persentase
VA	5	1455,6	89%
NNVA	9	122,4	7%
NVA	1	60	4%
Total	15	1638	100%

Berdasarkan tabel tersebut, aktivitas *operation* berjumlah 9 aktivitas dengan waktu 711,9 detik (43%), *transportation* sebanyak 4 aktivitas dengan waktu 856,1 detik (52%), *inspection* 1 aktivitas dengan waktu 10 detik (1%), dan *delay* 1 aktivitas dengan waktu 60 detik (4%), serta tidak terdapat aktivitas *storage*. Kemudian, terdapat 5 aktivitas VA dengan total waktu 1.455,6 detik (89%), 9 aktivitas NNVA dengan waktu 122,4 detik (7%), dan 1 aktivitas NVA dengan waktu 60 detik (4%). Sehingga, total kapasitas *feeding* usulan sebagai berikut:

Tabel 4.26 Total Kapasitas *Feeding* Usulan

Siklus Awal	Keterangan	Total	Satuan
Jumlah <i>shift</i>	Total <i>shift</i> per hari	3	Shift/hari
Kapasitas angkut	Kapasitas jumbo bag	0,3	Ton
Jumlah alat	Alat angkut yang digunakan	3	unit
<i>Available Time</i>	Jam Kerja Efektif x 3600	$6 \times 3600 = 21600$	Detik/shift
<i>Cycle Time</i>	Waktu Aktivitas	1638	Detik
Siklus	<i>Available Time/Cycle Time</i>	$\frac{21600}{1638} = 13,18$	Cycle/shift
Kapasitas Total pershift	Siklus x Kapasitas Angkut	$13,18 \times 0,3 = 3,96$	Ton
Kapasitas <i>feeding</i>	Kapasitas total pershift x Jumlah Alat x Jumlah shift	$3,96 \times 3 \times 3 = 35,64$	Ton

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.26, total kapasitas *feeding* usulan dapat mencapai 35,64 ton/hari, dimana di setiap shift dapat melakukan aktivitas *feeding* $\pm 11,88$ ton perhari. Usulan ini jika dibandingkan dengan kapasitas sebelumnya, terjadi peningkatan sebesar 4,9 ton perhari. Kemudian, berikut asumsi usulan pencapaian nilai *thermal substitution rate* (TSR):

$$TSR = \frac{Enafr}{Enafr + Encoal} \times 100\%$$

$$Enafr = \sum (NCV afr \times BB afr)$$

$$Encoal = \sum (NCV coal \times BB coal)$$

Keterangan:

Enafr = Energi Total *Alternative Fuel & Raw Material* (kcal)

Encoal = Energi Total *Coal* (kcal)

NVCafr = *Net Calory Value Alternative Fuel & Raw Material* (5500 kcal/ton)

BBafr = *Bahan Bakar Alternative Fuel & Raw Material* (ton)

NCVcoal = *Net Calory Value coal* (4300 kcal/ton)

BBcoal = *Bahan Bakar Coal* (ton)

Diketahui bahwa produksi klinker adalah 8.000 ton/hari dengan indeks konsumsi batu bara sebesar 0,23 ton. Berdasarkan nilai tersebut, kebutuhan batu bara harian dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan batubara mentah} &= \text{Produksi Klinker} \times \text{Indeks batubara} \\ &= 8.000 \times 0,23 \\ &= 1.840 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan batu bara sebesar 1.840 ton/hari. Selanjutnya, jumlah *pulverized coal* dihitung berdasarkan proporsi penggunaan sebesar 80% dari total kebutuhan batu bara, 80% digunakan karena 20% batu bara sisanya mengandung kadar air, sehingga diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{pulverized coal (BBcoal)} &= \text{Kebutuhan batubara mentah} \times 80\% \\ &= 1.840 \times 0,8 \\ &= 1.472 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

Kebutuhan *pulverized coal* adalah 1.472 ton/hari. Kemudian, sebelum menghitung *thermal substitution rate*, perlu mengetahui energi batu bara yang dihasilkan, maka dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Encoal = NCVcoal \times BBcoal$$

Nilai kalor batu bara yang digunakan sebesar 4300 kcal, sesuai asumsi yang digunakan pada perusahaan, maka energi total batu bara yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$Encoal = 4300 \times 1.472 = 6.329.600 \text{ kcal}$$

Berdasarkan hasil tersebut, total energi kalor yang dihasilkan adalah 6.329.600 kcal. Selanjutnya, menghitung energi total bahan bakar alternatif dengan rumus

$$Enafr = NCVafr \times BBafr$$

Nilai kalor dari bahan bakar alternatif bervariasi tergantung AF yang digunakan, namun pada penelitian ini nilai kalor yang digunakan adalah 5.500 kcal sesuai asumsi rata-rata AF yang digunakan oleh perusahaan. Sehingga, didapatkan total energi kalor AF adalah

$$Enafr = 5500 \times 35,64 = 196.020 \text{ kcal}$$

Kemudian, berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh nilai *thermal substitution rate* sebagai berikut:

$$TSR = \frac{Enafr}{Enafr + Encoal} \times 100\%$$

$$TSR = \frac{196.020}{196.020 + 6.329.600} \times 100\%$$

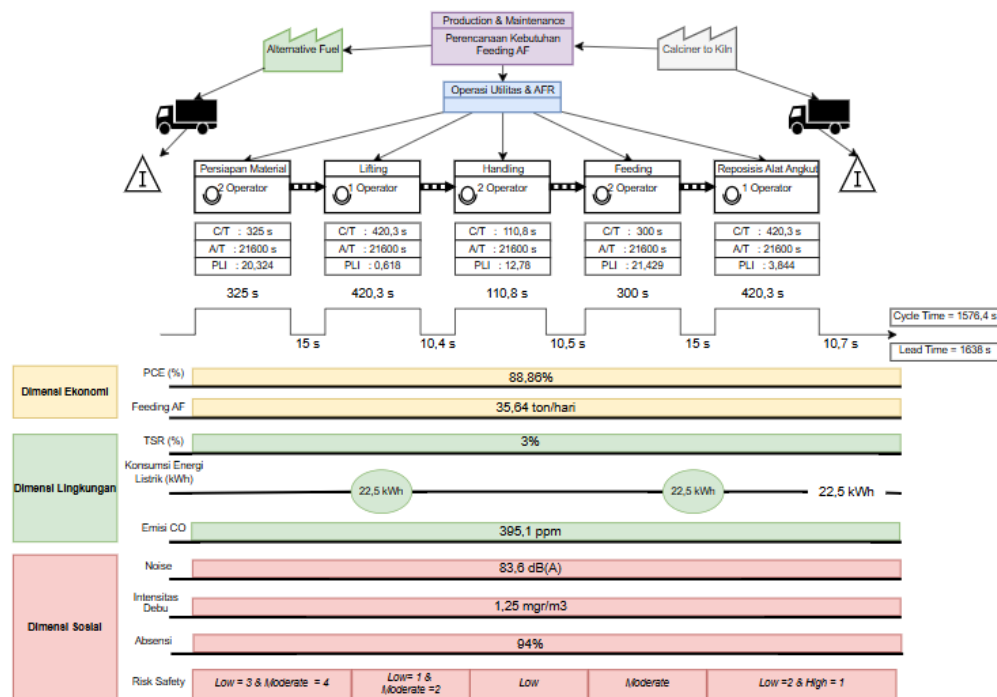
$$TSR = 3,00\%$$

Berdasarkan perhitungan asumsi *thermal substitution rate* (TSR) pada kondisi usulan didapatkan bahwa nilai TSR sebesar 3,00% perhari.

Target capaian TSR di setiap perusahaan memiliki target dan kebijakan yang berbeda-beda. Capaian TSR pada penelitian ini bukan angka yang rendah jika ditinjau dari konteks perusahaan semen lain dengan skala dan tahapan transisi energi yang setara. Sebagai pembandingan, pada PT SMBR mencatatkan peningkatan TSR dari 2,62% pada tahun 2022 menjadi 3,01% pada tahun 2023, dan kembali meningkat menjadi 3,18% pada tahun 2024, melampaui target perusahaan sebesar 2,63% (Baturaja, 2025). Progresi capaian SMBR ini menunjukkan bahwa peningkatan TSR pada kisaran 0,3–0,5% per tahun merupakan capaian yang realistis pada perusahaan semen skala menengah di Indonesia yang masih dalam tahap awal pengembangan sistem *co-processing*. Sehingga, target TSR yang diusulkan dalam penelitian ini sejalan dengan tren pertumbuhan TSR pada perusahaan semen domestik lain yang memiliki karakteristik operasional serupa.

4.2.13. Sustainable Future Value Stream Mapping

Berikut merupakan *sustainable future value stream mapping* pada penelitian ini:



Gambar 4.9 Sustainable Future State Value Stream Mapping

Berikut merupakan perhitungan *Process Cycle Efficiency* (PCE) pada kondisi *future state sustainable value stream mapping*:

$$\begin{aligned}
 \text{Process Cycle Efficiency} &= \frac{\text{Value Added}}{\text{Total Lead Time}} \times 100 \\
 &= \frac{1455,6}{1638} \times 100 \\
 &= \mathbf{88,86\%}
 \end{aligned}$$

BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Analisis *Current State Sustainable Value Stream Mapping*

Current State SUS-VSM pada Gambar 4.5 menunjukkan aliran informasi dan aliran material pada proses *feeding* AF di PT Semen Gresik. Proses tersebut menggambarkan satu siklus pengangkutan AF dengan kapasitas $\pm 0,3$ ton per angkut, dimana tiap shiftnya dapat melakukan 11 kali siklus *feeding*. Sehingga, total material yang dapat di suplai dalam satu kali shift sebesar $\pm 3,3$ ton AF.

Diketahui bahwa pada proses persiapan material dilakukan oleh 2 operator dengan *cycle time* sebesar 397,4 detik dan nilai PLI sebesar 20,324. Pada proses *lifting* dilakukan oleh 1 operator dengan *cycle time* sebesar 430,7 detik dan nilai PLI sebesar 0,618. Kemudian pada proses *handling* dilakukan oleh 2 operator dengan *cycle time* sebesar 171,6 detik dan nilai PLI sebesar 12,78. Pada proses *feeding* dilakukan oleh 2 operator dengan *cycle time* sebesar 320,3 detik dan nilai PLI sebesar 21,429. Proses ini merupakan aktivitas utama yang memberikan nilai tambah karena material AF dimasukkan ke dalam sistem pembakaran. Tahap terakhir adalah proses reposisi alat angkut yang dilakukan oleh 1 operator dengan *cycle time* sebesar 420,3 detik dan nilai PLI sebesar 3,844. Aktivitas ini bertujuan mengembalikan alat angkut ke posisi awal untuk memulai siklus berikutnya.

Selain waktu proses pada masing-masing stasiun, terdapat waktu tunggu (*delay*) antar stasiun yang turut memperpanjang *lead time* keseluruhan. *Delay* terpanjang tercatat pada transisi antara stasiun *lifting* menuju *handling* sebesar 61,1 detik, diikuti oleh *delay* antara persiapan material menuju *lifting* sebesar 36,2 detik, *feeding* menuju reposisi alat angkut sebesar 30,7 detik, reposisi menuju akhir siklus sebesar 21,3 detik, serta *delay* antara *handling* menuju *feeding* sebesar 10,5 detik. Total akumulasi waktu tunggu antar proses mencapai 159,3 detik. Berdasarkan hasil pemetaan *current state*, total *lead time* dalam satu siklus proses *feeding* adalah sebesar 1.899,6 detik dengan total *cycle time* sebesar 1.740,3 detik dan nilai *Process Cycle Efficiency* (PCE) sebesar 73,95%. Meskipun aktivitas bernilai tambah sudah mendominasi proporsi waktu proses, masih terdapat aktivitas NNVA dan NVA yang memperpanjang waktu keseluruhan. Aktivitas *delay* seperti menunggu area *handling* kosong dan menunggu *feeding* ready menjadi salah satu sumber pemborosan utama. Jika dikaitkan dengan kapasitas produksi AF per shift sebesar 3,3 ton dan target *feeding* harian sebesar 30,7

ton/hari, maka kemampuan suplai sangat bergantung pada kestabilan setiap siklus. Ketika terjadi keterlambatan pada satu siklus saja, maka akumulasi output per shift juga akan terpengaruh secara langsung. Kondisi ini juga tercermin dari nilai TSR yang baru mencapai 2,52%, jauh di bawah potensi optimal yang seharusnya dapat dicapai. Hal ini menunjukkan bahwa sistem masih sensitif terhadap gangguan operasional dan belum sepenuhnya stabil, sehingga diperlukan upaya perbaikan yang terstruktur melalui perancangan *Future State SUS-VSM*.

5.2. Analisis *Waste* Proses Feeding AF

5.2.1. Identifikasi *Waste*

Identifikasi *waste* proses *feeding alternative fuel*, dilakukan dengan penyebaran kuesioner yang terdiri dari 35 pertanyaan terkait pemborosan di mana kuesioner tersebut disebarikan kepada masing-masing tenaga ahli (*expert*) di setiap proses *feeding* AF dengan tujuan untuk mengetahui *waste* yang paling dominan pada proses *feeding* AF.

Berdasarkan hasil rekap kuesioner yang ada pada Tabel 4.11, perhitungan *waste* dilakukan dengan cara menjumlahkan seluruh nilai skor masing-masing *waste* yang kemudian dilakukan rata-rata di setiap aktivitasnya. Pada hasil kuesioner tersebut, didapatkan bahwa *waste* dominan yang sering terjadi adalah *waste waiting* dengan rata-rata skor 10. *Waste* dominan lainnya adalah *waste inventory* dan *motion*, dengan total skor masing-masing sebesar 8.

Waste waiting terjadi ketika aktivitas menunggu muncul ketika material belum siap di area *feeding*, serta ketika peralatan seperti *hoist* belum dapat langsung digunakan ataupun adanya gangguan operasional. *Waiting* ini menyebabkan adanya waktu tidak produktif yang memperpanjang *total lead time* proses. Selain itu, *waste motion* juga cukup dominan, dimana operator masih melakukan pergerakan manual yang berulang, seperti pengaturan posisi material dan bolak-balik untuk mengambil barang atau memindahkan material. Pergerakan ini tidak memberikan nilai tambah, namun tetap memakan waktu dan tenaga kerja. Kemudian, *waste* lain seperti *inventory* terjadi terutama dalam bentuk penumpukan material AF sebelum dilakukan *feeding*. Penumpukan ini terjadi akibat aliran material yang belum sepenuhnya sinkron dengan kebutuhan proses pembakaran di calciner. Selain itu, material yang lebih dahulu masuk tidak selalu digunakan lebih dulu, sehingga sistem perputaran stok belum berjalan secara optimal. Kondisi ini dapat menyebabkan waktu simpan material menjadi semakin panjang dan berpotensi menurunkan kualitas AF, baik dari segi karakteristik fisik maupun nilai kalorinya.

5.2.2. Keterkaitan *Waste* Terhadap Aspek *Sustainability*

Dari ketiga jenis *waste* yang telah teridentifikasi, masing-masing memiliki keterkaitan yang berbeda terhadap dimensi keberlanjutan dalam kerangka *Triple Bottom Line*. *Waste waiting* memiliki keterkaitan langsung dan spesifik terhadap kinerja *sustainability*, khususnya pada dimensi lingkungan. Hal ini disebabkan oleh dua mekanisme utama, yakni pada saat terjadi kondisi *waiting*, peralatan seperti *hoist crane* tetap beroperasi dalam kondisi *idle*, sehingga konsumsi energi listrik tetap berlangsung tanpa menghasilkan output yang bernilai tambah. Hal tersebut secara langsung meningkatkan intensitas energi per ton AF yang berhasil di *feeding*, sehingga efisiensi energi proses secara keseluruhan menurun. Kemudian, ketidakaturan pasokan AF ke calciner akibat *waiting* menyebabkan sistem pembakaran tidak dapat mempertahankan proporsi substitusi bahan bakar alternatif secara stabil, sehingga memaksa peningkatan proporsi batubara sebagai bahan bakar primer, yang berpotensi meningkatkan emisi karbon monoksida (CO). Pola ini tercermin dari data emisi CO pada penelitian ini, di mana nilai tertinggi terkonsentrasi pada periode agustus dengan fluktuasi proses *feeding* yang signifikan.

Pada *waste inventory* memiliki keterkaitan dengan dimensi lingkungan meskipun dampaknya tidak terjadi secara langsung, melainkan melalui proses penurunan kualitas material. Penumpukan material AF yang terlalu lama di area terbuka menyebabkan degradasi kualitas material, baik dari segi karakteristik fisik maupun nilai kalorinya. Akibatnya, penurunan nilai kalori AF secara langsung menurunkan efektivitasnya sebagai substituen batubara, sehingga untuk mencapai target TSR yang sama dibutuhkan kuantitas AF yang lebih besar atau beban pembakaran batubara yang lebih tinggi dalam proses pembakaran. Meningkatnya proporsi batubara ini berpotensi memperburuk kualitas pembakaran di calciner, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon monoksida (CO) sebagai produk pembakaran tidak sempurna. Kondisi ini bertentangan dengan prinsip keberlanjutan lingkungan yang menghendaki pengurangan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil sekaligus pengendalian emisi secara konsisten.

Sementara itu, *waste motion* memiliki keterkaitan dengan dimensi sosial. Gerakan-gerakan tidak produktif yang dilakukan secara berulang dalam setiap siklus *feeding*, seperti seperti mencari peralatan yang tidak ditempatkan di dekat area kerja, melewati jalur yang terhalang material, serta mempertahankan postur kerja yang tidak ergonomis akibat area kerja yang

sempit, berkontribusi terhadap akumulasi beban fisik operator yang tercermin dari nilai PLI pada kategori beban rata-rata di stasiun persiapan material (20,324) dan *feeding* (21,429). Pada sistem kerja tiga *shift* selama 24 jam, paparan beban fisik kumulatif ini meningkatkan risiko kelelahan muskuloskeletal jangka panjang. Sehingga, pengurangan *waste motion* secara sistematis tidak hanya berdampak pada efisiensi proses tetapi juga berkontribusi pada peningkatan keselamatan dan kesehatan kerja operator secara berkelanjutan.

Berikut Tabel 5.1 keterkaitan antara masing-masing *waste* dengan dimensi *sustainability*:

Tabel 5.1 Keterkaitan *Waste* dengan *Sustainability*

Jenis Waste	Dimensi Sustainability	Mekanisme Dampak	Indikator Terpengaruh
<i>Waiting</i>	Lingkungan	Peralatan idle tetap mengkonsumsi energi tanpa output, pasokan AF tidak kontinyu memaksa peningkatan proporsi batu bara.	TSR, Emisi CO, Konsumsi Energi
<i>Waiting</i>	Ekonomi	Siklus <i>feeding</i> terhenti memperpanjang <i>lead time</i> dan mengurangi kapasitas harian.	PCE, Kapasitas <i>feeding</i>
<i>Motion</i>	Sosial	Gerakan tidak produktif berulang meningkatkan akumulasi beban fisik operator.	PLI
<i>Inventory</i>	Lingkungan	Penumpukan AF di area terbuka menurunkan nilai kalori material secara gradual sehingga mengurangi efektivitas substitusi batu bara.	TSR, Emisi CO

5.2.3. Dampak *Waste* Terhadap Kinerja Proses

Dari hasil identifikasi, *waste* paling kritis adalah *waiting*. *Waiting* secara langsung memperpanjang *lead time* total proses *feeding*. Dimana semakin banyak waktu tunggu, maka semakin rendah efisiensi proses secara keseluruhan, dan semakin rendah nilai TSR yang dihasilkan. Ketika terjadi keterlambatan dalam menyuplai material, menjadikan suplai AF tidak kontinu, sehingga dapat memengaruhi performa pembakaran dan kestabilan temperatur operasional.

Dampak lanjutan dari kondisi tersebut yakni terhadap pencapaian *Thermal Substitution Rate* (TSR), dimana TSR yang optimal membutuhkan suplai *alternative fuel* yang konsisten dan terkontrol. Apabila proses *feeding* mengalami gangguan atau tidak stabil, maka kontribusi AF

sebagai substitusi batubara menjadi kurang maksimal dan berdampak pada performa energi dan aspek keberlanjutan perusahaan.

5.2.4. Dampak *Waste* Terhadap *Sustainability*

5.2.4.1. Aspek Ekonomi

Akumulasi ketiga *waste* secara bersamaan menyebabkan 26,05% waktu proses digunakan untuk aktivitas yang tidak bernilai tambah. Akibatnya, nilai *Process Cycle Efficiency* (PCE) menjadi rendah dan kapasitas *feeding* aktual di stasiun kerja tertahan di angka 30,7 ton/hari, sehingga perusahaan kehilangan potensi keuntungan yang lebih besar. Potensi kapasitas yang dapat dicapai setelah eliminasi *waste* adalah 35,64 ton/hari. Dengan asumsi margin kontribusi AF sebesar Rp450.000/ton, selisih kapasitas sebesar 4,9 ton/hari akibat *waste* yang belum tereliminasi berpotensi menjadi kehilangan nilai ekonomi sebesar Rp804,8 juta per tahun. Selain itu, peralatan *hoist crane* yang tetap beroperasi dalam kondisi *idle* selama periode *waiting* terus mengonsumsi energi listrik sebesar 22,5 kWh tanpa menghasilkan output yang bernilai tambah, sehingga meningkatkan biaya operasional per ton AF yang berhasil di-*feeding*.

5.2.4.2. Aspek Lingkungan

Waste yang terjadi berdampak pada ketidakstabilan pasokan material AF ke dalam calciner/kiln sehingga, mengganggu kontinuitas pembakaran. Keterhentian proses *feeding* yang disebabkan oleh antrian penggunaan alat angkut, gangguan operasional mesin, maupun kondisi cuaca hujan menyebabkan pasokan AF ke calciner menjadi tidak kontinyu. Ketidakkontinuan ini memaksa sistem pembakaran mengompensasi dengan meningkatkan proporsi batubara, yang secara langsung menekan capaian TSR dan berpotensi meningkatkan emisi CO sebagai produk pembakaran tidak sempurna. Kondisi ini tercermin dari nilai emisi CO tertinggi pada bulan Agustus (641,19 ppm) dan September (605,51 ppm). Selain itu, penumpukan material berdampak pada penurunan kualitas yang lebih gradual. Penumpukan material AF di area penyimpanan terbuka menyebabkan nilai kalori AF menurun akibat paparan cuaca dan kelembaban, sehingga efektivitasnya sebagai substituen batubara berkurang dan menghambat capaian TSR rata-rata yang pada periode pengamatan hanya mencapai 2,52% masih di bawah target 2026 sebesar 2,75%.

5.2.4.3. Aspek Sosial

Waste motion dan beban kerja fisik yang tidak seimbang di area kerja meningkatkan nilai *Physical Load Index* (PLI). Hal ini berdampak langsung pada peningkatan risiko kelelahan fisik

yang ekstrem serta cedera otot/rangka (*musculoskeletal disorders*) bagi operator yang bekerja dalam sistem tiga shift.

5.3. Analisis Hasil Pembobotan *Value Stream Analysis Tools* (VALSAT)

Value stream analysis tools (VALSAT) adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mengidentifikasi dan menggambarkan pemborosan (*waste*) dalam sistem *lean production*, sekaligus digunakan sebagai dasar pemilihan *detailed mapping tool* berdasarkan jenis *waste* yang telah ditentukan sebelumnya.

Berdasarkan hasil pembobotan menggunakan *Value Stream Analysis Tools* (VALSAT), *tools* yang memperoleh nilai tertinggi adalah *Process Activity Mapping* (PAM) dengan nilai sebesar 311 dibanding *tools Supply Chain Response Matrix* (SCRM) sebesar 182, *Demand Amplification Mapping* (DAM) 114, *Decision Point Analysis* (DPA) 70, *Quality Filter Mapping* (QFM) 62, *Production Variety Funnel* (PVF) 47 dan *Physical Structure* (PS) memiliki nilai sebesar 15. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik permasalahan pada proses *feeding* AF lebih dominan berkaitan dengan aktivitas proses secara detail, khususnya aktivitas yang menimbulkan *waste* dalam bentuk waktu dan pergerakan. Oleh karena itu, PAM menjadi *tools* yang paling relevan karena mampu menguraikan setiap aktivitas menjadi kategori *Value Added* (VA), *Non Value Added* (NVA), dan *Necessary but Non Value Added* (NNVA).

5.4. Analisis *Process Activity Mapping*

Process Activity Mapping (PAM) dilakukan untuk melihat secara detail aktivitas yang terjadi pada proses *feeding* AF yang di klasifikasikan ke dalam 5 kategori yakni *Operation*, *Transportation*, *Inspection*, *Storage*, dan *Delay*, serta mengelompokkan aktivitas tersebut kedalam kategori *Value Added* (VA), *Non Value Added* (NVA), dan *Necessary but Non Value Added* (NNVA). Berikut merupakan detail dari aktivitas *feeding* menggunakan PAM:

Aktivitas	Jumlah	Waktu (s)	Persentase
<i>Operation</i> (O)	11	805	42%
<i>Transportation</i> (T)	6	897,9	47%
<i>Inspection</i> (I)	1	15,3	1%
<i>Storage</i> (S)	0	0	0%
<i>Delay</i> (D)	2	181,4	10%
Total	20	1899,6	100%

Aktivitas	Jumlah	Waktu (s)	Persentase
VA	5	1401,9	74%
NNVA	13	316,3	17%
NVA	2	181,4	10%
Total	20	1899,6	100%

Berdasarkan hasil PAM pada kondisi *current state*, terdapat 20 aktivitas dengan total waktu proses sebesar 1.899,6 detik, dengan 11 aktivitas operator yang menghabiskan waktu 805 detik (42%), 6 aktivitas transportation dengan waktu 897,9 detik (47%), 1 aktivitas inspeksi dengan total waktu 15,3 detik (1%), dan 2 aktivitas delay dengan waktu 181,4 detik (10%). Dari total tersebut terdapat 5 aktivitas VA dengan waktu 1.401,9 detik (74%), 13 aktivitas NNVA dengan waktu 316,3 detik (17%), dan 2 aktivitas NVA dengan waktu 181,4 detik (10%). Secara umum, meskipun persentase VA sudah cukup besar, masih terdapat aktivitas NNVA dan NVA yang cukup signifikan.

Aktivitas NVA yang paling terlihat adalah menunggu area *handling* kosong dan menunggu *feeding ready*, yang termasuk kategori *delay*. Aktivitas ini tidak memberikan nilai tambah dan secara langsung memperpanjang *lead time* proses. Selain itu, aktivitas *transportation* juga mendominasi waktu proses, terutama pada tahap *lifting* dan reposisi alat angkut. Hal ini menunjukkan bahwa aliran material masih banyak bergantung pada perpindahan fisik menggunakan alat angkut seperti *hoist*, sehingga potensi *waste* dalam bentuk *motion* dan *waiting* cukup tinggi.

5.5. Hubungan Aktivitas Produksi dengan Dimensi Sustainability

Selain klasifikasi berdasarkan kategori VA, NNVA, dan NVA, setiap aktivitas dalam proses *feeding* AF ditinjau dari perspektif keberlanjutan untuk memahami dampaknya terhadap dimensi ekonomi, lingkungan, dan sosial. Berikut Tabel 5.2 merupakan hubungan aktivitas produksi dengan dimensi *sustainability*:

Tabel 5.2 Hubungan Aktivitas Produksi dengan *Sustainability*

Kode	Aktivitas	Kategori	Dimensi <i>Sustainability</i>	Dampak terhadap <i>sustainability</i>
A1	Mengambil Jumbo bag	NNVA	Sosial	Gerakan perpindahan manual berulang berkontribusi pada akumulasi beban fisik operator (PLI)
A2	Memeriksa Kondisi Jumbo bag	NNVA	Ekonomi	Inpeksi mencegah kegagalan proses yang dapat memperpanjang <i>lead time</i>
A3	Memasukkan material sak ke jumbo bag	VA	Ekonomi, Sosial	Aktivitas utama bernilai tambah; postus membungkuk dan berulang meningkatkan beban fisik operator
A4	Merapikan sak agar maksimal	NNVA	Ekonomi, Sosial	Memperpanjang waktu persiapan; gerakan berulang menambah beban fisik
A5	Memasukkan material sak ke jumbo bag hingga penuh	NNVA	Ekonomi, sosial	Duplikasi aktivitas A3 yang dapat dieliminasi; menambah beban fisik operator
A6	Memindahkan jumbo bag ke area angkut	NNVA	Sosial	Perpindahan manual beban berat berkontribusi langsung pada peningkatan PLI
A7	Mengaitkan Jumbo bag ke Alat Angkut	NNVA	Sosial	Portur kerja tidak ergonomis akibat ketinggian alat angkut meningkatkan risiko beban fisik
B1	Mengangkat Material Jumbo bag ke <i>feeding point</i>	VA	Lingkungan, ekonomi	Aktivitas utama bernilai tambah; konsumsi energi listrik <i>hoist crane</i> sebesar 22,5 kWh
B2	Menunggu area <i>handling</i> kosong	NVA	Ekonomi, Lingkungan	Memperpanjang <i>lead time</i> 61,1 detik; <i>hoist crane</i> tetap menyala dalam konsisi <i>idle</i> saat menunggu

Tabel 5.2 Lanjutan Hubungan Aktivitas Produksi dengan *Sustainability*

Kode	Aktivitas	Kategori	Dimensi <i>Sustainability</i>	Dampak terhadap <i>sustainability</i>
B3	Penempatan Landing Area	NNVA	Ekonomi	Aktivitas penunjang yang memperpanjang waktu siklus tanpa nilai tambah langsung
C1	Melepas Pengait Jumbo bag	NNVA	Sosial	Gerakan manual berulang seriap siklus berkontribusi pada akumulasi beban fisik
C2	Menunggu <i>Feeding Ready</i>	NVA	Ekonomi, Lingkungan	Pemborosan waktu sebesar (120,3 detik); pasokan AF ke calciner tertunda berdampak pada stabilitas TSR
C3	Mengaitkan Jumbo bag menuju Hopper	NNVA	Sosial	Postur kerja tidak optimal saat pengaitan berkontribusi pada nilai PLI
C4	Penempatan jumbo bag ke Hopper	NNVA	Lingkungan	Konsumsi energi tanpa output langsung apabila terjadi keterlambatan feeding
C5	Melepas Pengait Jumbo bag	NNVA	Sosial	Gerakan berulang di setiap siklus menambah akumulasi beban fisik operator
D1	Membuka sak Material	VA	Ekonomi	Aktivitas bernilai tambah sebagai tahap awal proses <i>feeding</i> ke calciner
D2	Memasukan material ke Hopper	VA	Ekonomi, Lingkungan	Aktivitas inti yang menentukan capaian TSR; kontinuitas aktivitas ini langsung memengaruhi stabilitas substitusi batubara.
E1	Pengumpulan sak	NNVA	Sosial, Ekonomi	Perpindahan manual berulang menambah beban fisik & memperpanjang waktu siklus reposisi

Tabel 5.2 Lanjutan Hubungan Aktivitas Produksi dengan *Sustainability*

Kode	Aktivitas	Kategori	Dimensi	Dampak terhadap <i>sustainability</i>
<i>Sustainability</i>				
E2	Memasukkan sak ke jumbo bag	NNVA	Sosial	Gerakan membungkuk dan mengangkat berulang berkontribusi pada akumulasi PLI
E3	Mengembalikan hoist ke posisi awal	VA	Lingkungan, Ekonomi	Aktivitas penunjang siklus berikutnya; konsumsi energi listrik <i>hoist crane</i> sebesar 22,5 kWh

Berdasarkan tabel di atas dari 20 aktivitas, sebagian besar aktivitas NNVA berdampak pada dimensi sosial melalui akumulasi beban fisik operator, sementara aktivitas NVA (B2 dan C2) berdampak paling signifikan terhadap dimensi ekonomi dan lingkungan karena secara langsung memperpanjang *lead time* sekaligus mengganggu kontinuitas pasokan AF ke *calciner*. Aktivitas VA yang berdampak lingkungan secara positif adalah D2 (memasukkan material ke hopper) karena merupakan aktivitas yang secara langsung menentukan capaian TSR dan efektivitas substitusi batubara.

5.6. Analisis *Fishbone Diagram*

Fishbone diagram digunakan sebagai alat untuk menganalisis faktor-faktor penyebab terjadinya *waste* dalam suatu proses. Berdasarkan hasil pengolahan kuesioner *waste*, diperoleh informasi bahwa jenis *waste* yang paling dominan adalah *waiting*, *motion*, dan *inventory*. Adapun hasil analisis *fishbone* yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

5.6.1. *Waste Waiting*

Berdasarkan *fishbone diagram* pada gambar 4.5, *waste waiting* disebabkan oleh beberapa faktor utama dalam kategori *man*, *machine*, *method*, dan *environment*.

1. *Machine*

Terdapat dua akar masalah dari sisi mesin. Penyebab pertama, alat angkut dan mesin yang sering mengalami gangguan operasional menyebabkan proses pengangkutan material AF terhenti secara tidak terjadwal, sehingga menimbulkan waktu tunggu yang tidak dapat diprediksi atau operator harus menunggu hingga mesin kembali berfungsi normal. Kedua, jumlah alat angkut yang terbatas menyebabkan antrian penggunaan alat, terlebih ketika alat angkut yang tersedia sedang digunakan untuk menunjang kegiatan lain di luar proses

feeding AF, sehingga ketersediaan alat tidak selalu dapat memenuhi kebutuhan operasional secara tepat waktu.

1. *Method*

Dari aspek metode, terdapat dua penyebab yakni tidak adanya standar waktu siklus untuk setiap aktivitas menyebabkan pelaksanaan pekerjaan tidak memiliki acuan waktu yang jelas sehingga durasi setiap aktivitas menjadi tidak terkontrol dan cenderung bervariasi. Kedua, tidak adanya sistem prioritas penggunaan alat angkut mengakibatkan pengelolaan sumber daya alat angkut menjadi tidak terstruktur, sehingga berpotensi menimbulkan konflik pemakaian dan waktu tunggu yang tidak perlu.

2. *Environment*

Dari sisi lingkungan, cuaca hujan menjadi faktor penghambat proses pengangkutan material AF. Kondisi cuaca yang tidak dapat dikendalikan ini secara langsung mempengaruhi kelancaran aktivitas pengangkutan dan pemindahan material AF menjadi faktor eksternal yang signifikan dikarenakan *storage* AF yang digunakan berada di area terbuka. Kondisi cuaca yang tidak dapat dikendalikan ini menyebabkan aktivitas pengangkutan material AF terpaksa dihentikan sementara, sehingga menimbulkan waktu tunggu yang berdampak langsung pada kelancaran aliran material ke proses selanjutnya. Selain itu, area dan fasilitas yang terbatas juga memengaruhi pergerakan alat angkut maupun operator dalam melakukan aktivitas *feeding*.

3. *Man*

Pada faktor manusia, terdapat penyebab seperti operator masih menunggu instruksi ketika terjadi gangguan mesin atau operasional. Kondisi ini menyebabkan adanya jeda waktu antara terjadinya gangguan dengan dimulainya tindakan penanganan, sehingga berkontribusi terhadap bertambahnya waktu tunggu. Kemudian, kemampuan *troubleshooting* ringan pada sebagian operator masih perlu ditingkatkan. Ketika menghadapi gangguan sederhana di lapangan, operator cenderung mengandalkan bantuan dari pihak lain untuk menyelesaikannya. Hal ini dapat memperlambat respons terhadap gangguan dan berpotensi menambah durasi lebih lama dari yang seharusnya.

5.6.2. *Waste Motion*

Berdasarkan *fishbone diagram* pada gambar 4.6, *waste motion* disebabkan oleh beberapa faktor utama dalam kategori *man*, *machine*, *method*, dan *environment* sebagai berikut:

1. *Man*

Faktor manusia mengidentifikasi satu penyebab yang bersumber dari aspek perilaku dan kesadaran kerja operator di lapangan. Kurangnya kesadaran operator terhadap efisiensi gerakan kerja menjadi salah satu faktor penyebab munculnya *waste motion*. Ketika operator belum memahami pentingnya gerakan kerja yang efisien, gerakan-gerakan yang tidak diperlukan cenderung dilakukan secara berulang dalam setiap siklus proses. Kondisi ini menyebabkan bertambahnya waktu penyelesaian pada masing-masing stasiun kerja meskipun tidak ada gangguan operasional yang terjadi.

2. *Machine*

Pada kategori *machine*, teridentifikasi satu penyebab yang berkaitan dengan ketersediaan alat bantu dalam operasional proses *feeding* AF. Tidak tersedianya alat bantu yang memadai menyebabkan operator perlu melakukan gerakan tambahan untuk menyelesaikan tugasnya. Ketiadaan alat bantu yang sesuai mendorong operator untuk mencari alternatif cara kerja yang pada akhirnya membutuhkan lebih banyak gerakan dan waktu dibandingkan apabila alat bantu yang tepat tersedia di lokasi kerja.

3. *Method*

Belum adanya standar urutan kerja yang efisien menyebabkan operator melakukan gerakan-gerakan yang tidak perlu, terutama pada aktivitas pengikatan dan pelepasan jumbo bag. Tanpa acuan langkah kerja yang baku, cara pelaksanaan aktivitas tersebut dapat berbeda-beda antar operator bergantung pada kebiasaan masing-masing, sehingga menimbulkan gerakan tambahan yang sebenarnya dapat dihindari apabila terdapat prosedur yang seragam. Kemudian, aktivitas bolak-balik operator antara area persiapan maupun *feeding point* terjadi karena belum adanya penerapan 5S secara optimal, sehingga peralatan dan material tidak selalu tersedia di titik yang dibutuhkan. Akibatnya, operator harus kembali ke area persiapan untuk mengambil atau menyesuaikan sesuatu yang seharusnya sudah siap di *feeding point* maupun di titik pengangkutan, sehingga setiap siklus proses terbebani oleh gerakan yang tidak memberikan nilai tambah secara langsung.

4. *Environment*

Pada kategori lingkungan, jalur pergerakan yang sering terhalang material memaksa operator untuk mengambil jalur alternatif atau melakukan manuver tambahan saat berpindah antar titik kerja. Hambatan pada jalur pergerakan secara langsung menambah

jarak dan jumlah gerakan yang harus dilakukan operator dalam setiap siklus proses. Selain itu, dikarenakan area kerja yang sempit dan kurang tertata. Keterbatasan ruang gerak menyebabkan operator kesulitan dalam melakukan aktivitasnya secara efisien. Area yang tidak tertata dengan baik berpotensi mempersulit akses terhadap peralatan dan material, sehingga mendorong terjadinya gerakan-gerakan tambahan yang tidak memberikan nilai tambah pada proses dan perlu dilakukan penerapan 5S pada proses *feeding*.

5.6.3. *Waste Inventory*

Berdasarkan *fishbone diagram* pada gambar 4.7, *waste inventory* disebabkan oleh beberapa faktor utama dalam kategori *man*, *machine*, *measurement*, dan *environment* sebagai berikut:

1. *Man*

Dalam kategori *man*, teridentifikasi dua penyebab yang bersumber dari perilaku dan kebiasaan kerja operator. Pertama, *manpower* melakukan *overpreparation*, operator cenderung mempersiapkan material melebihi kebutuhan aktual sehingga menyebabkan penumpukan stok yang tidak terencana. Kemudian, ketidakdisiplinan dalam penerapan metode FIFO (*First In First Out*) mengakibatkan material yang masuk lebih awal tidak selalu diproses terlebih dahulu, sehingga berpotensi menimbulkan material yang mengendap terlalu lama di area penyimpanan sekaligus meningkatkan risiko penurunan kualitas material AF akibat terlalu lama disimpan.

2. *Machine*

Pada kategori mesin, teridentifikasi penyebab yang berkaitan dengan kemampuan dan kapasitas peralatan yang digunakan. *Feeding rate* yang tidak selalu stabil menyebabkan jumlah material yang dapat diproses dalam satu waktu menjadi tidak konsisten. Ketika *feeding rate* mengalami penurunan, material yang telah disiapkan tidak dapat segera diproses sehingga terjadi penumpukan di area antara persiapan dan *feeding point*. Selain itu, kapasitas *feeding* yang terbatas menyebabkan tidak semua material yang telah disiapkan dapat langsung dimasukkan ke dalam sistem pembakaran sesuai jadwal. Sehingga kondisi ini mendorong terjadinya akumulasi material yang menunggu giliran untuk diproses.

3. *Measurement*

Pada kategori *measurement*, sistem yang diterapkan yakni masih bersifat jaga-jaga. Pendekatan operasional dengan mengandalkan stok dalam jumlah besar sebagai antisipasi gangguan menyebabkan material AF selalu disiapkan melebihi kebutuhan riil. Meskipun bertujuan menjaga kontinuitas pasokan, justru berkontribusi terhadap overstock ataupun penumpukan material yang tidak terkendali di area kerja. Hal ini juga dapat disebabkan karena tidak adanya pencatatan konsumsi harian secara detail, sehingga menyebabkan estimasi kebutuhan menjadi tidak presisi dan cenderung berlebih.

4. *Environment*

Pada kategori lingkungan, kondisi cuaca yang tidak menentu (khususnya hujan), dapat menghambat proses *feeding* sehingga material yang telah disiapkan tidak dapat segera digunakan. Akibatnya, material tertahan lebih lama dan berkontribusi terhadap penumpukan di area penyimpanan sementara. Selain itu, area penyimpanan yang terbatas memperparah kondisi karena kapasitas fisik yang tidak memadai menyebabkan material tidak tertata dengan baik dan sulit dikelola secara efisien. Ruang yang tidak memadai mempersulit penerapan sistem FIFO secara konsisten dan membuat kondisi penumpukan semakin sulit dikendalikan, terutama pada saat volume kedatangan material melebihi kapasitas yang tersedia.

5.7. *Analisis Sustainable Metric*

5.7.1. *Aspek Ekonomi*

Aspek ekonomi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *process cycle efficiency* (PCE), yang menggambarkan proporsi waktu aktivitas bernilai tambah terhadap total *lead time* proses. Berdasarkan hasil perhitungan *process activity mapping* (PAM), diperoleh nilai PCE pada kondisi *current state* sebesar 73,95% dengan rincian waktu *value added* sebesar 1.401,9 detik dari total *lead time* 1.899,6 detik.

Nilai PCE sebesar 73,95% mengindikasikan bahwa masih terdapat 26,05% dari total waktu proses yang dihabiskan untuk aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah, baik berupa NNVA (316,3 detik) maupun NVA (181,4 detik). Aktivitas NVA yang paling dominan adalah aktivitas menunggu area handling kosong (B2: 61,1 detik) dan menunggu *feeding ready* (C2: 120,3 detik), yang secara langsung menekan efisiensi proses.

5.7.2. Aspek Lingkungan

Aspek lingkungan dalam penelitian ini difokuskan pada tiga indikator utama yakni *thermal substitution rate* (TSR), emisi karbon monoksida (CO), dan konsumsi energi listrik.

1. *Thermal substitution rate* (TSR)

TSR digunakan sebagai indikator tingkat substitusi bahan bakar fosil dengan *alternative fuel* dalam proses pembakaran kiln, dimana setiap perusahaan memiliki capaian TSR yang berbeda-beda. Semakin tinggi capaian TSR, semakin besar kontribusi penggunaan AF dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar konvensional sekaligus menurunkan emisi karbon (Indra & Solikin, 2024). Berdasarkan data capaian TSR sepanjang tahun 2025, diperoleh nilai rata-rata sebesar 2,52%, sedikit melampaui target perusahaan sebesar 2,5% dengan selisih peningkatan hanya 0,02%.

Meskipun rata-rata capaian TSR telah memenuhi target, terdapat dua periode dengan capaian TSR sebesar 0%, yaitu pada bulan April dan Juni. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proses *feeding* AF sepenuhnya terhenti pada kedua periode tersebut bukan karena penurunan kinerja lingkungan, melainkan akibat tidak adanya aktivitas produksi yang berlangsung. Namun demikian, ketidakstabilan capaian TSR antar periode menunjukkan bahwa peluang optimalisasi penggunaan AF dapat ditingkatkan dilihat dari bulan seperti Januari (2,77%) dan Mei (2,62%) mampu melampaui target secara lebih signifikan dibandingkan bulan-bulan lainnya yang hanya berada sedikit di atas ambang batas target.

2. Konsumsi Energi Listrik

Konsumsi energi listrik pada proses *feeding* AF terkonsentrasi pada dua aktivitas utama, yaitu aktivitas *lifting* dan reposisi alat angkut yang masing-masing mengonsumsi energi sebesar 22,5 kWh. Sementara itu, aktivitas persiapan material, *handling*, dan *feeding* tidak mengonsumsi energi listrik karena tidak menggunakan peralatan berbasis listrik secara langsung maupun tidak langsung pada periode pengamatan.

3. Emisi Karbon Monoksida (CO)

Data emisi CO selama periode pengamatan menunjukkan fluktuasi yang cukup signifikan dengan nilai rata-rata sebesar 395,01 ppm. Nilai emisi tertinggi terjadi pada bulan Agustus dan September, masing-masing sebesar 641,19 ppm dan 605,51 ppm, sementara nilai terendah tercatat pada bulan Juni sebesar 0 ppm yang berkorelasi dengan tidak adanya aktivitas produksi pada periode tersebut.

Fluktuasi emisi CO yang signifikan antar periode mencerminkan ketidakstabilan proses pembakaran yang dipengaruhi oleh kualitas dan kontinuitas *feeding* AF ke calciner. Ketika proses *feeding* terganggu akibat *waste waiting* atau ketidakstabilan *feeding rate*, proporsi batubara yang digunakan meningkat sehingga berpotensi meningkatkan emisi CO sebagai produk sampingan pembakaran yang tidak sempurna.

5.7.3. Aspek Sosial

Aspek sosial pada penelitian ini dikaji melalui lima indikator utama, sebagai berikut:

1. *Physical Load Index* (PLI)

Physical Load Index (PLI) digunakan untuk mengukur tingkat beban fisik operator pada masing-masing stasiun kerja berdasarkan postur, jenis aktivitas, dan berat beban yang ditangani. Hasil perhitungan PLI pada kondisi *current state* menunjukkan distribusi beban yang tidak merata antar stasiun, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.19.

Pada proses persiapan material dan *feeding* menjadi perhatian utama karena keduanya berada pada kategori beban rata-rata dengan nilai PLI di atas 19. Kedua proses ini didominasi oleh aktivitas manual yang melibatkan penanganan beban secara berulang, seperti memasukkan material sak ke jumbo bag, mengatur posisi material, dan memasukkan material ke hopper. Paparan beban fisik yang tinggi secara kumulatif pada sistem kerja tiga shift selama 24 jam berpotensi menimbulkan kelelahan otot dan risiko cedera muskuloskeletal pada operator.

2. Kebisingan

Berdasarkan hasil pengukuran kebisingan pada area kiln yang merupakan salah satu sumber utama kebisingan di lingkungan kerja proses *feeding* AF, diperoleh nilai sebesar 83,6 dB(A). Nilai ini masih berada di bawah nilai ambang batas (NAB) yang ditetapkan sebesar 85 dB(A) sesuai standar *Sound Level Meter* (SL-4035-SD), sehingga kondisi kebisingan di area kerja masih tergolong relatif aman namun tetap perlu dikendalikan. Meskipun masih dalam batas yang diperbolehkan, paparan kebisingan yang berlangsung secara berkelanjutan dalam sistem kerja tiga *shift* selama 24 jam berpotensi menimbulkan gangguan pendengaran kumulatif pada operator dalam jangka panjang apabila tidak disertai dengan penggunaan alat pelindung diri yang memadai.

3. Intensitas Debu

Hasil pengukuran intensitas debu pada area kerja proses *feeding* AF menunjukkan nilai sebesar 1,25 mg/m³, jauh di bawah NAB yang ditetapkan sebesar 10 mg/m³ menggunakan

alat ukur Rotameter-LVAS. Kondisi ini menunjukkan bahwa lingkungan kerja proses *feeding* AF masih dalam batas yang diperbolehkan dari sisi paparan debu. Meskipun demikian, intensitas debu yang dihasilkan selama proses produksi semen tetap perlu menjadi perhatian, mengingat paparan debu secara terus-menerus meskipun di bawah NAB tetap berpotensi menimbulkan gangguan pernapasan dan iritasi pada organ pernapasan operator dalam jangka panjang.

4. Tingkat Kehadiran Pekerja

Berdasarkan data tingkat kehadiran pekerja selama enam bulan terakhir sejak penelitian berlangsung, diperoleh rata-rata tingkat kehadiran sebesar 94%. Pada bulan September hingga Desember 2025, tingkat kehadiran mencapai 100%, menunjukkan kondisi yang sangat baik. Namun terjadi penurunan signifikan pada bulan Januari 2026 dengan tingkat kehadiran hanya 73,08%, di mana dari 26 pekerja hanya 19 yang hadir. Kondisi serupa terjadi pada bulan Februari 2026 dengan tingkat kehadiran 90% dari 40 pekerja. Penurunan tingkat kehadiran yang cukup signifikan pada bulan Januari dan Februari mengindikasikan adanya potensi ketidakhadiran pekerja yang perlu mendapat perhatian serius. Hasil wawancara menunjukkan bahwa tingkat absensi pekerja selama kedua bulan tersebut dipengaruhi oleh adanya perubahan sistem kerja dan kebijakan operasional, sehingga berpotensi mengganggu kelancaran proses *feeding* AF serta memengaruhi pencapaian target produksi yang telah ditetapkan.

5. Risiko Kerja

Berdasarkan hasil penilaian risiko kerja, seluruh aktivitas dalam proses *feeding* AF memiliki potensi bahaya yang bervariasi dengan tiga tingkatan klasifikasi risiko, sebagai berikut:

a. Klasifikasi *Low* (L):

Klasifikasi *Low* (L) meliputi aktivitas mengambil jumbo bag (A1), memeriksa kondisi jumbo bag (A2), mengaitkan jumbo bag ke alat angkut (A7), serta beberapa aktivitas pada proses *handling* (C1, C2, C3, C4, C5). dan (E1,E2) Meskipun tergolong risiko rendah, aktivitas-aktivitas ini tetap memerlukan pengendalian standar berupa penggunaan APD dan prosedur kerja yang aman.

b. Klasifikasi *Moderate* (M):

Klasifikasi *Moderate* (M) meliputi aktivitas memasukkan material sak ke jumbo bag (A3), merapikan sak (A4), memasukkan material hingga penuh (A5,A6),

aktivitas pada proses *lifting* (B1, B3), *feeding* (D1, D2), Potensi bahaya utama pada kategori ini adalah gangguan muskuloskeletal, cedera otot dan punggung, serta kelelahan akibat gerakan berulang yang memerlukan pengendalian berupa pelatihan ergonomi, rotasi kerja, dan penyediaan alat bantu material *handling*.

c. Klasifikasi *High* (H):

Klasifikasi *High* (H) teridentifikasi pada aktivitas mengembalikan *hoist* ke posisi awal (E3) dengan potensi bahaya bekerja di area ketinggian yang dapat menyebabkan cedera serius. Aktivitas ini memperoleh nilai *likelihood* 1 dan *severity* 4, sehingga memerlukan pengendalian berupa penggunaan *harness* pengaman, inspeksi rutin peralatan *hoist*, serta penerapan prosedur kerja di area ketinggian yang ketat.

5.8. Analisis Usulan Perbaikan

5.8.1. Usulan Perbaikan

Rencana perbaikan yang diusulkan menggunakan pendekatan *kaizen* sebagai upaya perbaikan berkelanjutan yang diimplementasikan melalui penyusunan rencana tindakan berbasis 5W+1H:

Berikut merupakan pendekatan 5W+1H masing-masing *waste* tertera pada tabel 5.3 dibawah ini

Tabel 5.3 5W1H *Waste Waiting*

Letak Potensi Perbaikan (<i>Where</i>)	<i>What</i>	<i>When</i>	<i>Who</i>	<i>Why</i>	<i>How</i>
Gangguan operasional mesin dan alat angkut	Mengurangi waktu tunggu pada proses <i>feeding</i> AF agar aliran material berjalan lebih lancar dan kontinu	Saat alat angkut atau mesin mengalami gangguan operasional	Operator alat angkut, teknisi <i>maintenance</i> , supervisor produksi	Gangguan mesin menyebabkan proses <i>feeding</i> terhenti sehingga target TSR dan kapasitas <i>feeding</i> tidak terpenuhi	Melaksanakan <i>preventive maintenance</i> secara terjadwal pada mesin <i>feeding</i> dan <i>hoist crane</i>
Keterbatasan jumlah alat angkut	Mengurangi antrian penggunaan alat angkut yang menyebabkan waktu tunggu material di <i>feeding point</i>	Saat kebutuhan pengangkutan meningkat dan alat angkut sedang digunakan untuk kegiatan lain	Operator alat angkut dan supervisor produksi	Alat angkut yang terbatas dan sering dialihkan untuk kegiatan lain menyebabkan antrian dan keterlambatan <i>feeding</i>	Menambahkan satu unit alat angkut dan menetapkan sistem prioritas penggunaan alat angkut khusus proses <i>feeding</i> AF

Letak Potensi Perbaikan (<i>Where</i>)	<i>What</i>	<i>When</i>	<i>Who</i>	<i>Why</i>	<i>How</i>
Tidak ada standar waktu siklus tiap aktivitas	Menyusun standar waktu siklus sebagai acuan baku operasional	Saat proses <i>feeding</i> berlangsung tanpa panduan waktu yang terstruktur	Supervisor produksi dan operator	Tanpa standar waktu siklus, durasi setiap aktivitas menjadi tidak terkontrol dan cenderung bervariasi	Menyusun dan mendokumentasikan standar waktu siklus untuk setiap aktivitas sebagai acuan operasional harian
Menunggu instruksi saat terjadi gangguan ringan	Mengurangi ketergantungan operator terhadap instruksi atasan saat terjadi gangguan ringan	Saat terjadi gangguan operasional pada mesin atau alat angkut	Operator <i>feeding</i> dan operator alat angkut	Operator tidak memiliki kewenangan dan kompetensi untuk menangani gangguan ringan secara mandiri	Memberikan pelatihan <i>troubleshooting</i> ringan dan menyusun alur komunikasi yang lebih cepat saat terjadi gangguan

Tabel 5.4 5W1H *Waste Motion*

Letak Potensi Perbaikan (Where)	What	When	Who	Why	How
Kesadaran terhadap efisiensi gerakan kerja	Meningkatkan kesadaran operator terhadap pentingnya efisiensi gerakan dalam proses feeding AF	Saat seluruh aktivitas proses <i>feeding</i> berlangsung	Seluruh operator dan supervisor produksi	Operator belum memahami bahwa gerakan yang tidak efisien merupakan bentuk pemborosan yang memperpanjang waktu siklus	Memberikan pelatihan dan sosialisasi rutin mengenai konsep <i>lean manufacturing</i> dan pentingnya efisiensi gerakan kepada seluruh operator
Jalur pergerakan sering terhalang material	Memastikan jalur pergerakan operator selalu bersih dan bebas hambatan selama proses berlangsung	Saat material menumpuk di jalur pergerakan operator	Operator persiapan material dan supervisor produksi	Penumpukan material di jalur pergerakan memaksa operator mengambil jalur alternatif yang lebih panjang sehingga menambah gerakan tidak produktif	Menerapkan prinsip Seiso dan Seiton dalam 5S untuk memastikan jalur pergerakan selalu bersih dan material ditempatkan pada lokasi yang telah ditentukan

Letak Potensi Perbaikan (Where)	What	When	Who	Why	How
Area kerja sempit dan kurang tertata	Mengoptimalkan tata letak area kerja agar lebih luas, tertata, dan mendukung kelancaran pergerakan operator	Saat operator kesulitan bergerak akibat area kerja yang sempit dan tidak tertata	Seluruh operator dan supervisor produksi	Area kerja yang sempit dan kurang tertata menyebabkan operator harus melakukan gerakan tidak langsung untuk mencapai suatu titik dalam area kerja	Melakukan penataan ulang tata letak area kerja berdasarkan prinsip 5S agar ruang gerak operator lebih leluasa dan efisien
Tidak tersedia alat bantu yang memadai	Menyediakan alat bantu untuk mengurangi gerakan manual berlebihan dalam pemindahan material	Saat operator memindahkan dan menangani jumbo bag secara manual	Operator persiapan material	Tanpa alat bantu yang memadai, operator harus melakukan gerakan berulang dan tidak ergonomis dalam menangani material	Menyediakan alat bantu <i>material handling</i> seperti <i>hand pallet</i> atau <i>trolley</i> khusus jumbo bag di area persiapan material, selain itu dapat menerapkan sistem curah dimana menggunakan mesin loader.

Letak Potensi Perbaikan (Where)	What	When	Who	Why	How
Tidak ada standar urutan kerja yang efisien	Menyusun standar urutan kerja yang paling efisien untuk setiap aktivitas proses feeding AF	Saat seluruh aktivitas proses feeding berlangsung	Supervisor produksi dan seluruh operator	Tanpa SOP yang baku, setiap operator bekerja dengan caranya masing-masing sehingga gerakan tidak selalu optimal	Menyusun dan mendokumentasikan SOP urutan kerja yang efisien serta memasangnya secara visual di area kerja
Belum ada penerapan 5S secara optimal	Menerapkan 5S secara konsisten untuk menciptakan area kerja yang tertata dan mendukung efisiensi gerakan	Saat area kerja sempit, tidak tertata, dan jalur pergerakan terhalang material	Seluruh operator dan supervisor produksi	Penerapan 5S yang belum optimal menyebabkan area kerja sempit, tidak tertata, dan jalur pergerakan sering terhalang	Melaksanakan program 5S secara menyeluruh dan konsisten serta melakukan audit 5S secara berkala sebagai evaluasi

Tabel 5.5 5W1H *Waste Inventory*

Letak Potensi Perbaikan (Where)	What	When	Who	Why	How
Kapasitas <i>feeding</i> terbatas	Mengoptimalkan kapasitas <i>feeding</i> agar lebih seimbang dengan jumlah material yang disiapkan	Saat kapasitas <i>feeding</i> tidak mampu mengimbangi jumlah material yang telah disiapkan	Operator <i>feeding</i> dan supervisor produksi	Kapasitas <i>feeding</i> yang terbatas menyebabkan material yang telah disiapkan tidak langsung terpakai sehingga menumpuk di area persiapan	Menyesuaikan jumlah persiapan material dengan kapasitas <i>feeding</i> aktual dan mengkaji kemungkinan peningkatan kapasitas peralatan <i>feeding</i>
Tidak ada pencatatan konsumsi harian secara detail	Membangun sistem pencatatan konsumsi harian sebagai dasar perencanaan kebutuhan material yang akurat	Setiap <i>shift</i> sebelum dan sesudah proses <i>feeding</i> berlangsung	Operator <i>feeding</i> dan supervisor produksi	Tanpa data konsumsi yang akurat, estimasi kebutuhan material menjadi tidak presisi dan cenderung berlebih	Membuat formulir pencatatan konsumsi AF harian yang wajib diisi setiap shift dan dievaluasi mingguan
Tidak disiplin dalam penerapan FIFO	Menerapkan sistem FIFO secara konsisten agar	Saat material AF disiapkan dan	Operator persiapan material	Ketidakdisiplinan FIFO menyebabkan material mengendap	Membuat sistem FIFO yang jelas dengan penandaan

Letak Potensi Perbaikan (Where)	What	When	Who	Why	How
	material yang masuk lebih awal digunakan lebih dulu	digunakan dalam proses feeding		terlalu lama sehingga berpotensi menurunkan nilai kalori AF	tanggal masuk material dan melakukan sosialisasi rutin kepada operator
Area penyimpanan terbatas dan penumpukan material	Mengoptimalkan tata letak area penyimpanan untuk mengurangi penumpukan dan memperlancar aliran material	Saat material AF menumpuk di area persiapan dan feeding point	Operator persiapan material dan supervisor produksi	Area penyimpanan yang terbatas diperparah dengan penumpukan material berlebih sehingga menghambat aliran dan pergerakan operator	Menata ulang area penyimpanan berdasarkan prinsip 5S dan menyesuaikan jumlah stok dengan kapasitas area yang tersedia

Berikut merupakan penerapan 5S yang dapat menjadi usulan perbaikan pada penelitian ini:

Tabel 5.6 Usulan 5S

Elemen 5S	Kondisi Lapangan	Usulan Perbaikan
Seiri (Ringkas)	Jalur pergerakan operator sering terhalang oleh material yang tidak terpakai atau tidak pada tempatnya, sehingga menambah gerakan tidak produktif.	Melakukan identifikasi dan pemilahan material serta peralatan yang benar-benar dibutuhkan di area kerja. Material yang tidak diperlukan dalam proses segera dipindahkan ke tempat penyimpanan yang sesuai agar jalur pergerakan operator tetap bersih dan bebas hambatan.
Seiton (Rapi)	Peralatan pendukung tidak ditempatkan di dekat area kerja sehingga operator harus berjalan lebih jauh untuk mengambil peralatan	Menata dan menempatkan seluruh peralatan pendukung di lokasi yang paling dekat dan mudah dijangkau dari titik kerja utama. Setiap peralatan diberi label dan tanda lokasi penyimpanan yang jelas agar operator dapat mengambil dan mengembalikan alat tanpa gerakan berlebihan
Seiso (Resik/Bersih)	Area kerja sempit dan kurang tertata akibat penumpukan material sisa maupun kotoran yang tidak segera dibersihkan, sehingga mempersempit ruang gerak operator	Menetapkan jadwal pembersihan rutin di area kerja setiap awal dan akhir shift. Setiap operator bertanggung jawab membersihkan area kerjanya masing-masing agar kondisi area selalu rapi, bersih, dan mendukung pergerakan yang efisien.
Seiketsu (Rawat)	Tidak adanya standar urutan kerja yang efisien menyebabkan setiap operator bekerja dengan cara yang berbeda-beda tanpa panduan baku, sehingga gerakan yang	Menyusun dan mendokumentasikan <i>Standard Operating Procedure (SOP)</i> yang mencakup standar penempatan alat, urutan kerja, dan jalur pergerakan operator secara baku. SOP tersebut dipasang secara visual di area kerja agar

Elemen 5S	Kondisi Lapangan	Usulan Perbaikan
Shitsuke (Rajin)	dilakukan tidak konsisten dan tidak selalu optimal	mudah diakses dan dipahami oleh seluruh operator
	Penerapan 5S belum berjalan secara optimal dan kurangnya kesadaran operator terhadap efisiensi gerakan kerja menunjukkan bahwa budaya kerja yang disiplin dan terstandar belum terbentuk dengan baik	Melaksanakan pelatihan dan sosialisasi secara rutin mengenai prinsip 5S dan pentingnya efisiensi gerakan kepada seluruh operator. Melakukan audit 5S secara berkala sebagai bentuk evaluasi kepatuhan, serta memberikan apresiasi kepada operator atau tim yang konsisten menerapkan standar kerja yang telah ditetapkan.

5.8.2. Usulan Perbaikan Aspek *Sustainability*

5.8.2.1. Aspek Ekonomi

Pada aspek ekonomi, usulan perbaikan difokuskan pada eliminasi dua aktivitas *non value added*, yaitu aktivitas menunggu area *handling* kosong (B2) dan menunggu *feeding* siap (C2). Selain itu, dilakukan reduksi beberapa aktivitas *necessary non-value added* melalui penataan ulang alur kerja dan standarisasi prosedur operasional. Implementasi perbaikan tersebut secara langsung meningkatkan PCE menjadi 88,8%, mengurangi lead time sebesar 261,6 detik, dan meningkatkan kapasitas *feeding* dari 30,7 ton/hari menjadi 35,64 ton/hari. Dengan asumsi margin kontribusi penggunaan AF sebesar Rp450.000/ton, peningkatan kapasitas sebesar 4,9 ton/hari berpotensi memberikan penghematan sebesar Rp 2,2 juta/hari atau sekitar Rp 804,8 juta/tahun dengan asumsi operasi berlangsung selama 365 hari.

5.8.2.2. Aspek Lingkungan

Usulan perbaikan berfokus pada stabilitas proses *feeding* sebagai prasyarat utama dalam peningkatan TSR. Penerapan *preventive maintenance* terjadwal pada *hoist crane* dan mesin *feeding* bertujuan meminimalkan gangguan operasional yang menjadi penyebab utama terputusnya pasokan AF ke *calciner*. Penyusunan standar waktu siklus dan sistem prioritas penggunaan alat angkut akan memastikan aliran material berlangsung lebih stabil dan kontinyu. Dengan stabilitas *feeding* yang meningkat dan kapasitas yang naik menjadi 35,64 ton/hari,

target TSR pada tahun 2026 berpotensi untuk dicapai. Peningkatan TSR ini secara langsung mengurangi proporsi batubara dalam proses pembakaran, yang pada gilirannya berkontribusi pada penurunan emisi CO sebagai bentuk nyata komitmen keberlanjutan lingkungan perusahaan. Selain itu, penerapan sistem pencatatan konsumsi AF harian berbasis data aktual dan sistem FIFO yang disiplin akan menjaga kualitas dan nilai kalori AF di area penyimpanan, sehingga efektivitasnya sebagai substituen batubara tetap optimal.

5.8.2.3. Aspek Sosial

Usulan perbaikan berfokus pada pengurangan beban fisik operator yang saat ini berada dikategori beban rata-rata pada proses persiapan material dan *feeding*. Usulan perbaikan untuk menurunkan PLI pada kedua stasiun tersebut adalah sebagai berikut:

1. Menyediakan alat bantu *material handling* yang memadai di area persiapan material, seperti *hand pallet* untuk jumbo bag dan menerapkan sistem curah menggunakan loader dan conveyor, akan mengurangi kebutuhan operator untuk mengangkat dan memindahkan beban secara manual sehingga beban fisik dapat berkurang secara signifikan.
2. Menerapkan 5S secara konsisten akan memperbaiki tata letak area kerja sehingga operator tidak perlu melakukan gerakan berlebihan akibat area kerja yang sempit dan tidak tertata.
3. Menyusun dan mendokumentasikan SOP kerja yang ergonomis serta menampilkan instruksi visual di area kerja untuk memandu operator menerapkan postur dan gerakan yang optimal, sehingga beban fisik selama proses kerja dapat diminimalkan.

5.9. Analisis Kinerja Keberlanjutan

Pengukuran kinerja proses *feeding* AF pada penelitian ini dilakukan berdasarkan indikator konsep *triple bottom line* (TBL), yaitu aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial:

1. Aspek Ekonomi

Pada aspek ekonomi, kinerja diukur menggunakan *process cycle efficiency* (PCE), *lead time*, dan *feeding capacity*. PCE diukur dari peningkatan efisiensi siklus, di mana kondisi awal (*current state*) sebesar 73,95% ditargetkan meningkat menjadi 88,86% pada kondisi usulan (*future state*). PCE mencerminkan sejauh mana setiap detik yang berlangsung dalam proses *feeding* benar-benar menghasilkan nilai. Kemudian, *lead time* diukur dari

penurunan total waktu satu siklus pengumpanan dari 1899,6 detik menjadi 1.638 detik. Selain itu, *feeding capacity* diukur dari kenaikan volume output harian dari 30,7 ton/hari menjadi 35,64 ton/hari.

2. Aspek Lingkungan

Dari aspek lingkungan, kinerja diukur melalui tiga indikator yakni *thermal substitusi rate* (TSR), konsumsi energi, dan emisi CO. *Thermal Substitution Rate* (TSR) mengukur proporsi panas yang dihasilkan dari bahan bakar alternatif terhadap total konsumsi panas proses pembakaran. Peningkatan kestabilan pengumpanan di *future state* diproyeksikan mampu pencapaian TSR aktual yang awalnya 2,52% dapat menyentuh target baru tahun 2026 sebesar 2,75% hingga mencapai target optimal 3% dengan peningkatan kapasitas *feeding*. Peningkatan TSR disetiap perusahaan memiliki kebijakan target yang berbeda-beda. Selain itu, emisi karbon monoksida (CO) diukur sebagai indikator kualitas pembakaran, dengan nilai rata-rata 395,01 ppm dan fluktuasi tertinggi pada bulan Agustus (641,19 ppm) dan September (605,51 ppm). Konsumsi energi listrik yang diukur pada aktivitas *lifting* dan reposisi alat angkut, masing-masing sebesar 22,5 kWh.

3. Aspek Sosial

Pada aspek sosial, kinerja yang diukur meliputi *physical load index* (PLI). PLI diukur dari penurunan beban ergonomi pekerja. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa proses persiapan material dan *feeding* masuk dalam kategori beban rata-rata. Selain itu, kondisi lingkungan kerja diukur berdasarkan kepatuhan ambang batas aman lingkungan kerja, yaitu melalui tingkat kebisingan di angka 83,6 dB(A), di bawah NAB 85 dB(A)) dan intensitas debu di angka 1,25 mg/m³, di bawah NAB 10 mg/m³).

5.10. Analisis *Future Process Activity Mapping*

Berdasarkan hasil identifikasi *waste* dan usulan perbaikan yang telah dilakukan, dirancang *future process activity mapping* sebagai gambaran kondisi proses *feeding* AF setelah dilakukan perbaikan. Perbaikan dilakukan dengan mengeliminasi aktivitas-aktivitas yang termasuk kategori *Non Value Added* (NVA) serta mereduksi aktivitas *Necessary Non Value Added* (NNVA) yang memungkinkan untuk dikurangi atau digabungkan tanpa mengganggu jalannya proses.

Tabel 5.7 Perbandingan PAM *Current & Future*

Kategori Aktivitas	<i>Current State</i>	<i>Future State</i>
<i>Operation (O)</i>	11 Aktivitas – 805 detik (42%)	9 Aktivitas – 711,9 detik (43%)
<i>Transportation (T)</i>	6 Aktivitas – 897,9 detik (47%)	4 Aktivitas – 856,1 detik (52%)
<i>Inspection (I)</i>	1 Aktivitas – 15,3 detik (1%)	1 Aktivitas – 10 detik (1%)
<i>Storage (S)</i>	0 Aktivitas	0 Aktivitas
<i>Delay (D)</i>	2 Aktivitas – 181,4 detik (10%)	1 Aktivitas – 60 detik (4%)
Klasifikasi	<i>Current State</i>	<i>Future State</i>
<i>Value Added (VA)</i>	5 Aktivitas – 1.401,9 detik (74%)	5 Aktivitas – 1.455,6 detik (89%)
<i>Necessary Non Value Added (NNVA)</i>	13 Aktivitas – 316,3 detik (17%)	9 Aktivitas – 122,4 detik (7%)
<i>Non Value Added (NVA)</i>	2 Aktivitas – 181,4 detik (10%)	1 Aktivitas – 60 detik (4%)
TOTAL	20 Aktivitas – 1.899,6 detik	15 Aktivitas – 1.638 detik

Dari tabel tersebut terlihat bahwa jumlah aktivitas berkurang dari 20 menjadi 15 aktivitas, yang menunjukkan eliminasi aktivitas tidak bernilai tambah. Lead time total turun sebesar 261,6 detik, menandakan proses menjadi lebih ringkas dan aliran material lebih lancar. Kemudian, proporsi *value added* meningkat dari 74% menjadi 89%, sementara NNVA dan NVA mengalami penurunan signifikan. Hal ini berdampak langsung pada peningkatan *Process Cycle Efficiency* (PCE) dari 73,95% menjadi 88,86%.

Selain itu, pada kondisi *current state*, jumlah siklus yang dapat dilakukan adalah 11 kali per shift, sedangkan pada *future state* meningkat menjadi 13 kali per shift. Dengan kapasitas angkut jumbo bag sebesar 0,3 ton dan jumlah alat angkut sebanyak 3 unit yang beroperasi dalam 3 shift, total kapasitas feeding meningkat dari 30,7 ton per hari menjadi 35,64 ton per hari, atau meningkat sebesar 4,9 ton per hari. Peningkatan kapasitas ini secara langsung mendukung pencapaian target TSR yang ditetapkan perusahaan untuk tahun 2026.

5.11. Analisis *Future State Value Stream Mapping*

Berdasarkan usulan perbaikan yang telah dilakukan pada Gambar 4.8, dirancang untuk menggambarkan kondisi proses *feeding* AF yang lebih efisien setelah eliminasi *waste*. Aliran proses tetap terdiri dari lima stasiun kerja yaitu Persiapan Material, *Lifting*, *Handling*, *Feeding*, dan Reposisi Alat Angkut. Jika dibandingkan dengan kondisi *current state*, terdapat penurunan *cycle time* yang signifikan pada beberapa stasiun. Pada proses Persiapan Material mengalami penurunan dari 397,4 detik menjadi 325 detik, proses *Handling* turun drastis dari 171,6 detik menjadi 110,8 detik, dan proses *Feeding* berkurang dari 320,3 detik menjadi 300 detik. Sementara pada proses *Lifting* dan Reposisi Alat Angkut tidak mengalami perubahan *cycle time* karena aktivitasnya didominasi operasi mesin yang tidak dapat direduksi lebih lanjut.

Secara keseluruhan, *total cycle time* berkurang dari 1.740,3 detik menjadi 1.576,4 detik dan lead time berkurang dari 1.899,6 detik menjadi 1.638 detik. Perbaikan ini berdampak pada peningkatan PCE dari 73,95% menjadi 88,8%, didukung oleh kapasitas *feeding* sebesar 35,64 ton per hari yang mencerminkan proporsi aktivitas bernilai tambah yang semakin besar. Dari aspek lingkungan, target TSR dapat meningkat menjadi 3% seiring dengan meningkatnya kapasitas dan stabilitas proses *feeding*. Konsumsi energi listrik tetap sebesar 22,5 kWh yang bersumber dari dua titik penggunaan *hoist crane* serta rata-rata emisi CO sebesar 395,1 ppm. Selain itu, pada dimensi sosial, aspek keselamatan dan kesehatan kerja menjadi sorotan dengan tingkat kebisingan 83,6 dB(A) dan intensitas debu 1,25 mg/m³. Meskipun tingkat absensi berada di angka 94%, pemetaan risiko menunjukkan variasi dari level *Low* hingga *High*, terutama pada tahap reposisi alat angkut, yang menandakan perlunya intervensi lebih lanjut untuk memitigasi risiko keselamatan pada area dengan beban kerja tinggi tersebut.

BAB VI

PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kondisi kinerja keberlanjutan proses *feeding alternative fuel* diukur berdasarkan pendekatan SUS-VSM yang mencakup tiga dimensi *triple bottom line*. Secara ekonomi, nilai PCE sebesar 73,95% dengan *lead time* 1.899,6 detik dan kapasitas *feeding* aktual 30,7 ton/hari, dimana masih terdapat 26,05% waktu yang digunakan untuk aktivitas tidak bernilai tambah. Secara lingkungan, capaian *Thermal Substitution Rate* (TSR) rata-rata 2,52% masih dibatas target dengan emisi CO rata-rata sebesar 395,01 ppm dan fluktuasi signifikan pada bulan Agustus (641,19 ppm) dan September (605,51 ppm), serta konsumsi energi listrik pada aktivitas *lifting* dan reposisi alat angkut masing-masing sebesar 22,5 kWh. Secara sosial, terdapat ketidakmerataan beban fisik operator dengan nilai PLI tertinggi terdapat pada stasiun *feeding* (21,429) dan persiapan material (20,324) yang termasuk dalam kategori beban rata-rata, dengan tingkat kebisingan sebesar 83,6 dB(A) mendekati NAB, serta terdapat satu aktivitas berkategori risiko tinggi.
2. Pada aspek ekonomi, *waste* yang terjadi adalah *waste waiting* yang disebabkan oleh gangguan operasional, keterbatasan jumlah alat, tidak adanya sistem prioritas alat angkut, tidak adanya standar waktu siklus, cuaca hujan yang menghambat pengangkutan material AF, serta kurangnya kemampuan *troubleshooting* ringan pada operator. *Waste* ini berdampak langsung pada penurunan PCE, ketidakstabilan TSR, dan risiko peningkatan emisi CO. Pada aspek lingkungan, pemborosan terjadi pada penumpukan persediaan material dan ketidakstabilan pasokan material AF ke dalam calciner yang disebabkan oleh ketiadaan pencatatan konsumsi harian penggunaan AF, ketidakdisiplinan penerapan FIFO, serta keterbatasan kapasitas area penyimpanan yang secara lingkungan berpotensi menurunkan kualitas AF akibat waktu simpan yang terlalu lama. Pada aspek sosial, *waste* yang terjadi disebabkan oleh *waste motion* dikarenakan kurangnya kesadaran terhadap efisiensi gerakan, penataan area kerja yang tidak optimal, ketiadaan alat bantu *material handling*, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan beban fisik operator dan risiko kelelahan muskuloskeletal.

3. Dampak pemborosan terhadap kinerja keberlanjutan secara ekonomi, 26,05% waktu proses terbuang untuk aktivitas tidak bernilai tambah, sehingga kapasitas *feeding* aktual hanya mencapai 30,7 ton/hari. Pada aspek lingkungan, ketidakstabilan proses *feeding* memengaruhi kontinuitas pasokan AF, sehingga capaian TSR berfluktuasi dan peluang substitusi bahan bakar fosil belum dimanfaatkan secara optimal dan berpotensi meningkatkan emisi CO. Pada aspek sosial, *waste motion* dan beban kerja fisik yang tidak seimbang meningkatkan risiko kelelahan dan cedera muskuloskeletal pada operator.
4. Usulan perbaikan untuk meminimasi *waste* pada aspek ekonomi meliputi penyusunan standar waktu siklus, *preventive maintenance*, dan membuat skala prioritas angkut untuk meminimasi *waiting*. Pada aspek lingkungan, dengan berfokus pada stabilitas proses *feeding* dan menerapkan sistem FIFO secara ketat agar kualitas kalori AF tetap terjaga. Sedangkan pada aspek sosial dengan menerapkan 5S secara menyeluruh, penataan area kerja, menyediakan alat bantu material *handling*, menyusun dan mendokumentasikan SOP urutan kerja yang ergonomis dalam bentuk visual di area pabrik agar postur kerja tetap optimal, serta penerapan sistem curah menggunakan mesin loader dan konveyor untuk meminimalkan pengangkatan beban secara manual. Hasil usulan *future state* SUS-VSM menunjukkan jumlah aktivitas berkurang dari 20 menjadi 15 dengan total *lead time* turun dari 1.899,6 detik menjadi 1.638 detik, PCE meningkat menjadi 88,86%, dan kapasitas *feeding* naik 16,09% menjadi 35,64 ton/hari, yang berpotensi mendukung pencapaian target TSR pada tahun 2026.

6.2. Saran

Berikut merupakan saran yang dapat diberikan kepada perusahaan, diantaranya:

1. Perusahaan perlu menyusun dan mensosialisasikan standar operasional prosedur (SOP) yang mencakup standar waktu siklus tiap aktivitas, sistem prioritas penggunaan alat angkut, serta urutan kerja yang efisien sebagai acuan operasional bagi seluruh operator.
2. Penerapan program 5S secara menyeluruh dan konsisten di area *feeding* perlu segera dilakukan dan menciptakan lingkungan kerja yang lebih tertata dan aman bagi operator.
3. Perusahaan disarankan mengimplementasikan sistem pencatatan konsumsi AF harian berbasis data aktual sebagai dasar perencanaan kebutuhan material serta menerapkan sistem curah menggunakan loader dan konveyor untuk mengurangi beban kerja pada operator.

4. Dapat mengembangkan model perencanaan kebutuhan AF berbasis *data-driven forecasting*, yaitu dengan memanfaatkan data historis konsumsi AF, capaian TSR, dan jadwal produksi klinker untuk memprediksi kebutuhan material secara lebih akurat.

Saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Penelitian selanjutnya diharapkan tidak hanya fokus pada beberapa jenis *waste* yang saja, melainkan dapat mencakup seluruh jenis *waste* secara menyeluruh yang tidak ditemukan pada penelitian ini.
2. Penelitian berikutnya dapat melengkapi aspek keberlanjutan yang belum sepenuhnya dikaji dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, R. D., Vera, M. A., & Benedikta, A. H. (2017). Analisa Pendekatan Lean Manufacturing dengan Metode VSM (Value Stream Mapping) untuk Mengurangi Pembororsan Waktu (Studi Kasus UD. ALMAIDA). *PROFISIENSI*.
- Adam, B., Joseph, A., & Fazleena, B. (2014). Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM) in Different Manufacturing System Configurations: Application Case Studies. *Journal of Clear Production*.
- Aisyah, S. (2020). Perencanaan Lean Manufacturing untuk Mengurangi Pemborosan Menggunakan Metode Value Stream Mapping Pada PT Y Indonesia. *Jurnal Optimasi Teknik Industri*.
- Akbar, M. F., Nandika, B. U., & Safaruddin. (2022). Dampak Perkembangan dan Proses Pembuatan Semen Pada PT Semen Baturaja. *Jurnal Multidispliner Bharasumba*.
- Aldi, W. R., Farida, D. S., & Wahyuda. (2025). Aplikasi Konsep Lean Untuk Minimasi Waste Menggunakan Value Stream Mapping pada Warehouse Sparepart. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*.
- Ana, K., Annisa, K. G., Lolyka, D. I., & Venus, K. S. (2021). Usulan Perbaikan Kualitas Produk Kertas dengan Metode 5W+1H pada PT X. *Seminar Keinsinyuran*.
- Anastasia, C. O., & Tuwanku, A. A. (2023). Analisis Pengendalian Kualitas Produksi Meja dan Kursi Menggunakan Diagram Pareto dan Fishbone Pada PK. SMK JATI. *INOBIIS: Jurnal Inovasi Bisnis dan Manajemen Indonesia*.
- Anni, S., Dhuhatun, M., Miftahul, W., Roki, M. R., Sri, D., & Ulil, A. (2024). Analisis Identifikasi Risiko, Penilaian Risiko dan Pengendalian Risiko Pada CV Sinar Jaya Mandiri. *Jurnal Ilmiah Keuangan Akuntansi Bisnis*.
- Arif, M. D., & Ayu, N. (2022). Analisis Sustainable Value Stream Mapping (SUS-VSM) Sebagai Upaya Untuk Meminimalisasi Pemborosan di PT XYZ. *Scientific Repository*.
- Baturaja, S. (2025, Maret 7). *Semen Baturaja Dorong Transisi Energi Baru Terbarukan Melalui Pemanfaatan AFR*. Diambil kembali dari Baturaja: <https://semenbaturaja.co.id/semen-baturaja-dorong-transisi-energi-baru-terbarukan-melalui-pemanfaatan-afr/>
- Bridgenr, T. (2025, January). *Definisi dan Peran Sustainable Manufacturing*. Diambil kembali dari Bridgenr: <https://bridgenr.com/id/blog/sustainable-manufacturing/#:~:text=dalam%20artikel%20ini!-,Apa%20itu%20Sustainable%20Manufacturing?,peduli%20terhadap%20isu%20Disu%20lingkungan.>
- Chory, M. F., & Sri, H. (2022). Desain Sustainable Value Stream Mapping Untuk Meningkatkan Kinerja Kerbalnjukan Perusahaan CPO (Studi Kasus: PKS Bunut PT Perkebunan Nusantara IV). *Industrial Engineering Online Journal*.
- Clarita, T. A., Vania, P. M., Nabilah, K., Sandra, D. N., Ingga, S., & Sandi. (2025). Analisis Pengendalian Mutu Sambal Terwelu Menggunakan Check Sheet, Histogram, dan Diagram Fishbone. *KOHESI: Jurnal Sains dan Teknologi*.
- Dini, R., Fatih, A. F., Dwi, A. P., & Sofia, A. (2025). Integrasi Lean DMAIC dan Circular Economy untuk Reduksi Waste pada Manufaktur Paving Block. *Jurnal Serambi Engineering*.
- Elvira, Y., Kun, A. W., & Ratu, I. M. (2025). Penerapan Lean Manufacturing dalam Mengurangi Lead Time dan Meningkatkan Efisiensi. *Integrative Perspectives of Social and Science Journal*.

- Enik, S., & Madinatul, M. (2025). Integrating Value Stream Mapping, Waste Assessment Model, and Root Cause Analysis to Improve Loading-Unloading Efficiency at PT XYZ. *JUTIN: Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*.
- Enrikko, A. N., & Febriana, W. (2025). Value Stream Mapping and Fishbone Diagram to Analyze Waste Analysis in Lapis Tugu Kediri. *Southeast Asian Business Review*.
- Fachruzzaki, & Rina, L. (2024). *Pemanfaatan Batu Bara di Indonesia*. Yogyakarta: Deepublish Digital.
- Fairuz, R. A., & Nazwa, A. R. (2024). Analisis Pengaruh Emisi Zat Karbon Terhadap Kerusakan Kualitas Udara dan Pencemaran Lingkungan. *Journal Innovation in Education*.
- Fandi, A., & Dimas, A. (2019). Minimasi Waste dengan Pendekatan Value Stream Mapping. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*.
- Faulkner, W., & Badurdeen, F. (2014). Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): Methodology to Visualize and Assess Manufacturing Sustainability Performance. *Journal of Cleaner Production*, 8-18.
- Fauzan, A., & Ramadhan, A. (2023). Perancangan Alat bantu Produksi untuk menurunkan Tingkat Kecacatan pada Produksi Plat Baterai Accu di PT TBP . *Jurnal Pendidikan Tambusai*.
- Firdaus, M., & Sri, H. (2022). Desain Sustainable Value Stream Mapping Untuk Meningkatkan Kinerja Keberlanjutan Perusahaan CPO (Studi Kasus: PKS Bunut PT Perkebunan Nusantara VI). *Industrial Engineering Online Jurnal*.
- Gabriel, F. V., Irma, A., & Nurjanah. (2024). Analisis Pemborosan Pada Sistem Penerimaan Sparepart & NonSparepart Menggunakan Value Stream Mapping Bagian Receiving PT X. *EKOMA: Jurnal Ekonomi, Manajemen, Akutansi*.
- Gallwey, T. J. (1992). Problems of Human Variability in Work Measurement. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 205-212.
- Hamed, G., Norhazrina, J., Norhayari, Z., Zameri, M. M., Safian, S., Siti, R. A., & Zuraidah, S. (2019). Social Value Stream Mapping (Socio-VSM): Methodology to Societal Sustainability Visualization and Assessment in the Manufacturing System. *IEEE Access*.
- Hollman, S., Klimmer, F., Schmidt, K., & Kylian, H. (1999). Validation of Questionnaire for Assessing Physical Work Load. *Scand J Work Environ Health*.
- Indra, M., & Solikin. (2024). Analisa Pengaruh Bahan Bakar Alternatif Terhadap Performa Kiln Semen. *Jurnal Rekayasa Sistem Engineering dan Manufaktur*.
- Itok, E. K., & Uly, A. (2025). Integrasi Lean and Green Manufacturing di Sektor Industri : Systematic Literature Review. *Proceeding Mercu Buana Conference on Industrial Engineering*.
- Jonny. (2022). Reducing Product Cost for ABC Company Through Lean Production Initiative. *EPiC Series in Computing*, 190-200.
- Kartika, L., & Dony, S. (2019). Penerapan Lean Manufacturing untuk Mengidentifikasi Waste pada Proses Produksi Kain Knitting di Lantai Produksi PT XTZ. *IROWNS (Industrial Research Workshop and National Seminar)*.
- Kindiy, G., Iqbal, M., Cahyadi, M. A., Ripaldi, A. A., Ahmad, R. R., & Dwi, L. (2025). Perkiraan Emisi Karbon dari Industri Semen di Palangka Raya Periode 2020-2024 Menggunakan Metodologi IPCC. *Jurnal Riset Multidisiplin*.
- Lanto, K. A., Yasin, M., Irawaty, A. T., Nova, E., & Amirudin, Y. D. (2024). Analisis Konsumsi Energi Listrik Menggunakan Metode Intensitas Konsumsi Energi. *Jambuar Journal of Electrical and Electronics Engineering*.

- Menik, Y. I., Raja, Z. R., Bambang, S., & Sofian, D. H. (2023). Identifying and Eliminating Waste in a Coal Mining Industry; The Value Stream Mapping Analysis. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*.
- Meutia, F., Dirhamsyah, M., & Husni. (2021). Implementation of Value Stream Mapping for Waste Reduction in Crude Palm Oil Production Process. *Journal of Industrial Engineering & Management Research*.
- Nadya, Y. W. (2025, October). *Triple Bottom Line dan Piramida Carroll*. Diambil kembali dari ResearchGate:
https://www.researchgate.net/publication/396678315_TRIPLE_BOTTOM_LINE_DAN_PIRAMIDA_CARROLL
- Nashir, M. R., Purnawan, A. W., & Sri, H. (2023). Desain Sustainable Value Stream Mapping Untuk Evaluasi Kinerja Keberlanjutan Perusahaan Obat. *Industrial Engineering Online Journal*.
- Neha, V., & Vinay, S. (2021). Implementation Sustainable Value Stream Mapping (SUS-VSM) in Manufacturing Industri. *Ilkogretim Online - Elementary Education Online*.
- Nur, F. B., Fajri, H., & Nur, A. (2023, 09 29). Penerapan Konsep Triple Bottom Line Pada Usaha Ayam Potong UD. Firman di Maros Sulawesi Selatan. *Jurnal Akutansi Kompetif*. Diambil kembali dari PPM School Of Management Inspiring Transformation:
<https://www.ppmschool.ac.id/triple-bottom-line/>
- Nurullaili, K., & Intan, Y. L. (2020). Analisis Lean Manufacturing dengan Value Stream Mapping Untuk Mengidentifikasi Waste Pada UD Executive Makmur Abadi. *Accounting and Management Journal*.
- Nurwidiana, & Nur, E. (2025). Designing Sustainable Value Stream Mapping to Enhance Sustainability Performance in the Tofu Industri. *International Conference on Coastal and Delta Areas*.
- Nuuha, N. (2020). *Pendekatan Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM) untuk Mengurangi Waste pada Lini Produksi PT Inti Daya Guna Aneka Warna*. Malang: Disertasi Jurusan Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Malang.
- Pradana, A., Chaeron, M., & Khanan, M. (2018). Implementasi Konsep Lean Manufacturing Guna Mengurangi Pemborosan di Lantai Produksi. *Jurnal OPSI*, 1:14.
- Prasetyo, C. H., & Purnawan, A. (2019). Desain Perbaikan Untuk Meningkatkan Nilai Efisiensi Manufaktur Keberlanjutan Menggunakan Sustainable Value Stream Mapping (Studi Kasus CV Mugiharjo). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*.
- Prasetyo, D. (2018). *Integration of Sustainable Value Stream Mapping (SUS-VSM) and Life Cycle Assessment (LCA) to Improve Sustainability Performance at PT X*. Diambil kembali dari Institut Pertanian Bogor.
- Rafi, Y. I., & Yayok, S. P. (2024). Analisis Dampak Penggunaan Bahan Bakar Alternatif dengan Metode Life Cycle Assessment di Pabrik Semen Tuban. *Jurnal Serambi Engineering*.
- Rendhika, F. P., Hasyrani, W., & Gigih, H. P. (2025). Penerapan Lean Manufacturing dengan Value Stream Mapping pada Proses Produksi PT TTB. *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)*.
- Ridwan, M., & Adjar, P. (2025). Reducing Specific Energy Consumption (SED) In a Cement Factory Through FMEA and Energy Management. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin FEMA*.
- Ristyowati, T., Muhsin, A., & Nurani, P. (2017). Minimasi Waste Pada Aktivitas Proses Produksi Dengan Konsep Lean Manufacturing (Studi Kasus di PT Sport Glove Indonesia). *Jurnal Opsi*.

- Rizqi, W., Andhyka, T. N., & Anjas, S. K. (2023). Penentuan Waktu Baku dengan Stopwatch Time Study untuk Pengukuran Kerja Operator PT XYZ Lampung Tengah. *Jurnal Sains dan Aplikasi Keilmuan Teknik Industri (SAKTI)*.
- Salma, L. M., & Joumil, A. (2024). Implementation of Lean Manufacturing Approach Using Value Stream Mapping to Optimize Cycle Time and Reduce Process Waste (Case Study: CV. Teguh Jaya Mandiri). *IJIEM (Indonesian Journal of Industrial Engineering & Management)*.
- Sianturi, R. (2025). Uji Normalitas Sebagai Syarat Pengujian Hipotesis. *JURNAL PEMBELAJARAN DAN MATEMATIKA SIGMA (JPMS)*.
- Sri, H., Udisubakti, C., Maria, A., Sriyanto, & Darminto, P. (2018). Sustainable Value Stream Mapping to Evaluate Sustainability Performance: Case Study in Indonesian Furniture Company. *MATEC Web of Conferences*.
- Vina, F. (2023). *Sustainability: Konsep dan Implikasinya bagi Lingkungan, Ekonomi, dan Sosial*. Diambil kembali dari Binus University Bekasi: <https://binus.ac.id/bekasi/2024/09/sustainability-konsep-dan-implikasinya-bagi-lingkungan-ekonomi-dan-sosial/>
- Yassyir, M. (2019). Identifikasi Waste dengan Menggunakan Metode Value Stream Mapping pada Industri Perumahan. *JURNAL JIEOM*.
- Yusril, Z. M. (2023). Minimasi Waste Menggunakan Pendekatan Sustainable Value Stream Mapping (SUS-VSM) Untuk Peningkatan Produktivitas Pada Kelompok Hot Press Panel Departemen Wood Working (Studi Kasus Industri Alat Musik). *Universitas Islam Indonesia*.

LAMPIRAN

A. Kuesioner Waste

Persiapan Material

Lifting

Assalamualaikum wr. wb

Perkenalkan saya Maurizka Darul Amarta Putri, Mahasiswa Universitas Islam Indonesia, Jurusan Teknik Industri, ingin meminta bantuan kepada mas-mas dan bapak-bapak untuk mengisi kuesioner yang saya ajukan untuk mengetahui tingkat kepentingan dari 7 jenis pemborosan. Terimakasih sebelumnya untuk bantuan yang diberikan, mohon maaf jika dalam penulisan kuesioner terdapat kesalahan.

Nama: MAURIZKA PUTRI

Jobdesk: AFD

N o	Jenis Waste	Deskripsi pada Proses Feeding AF	Skor				
			0	1	2	3	4
1	Overproduction	Feeding AF melebihi kebutuhan proses akibat tidak sinkron dengan jalur produksi. Jumlah AF yang di-feeding tidak sesuai karena tidak adanya pemantauan yang akurat. Feeding dilakukan saat hopper atau sistem masih penuh. Feeding yang berlebih mengakibatkan kapasitas sistem belum dimanfaatkan. Tidak adanya standar batas minimum dan maksimum feeding AF. Mengapa material AF tiba di feeding point akibat keterlambatan lifting.	✓				
2	Waiting	Mengapa karena adanya pengumpulan bahan atau wait. Mengapa akibat keterlambatan jumlah operator. Mengapa jumlah atau jenis operasi sebelum feeding dilakukan. Mengapa akibat gangguan atau kerusakan peralatan. Material AF harus dipindahkan lebih dari satu kali sebelum feeding. Jarak pengangkutan AF terlalu jauh dari area penyimpanan ke feeding point.	✓	✓	✓		
3	Transportation	Terjadi adanya alat angkut di jalur pengangkutan. Pemindahan material karena kesalahan penanganan awal. Alat pengangkutan material yang bergetas dan tidak layak. Penyusunan ulang feeding akibat ketidak tepatan proses sebelumnya. Penanganan material yang dilakukan berulang tanpa standar yang jelas.	✓	✓	✓	✓	
4	Overprocessing	Mengapa dan mengapa material dalam jumlah bag lebih dari satu kali. Aktivitas tambahan pada feeding yang tidak menambah nilai proses. Proses handling ulang akibat metode kerja yang tidak standar dan tidak efisien.	✓	✓	✓	✓	
5	Inventory	Keterbatasan ruang menyebabkan penataan material tidak optimal. Penanganan material AF di feeding point sebelum digunakan. Material AF disimpan terlalu lama sebelum digunakan. Tidak adanya sistem FIFO dalam penggunaan AF. Jumlah stok AF tidak disesuaikan dengan kapasitas feeding baran. Gerakan operator berlebihan saat pengangkutan dan pelepasan jumlah bag.	✓	✓	✓	✓	
6	Motion	Aktivitas bolak-balik operator antara area persiapan dan feeding point. Penyusunan posisi operator akibat layout kerja yang kurang ergonomis.	✓	✓	✓	✓	

Assalamualaikum wr. wb

Perkenalkan saya Maurizka Darul Amarta Putri, Mahasiswa Universitas Islam Indonesia, Jurusan Teknik Industri, ingin meminta bantuan kepada mas-mas dan bapak-bapak untuk mengisi kuesioner yang saya ajukan untuk mengetahui tingkat kepentingan dari 7 jenis pemborosan. Terimakasih sebelumnya untuk bantuan yang diberikan, mohon maaf jika dalam penulisan kuesioner terdapat kesalahan.

Nama: MAURIZKA PUTRI

Jobdesk: AFD

N o	Jenis Waste	Deskripsi pada Proses Feeding AF	Skor				
			0	1	2	3	4
1	Overproduction	Feeding AF melebihi kebutuhan proses akibat tidak sinkron dengan jalur produksi. Jumlah AF yang di-feeding tidak sesuai karena tidak adanya pemantauan yang akurat. Feeding dilakukan saat hopper atau sistem masih penuh. Feeding yang berlebih mengakibatkan kapasitas sistem belum dimanfaatkan. Tidak adanya standar batas minimum dan maksimum feeding AF. Mengapa material AF tiba di feeding point akibat keterlambatan lifting.	✓				
2	Waiting	Mengapa karena adanya pengumpulan bahan atau wait. Mengapa akibat keterlambatan jumlah operator. Mengapa jumlah atau jenis operasi sebelum feeding dilakukan. Mengapa akibat gangguan atau kerusakan peralatan. Material AF harus dipindahkan lebih dari satu kali sebelum feeding. Jarak pengangkutan AF terlalu jauh dari area penyimpanan ke feeding point.	✓	✓	✓		
3	Transportation	Terjadi adanya alat angkut di jalur pengangkutan. Pemindahan material karena kesalahan penanganan awal. Alat pengangkutan material yang bergetas dan tidak layak. Penyusunan ulang feeding akibat ketidak tepatan proses sebelumnya. Penanganan material yang dilakukan berulang tanpa standar yang jelas.	✓	✓	✓	✓	
4	Overprocessing	Mengapa dan mengapa material dalam jumlah bag lebih dari satu kali. Aktivitas tambahan pada feeding yang tidak menambah nilai proses. Proses handling ulang akibat metode kerja yang tidak standar dan tidak efisien.	✓	✓	✓	✓	
5	Inventory	Keterbatasan ruang menyebabkan penataan material tidak optimal. Penanganan material AF di feeding point sebelum digunakan. Material AF disimpan terlalu lama sebelum digunakan. Tidak adanya sistem FIFO dalam penggunaan AF. Jumlah stok AF tidak disesuaikan dengan kapasitas feeding baran. Gerakan operator berlebihan saat pengangkutan dan pelepasan jumlah bag.	✓	✓	✓	✓	
6	Motion	Aktivitas bolak-balik operator antara area persiapan dan feeding point. Penyusunan posisi operator akibat layout kerja yang kurang ergonomis.	✓	✓	✓	✓	

N o	Jenis Waste	Deskripsi pada Proses Feeding AF	Skor				
			0	1	2	3	4
7	Defect	Pengambilan alat bantu kerja yang tidak tertata rapi. Gerakan tidak perlu akibat kurangnya standar kerja. Jumlah bag robek atau rusak saat lifting atau handling. Tumpukan material AF saat proses handling atau feeding. Material AF tercemar sehingga tidak dapat digunakan. Kesalahan feeding yang menyebabkan sistem terhambat. Material AF tidak sesuai spesifikasi sehingga perlu penanganan ulang.	✓	✓	✓	✓	

N o	Jenis Waste	Deskripsi pada Proses Feeding AF	Skor				
			0	1	2	3	4
7	Defect	Pengambilan alat bantu kerja yang tidak tertata rapi. Gerakan tidak perlu akibat kurangnya standar kerja. Jumlah bag robek atau rusak saat lifting atau handling. Tumpukan material AF saat proses handling atau feeding. Material AF tercemar sehingga tidak dapat digunakan. Kesalahan feeding yang menyebabkan sistem terhambat. Material AF tidak sesuai spesifikasi sehingga perlu penanganan ulang.	✓	✓	✓	✓	

Handling

Feeding

Assalamualaikum wr. wb

Perkenalkan saya Maurizka Darul Amarta Putri, Mahasiswa Universitas Islam Indonesia, Jurusan Teknik Industri, ingin meminta bantuan kepada mas-mas dan bapak-bapak untuk mengisi kuesioner yang saya ajukan untuk mengetahui tingkat kepentingan dari 7 jenis pemborosan. Terimakasih sebelumnya untuk bantuan yang diberikan, mohon maaf jika dalam penulisan kuesioner terdapat kesalahan.

Nama: MAURIZKA PUTRI

Jobdesk: AFD

N o	Jenis Waste	Deskripsi pada Proses Feeding AF	Skor				
			0	1	2	3	4
1	Overproduction	Feeding AF melebihi kebutuhan proses akibat tidak sinkron dengan jalur produksi. Jumlah AF yang di-feeding tidak sesuai karena tidak adanya pemantauan yang akurat. Feeding dilakukan saat hopper atau sistem masih penuh. Feeding yang berlebih mengakibatkan kapasitas sistem belum dimanfaatkan. Tidak adanya standar batas minimum dan maksimum feeding AF. Mengapa material AF tiba di feeding point akibat keterlambatan lifting.	✓				
2	Waiting	Mengapa karena adanya pengumpulan bahan atau wait. Mengapa akibat keterlambatan jumlah operator. Mengapa jumlah atau jenis operasi sebelum feeding dilakukan. Mengapa akibat gangguan atau kerusakan peralatan. Material AF harus dipindahkan lebih dari satu kali sebelum feeding. Jarak pengangkutan AF terlalu jauh dari area penyimpanan ke feeding point.	✓	✓	✓		
3	Transportation	Terjadi adanya alat angkut di jalur pengangkutan. Pemindahan material karena kesalahan penanganan awal. Alat pengangkutan material yang bergetas dan tidak layak. Penyusunan ulang feeding akibat ketidak tepatan proses sebelumnya. Penanganan material yang dilakukan berulang tanpa standar yang jelas.	✓	✓	✓	✓	
4	Overprocessing	Mengapa dan mengapa material dalam jumlah bag lebih dari satu kali. Aktivitas tambahan pada feeding yang tidak menambah nilai proses. Proses handling ulang akibat metode kerja yang tidak standar dan tidak efisien.	✓	✓	✓	✓	
5	Inventory	Keterbatasan ruang menyebabkan penataan material tidak optimal. Penanganan material AF di feeding point sebelum digunakan. Material AF disimpan terlalu lama sebelum digunakan. Tidak adanya sistem FIFO dalam penggunaan AF. Jumlah stok AF tidak disesuaikan dengan kapasitas feeding baran. Gerakan operator berlebihan saat pengangkutan dan pelepasan jumlah bag.	✓	✓	✓	✓	
6	Motion	Aktivitas bolak-balik operator antara area persiapan dan feeding point. Penyusunan posisi operator akibat layout kerja yang kurang ergonomis.	✓	✓	✓	✓	

Assalamualaikum wr. wb

Perkenalkan saya Maurizka Darul Amarta Putri, Mahasiswa Universitas Islam Indonesia, Jurusan Teknik Industri, ingin meminta bantuan kepada mas-mas dan bapak-bapak untuk mengisi kuesioner yang saya ajukan untuk mengetahui tingkat kepentingan dari 7 jenis pemborosan. Terimakasih sebelumnya untuk bantuan yang diberikan, mohon maaf jika dalam penulisan kuesioner terdapat kesalahan.

Nama: MAURIZKA PUTRI

Jobdesk: AFD

N o	Jenis Waste	Deskripsi pada Proses Feeding AF	Skor				
			0	1	2	3	4
1	Overproduction	Feeding AF melebihi kebutuhan proses akibat tidak sinkron dengan jalur produksi. Jumlah AF yang di-feeding tidak sesuai karena tidak adanya pemantauan yang akurat. Feeding dilakukan saat hopper atau sistem masih penuh. Feeding yang berlebih mengakibatkan kapasitas sistem belum dimanfaatkan. Tidak adanya standar batas minimum dan maksimum feeding AF. Mengapa material AF tiba di feeding point akibat keterlambatan lifting.	✓				
2	Waiting	Mengapa karena adanya pengumpulan bahan atau wait. Mengapa akibat keterlambatan jumlah operator. Mengapa jumlah atau jenis operasi sebelum feeding dilakukan. Mengapa akibat gangguan atau kerusakan peralatan. Material AF harus dipindahkan lebih dari satu kali sebelum feeding. Jarak pengangkutan AF terlalu jauh dari area penyimpanan ke feeding point.	✓	✓	✓		
3	Transportation	Terjadi adanya alat angkut di jalur pengangkutan. Pemindahan material karena kesalahan penanganan awal. Alat pengangkutan material yang bergetas dan tidak layak. Penyusunan ulang feeding akibat ketidak tepatan proses sebelumnya. Penanganan material yang dilakukan berulang tanpa standar yang jelas.	✓	✓	✓	✓	
4	Overprocessing	Mengapa dan mengapa material dalam jumlah bag lebih dari satu kali. Aktivitas tambahan pada feeding yang tidak menambah nilai proses. Proses handling ulang akibat metode kerja yang tidak standar dan tidak efisien.	✓	✓	✓	✓	
5	Inventory	Keterbatasan ruang menyebabkan penataan material tidak optimal. Penanganan material AF di feeding point sebelum digunakan. Material AF disimpan terlalu lama sebelum digunakan. Tidak adanya sistem FIFO dalam penggunaan AF. Jumlah stok AF tidak disesuaikan dengan kapasitas feeding baran. Gerakan operator berlebihan saat pengangkutan dan pelepasan jumlah bag.	✓	✓	✓	✓	
6	Motion	Aktivitas bolak-balik operator antara area persiapan dan feeding point. Penyusunan posisi operator akibat layout kerja yang kurang ergonomis.	✓	✓	✓	✓	

No	Jenis Waste	Deskripsi pada Proses Feeding AF	Skor				
			0	1	2	3	4
7	Defect	Pengambilan alat bantu kerja yang tidak tertata rapi.	✓				
		Gerakan tidak perlu akibat kurangnya standar kerja.	✓				
		Jumbo bag robek atau rusak saat lifting atau handling.	✓				
		Tumpahan material AF saat proses handling atau feeding.			✓		
		Material AF tercemar sehingga tidak dapat digunakan.	✓				
		Kesalahan feeding yang menyebabkan sistem terhambat.	✓				
		Material AF tidak sesuai spesifikasi sehingga perlu penanganan ulang.			✓		

No	Jenis Waste	Deskripsi pada Proses Feeding AF	Skor				
			0	1	2	3	4
7	Defect	Pengambilan alat bantu kerja yang tidak tertata rapi.				✓	
		Gerakan tidak perlu akibat kurangnya standar kerja.			✓		
		Jumbo bag robek atau rusak saat lifting atau handling.			✓		
		Tumpahan material AF saat proses handling atau feeding.			✓		
		Material AF tercemar sehingga tidak dapat digunakan.	✓				
		Kesalahan feeding yang menyebabkan sistem terhambat.			✓		
		Material AF tidak sesuai spesifikasi sehingga perlu penanganan ulang.			✓		

Reposisi Alat Angkut

Assalamualaikum wr. wb

Perkenalkan saya Mauraniza Darni Amarta Putri, Mahasiswa Universitas Islam Indonesia, Jurusan Teknik Industri, ingin meminta bantuan kepada mas-mas dan bapak-bapak untuk mengisi kuesioner yang saya ajukan untuk mengetahui tingkat kepatungan dari 7 jenis pemborosan. Terimakasih sebelumnya untuk bantuan yang diberikan, mohon maaf jika dalam penulisan kuesioner terdapat kesalahan.

Nama: SUTERNO

Jobdesk: APR

No	Jenis Waste	Deskripsi pada Proses Feeding AF	Skor				
			0	1	2	3	4
1	Overproduction	Feeding AF melebihi kebutuhan proses akibat tidak sinkron dengan jalur produksi.	✓				
		Jumlah AF yang di-feeding tidak sesuai karena tidak adanya pencatatan yang akurat.	✓				
		Feeding dilakukan saat hopper atau sistem masih penuh.	✓				
		Feeding menggunakan kapasitas sistem belum dimanfaatkan.	✓				
2	Waiting	Tidak adanya standar waktu minimum dan maksimum feeding AF.	✓				
		Memangsa material AF tiba di feeding point akibat keterlambatan lifting.	✓				
		Memangsa karena sistem pengaturan hoist crane atau winch.	✓				
		Memangsa akibat keterlambatan jumlah operator.	✓				
3	Transportation	Memangsa material AF saat proses handling atau feeding.	✓				
		Material AF harus dipindahkan lebih dari satu kali sebelum feeding.	✓				
		Jarak pengangkutan AF terlalu jauh dan area penyimpanan ke feeding point.	✓				
		Terjadi proses alat angkut di jalur pengangkutan.	✓				
4	Overprocessing	Penanganan material karena kesalahan penanganan awal.	✓				
		Alat pengangkutan material yang terpotor dan tidak langsung.	✓				
		Penyesuaian ulang feeding akibat ketidak nyaman proses sebelumnya.	✓				
		Pemrosesan material yang dilakukan berulang tanpa standar yang jelas.	✓				
5	Inventory	Menyimpan dan menyimpan material dalam jumbo bag lebih dari satu kali.	✓				
		Aktivitas tambahan pada feeding yang tidak menambah nilai proses.	✓				
		Proses handling ulang akibat metode kerja yang tidak standar dan tidak efisien.	✓				
		Keterbatasan ruang menyebabkan penataan material tidak optimal.	✓				
6	Motion	Pemrosesan material AF di feeding point sebelum digunakan.	✓				
		Material AF disimpan terlalu lama sebelum digunakan.	✓				
		Tidak adanya sistem FIFO dalam penggunaan AF.	✓				
		Jumlah stok AF tidak disesuaikan dengan kapasitas feeding bahan.	✓				
7	Defect	Gesekan operator berlebihan saat pengikatan dan pelepasan jumbo bag.	✓				
		Aktivitas bolak-balik operator antara area persiapan dan feeding point.	✓				
		Penyesuaian posisi operator akibat layout kerja yang kurang ergonomis.	✓				
		Material AF tidak sesuai spesifikasi sehingga perlu penanganan ulang.	✓				

No	Jenis Waste	Deskripsi pada Proses Feeding AF	Skor				
			0	1	2	3	4
7	Defect	Pengambilan alat bantu kerja yang tidak tertata rapi.	✓				
		Gerakan tidak perlu akibat kurangnya standar kerja.	✓				
		Jumbo bag robek atau rusak saat lifting atau handling.	✓				
		Tumpahan material AF saat proses handling atau feeding.	✓				
		Material AF tercemar sehingga tidak dapat digunakan.	✓				
		Kesalahan feeding yang menyebabkan sistem terhambat.	✓				
		Material AF tidak sesuai spesifikasi sehingga perlu penanganan ulang.	✓				

B. Kuesioner Physical Load Index

Persiapan Material

Kode	Bagian Tubuh	Tidak Pernah	Jarang	Kadang-kadang	Sering	Sangat Sering
Trunk (Badan)						
T1	Lurus, Tegak			✓		✓
T2	Sedikit miring		✓			
T3	Sangat miring		✓			
T4	Berputar	✓				
T5	Memungkuk		✓			
Arms (Lengan)						
A1	Keduanya dibawah bahu		✓			
A2	Satu tangan dibawah bahu		✓			
A3	Kedua tangan diatas bahu			✓		
Legs (Kaki)						
L1	Duduk	✓				
L2	Berdiri					✓
L3	Jongkok			✓		
L4	Berlutut dengan salah satu atau dua kaki	✓				
L5	Berjalan, berpindah					✓
Memhawa beban-kondisi tegak						
WU1	Ringan				✓	✓
WU2	Sedang			✓		
WU3	Berat				✓	
Memhawa beban-kondisi miring						
WT1	Ringan	✓				
WT2	Sedang	✓				
WT3	Berat			✓		

Lifting

Kode	Bagian Tubuh	Tidak Pernah	Jarang	Kadang-kadang	Sering	Sangat Sering
Trunk (Badan)						
T1	Lurus, Tegak				✓	
T2	Sedikit miring	✓				
T3	Sangat miring	✓				
T4	Berputar	✓				
T5	Memungkuk	✓				
Arms (Lengan)						
A1	Keduanya dibawah bahu			✓		
A2	Satu tangan dibawah bahu	✓				
A3	Kedua tangan diatas bahu			✓		
Legs (Kaki)						
L1	Duduk	✓				
L2	Berdiri					✓
L3	Jongkok	✓				
L4	Berlutut dengan salah satu atau dua kaki	✓				
L5	Berjalan, berpindah			✓		
Memhawa beban-kondisi tegak						
WU1	Ringan	✓				
WU2	Sedang	✓				
WU3	Berat	✓				
Memhawa beban-kondisi miring						
WT1	Ringan	✓				
WT2	Sedang	✓				
WT3	Berat	✓				

Handling

Kode	Bagian Tubuh	Tidak Pernah	Jarang	Kadang-kadang	Sering	Sangat Sering
Trunk (Badan)						
T1	Lurus, Tegak		✓			
T2	Sedikit miring		✓			
T3	Sangat miring			✓		
T4	Berputar		✓			
T5	Memungkuk		✓			
Arms (Lengan)						
A1	Keduanya dibawah bahu			✓		
A2	Satu tangan dibawah bahu	✓				
A3	Kedua tangan diatas bahu					
Legs (Kaki)						
L1	Duduk	✓				
L2	Berdiri			✓		
L3	Jongkok				✓	
L4	Berlutut dengan salah satu atau dua kaki		✓			
L5	Berjalan, berpindah					
Memhawa beban-kondisi tegak						
WU1	Ringan		✓			
WU2	Sedang			✓		
WU3	Berat				✓	
Memhawa beban-kondisi miring						
WT1	Ringan	✓				
WT2	Sedang	✓				
WT3	Berat	✓				

Feeding

Kode	Bagian Tubuh	Tidak Pernah	Jarang	Kadang-kadang	Sering	Sangat Sering
Trunk (Badan)						
T1	Lurus, Tegak				✓	
T2	Sedikit miring				✓	
T3	Sangat miring				✓	
T4	Berputar	✓				
T5	Memungkuk			✓		
Arms (Lengan)						
A1	Keduanya dibawah bahu				✓	
A2	Satu tangan dibawah bahu			✓		
A3	Kedua tangan diatas bahu	✓				
Legs (Kaki)						
L1	Duduk	✓				
L2	Berdiri					✓
L3	Jongkok	✓				
L4	Berlutut dengan salah satu atau dua kaki	✓				
L5	Berjalan, berpindah					✓
Memhawa beban-kondisi tegak						
WU1	Ringan		✓			
WU2	Sedang			✓		
WU3	Berat			✓		
Memhawa beban-kondisi miring						
WT1	Ringan	✓				
WT2	Sedang	✓				
WT3	Berat		✓			

Reposisi Alat Angkut

Kode	Bagian Tubuh	Tidak Pernah	Jarang	Kadang-kadang	Sering	Sangat Sering
Trunk (Badan)						
T1	Lurus, Tegak			✓		
T2	Sedikit miring			✓		
T3	Sangat miring	✓				
T4	Berputar	✓				
T5	Memungkuk		✓			
Arms (Lengan)						
A1	Keduanya dibawah bahu			✓		
A2	Satu tangan dibawah bahu	✓				
A3	Kedua tangan diatas bahu	✓				
Legs (Kaki)						
L1	Duduk	✓				
L2	Berdiri			✓		
L3	Jongkok				✓	
L4	Berlutut dengan salah satu atau dua kaki		✓			
L5	Berjalan, berpindah	✓				
Memhawa beban-kondisi tegak						
WU1	Ringan	✓				
WU2	Sedang	✓				
WU3	Berat	✓				
Memhawa beban-kondisi miring						
WT1	Ringan	✓				
WT2	Sedang	✓				
WT3	Berat	✓				

C. Waktu Aktivitas Produksi

Kode	Waktu Proses tiap Aktivitas										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A1	19	18	22	21	23	22	21	20	22	21	20,9
A2	15	14	16	15	17	16	15	14	16	15	15,3
A3	210	200	205	215	220	210	208	212	218	205	210,3
A4	40	38	42	45	39	41	40	43	44	39	41,1
A5	90	85	88	92	95	90	87	93	91	89	90
A6	15	14	16	15	17	16	15	14	16	15	15,3
A7	40	38	42	41	39	40	43	44	41	39	40,7
B1	420	410	415	425	430	420	418	422	428	415	420,3
B2	60	58	62	65	59	61	60	63	64	59	61,1
B3	10	10	11	10	12	11	10	9	11	10	10,4
C1	15	14	16	15	17	16	15	14	16	15	15,3
C2	120	115	118	122	125	120	117	123	124	119	120,3
C3	20	19	22	21	19	20	23	18	21	19	20,2
C4	10	9	11	10	12	11	10	11	11	10	10,5
C5	15	14	16	15	17	16	15	14	16	15	15,3
D1	30	28	32	31	29	30	33	34	31	29	30,7
D2	320	310	315	325	330	320	318	322	328	315	320,3
E1	10	10	11	10	12	11	10	11	11	10	10,6
E2	10	12	11	10	12	11	10	10	11	10	10,7
E3	420	410	415	425	430	420	418	422	428	415	420,3

D. Kecukupan Data

Uji Kecukupan																					
Kode	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	E1	E2	E3	
Waktu Aktivitas	19	15	210	40	90	15	40	420	60	10	15	120	20	10	15	30	320	10	10	420	
	18	14	200	38	85	14	38	410	58	10	14	115	19	9	14	28	310	10	12	410	
	22	16	205	42	88	16	42	415	62	11	16	118	22	11	16	32	315	11	11	415	
	21	15	215	45	92	15	41	425	65	10	15	122	21	10	15	31	325	10	10	425	
	23	17	220	39	95	17	39	430	59	12	17	125	19	12	17	29	330	12	12	430	
	22	16	210	41	90	16	40	420	61	11	16	120	20	11	16	30	320	11	11	420	
	21	15	208	40	87	15	43	418	60	10	15	117	23	10	15	33	318	10	10	418	
	20	14	212	43	93	14	44	422	63	9	14	123	18	11	14	34	322	11	10	422	
	22	16	218	44	91	16	41	428	64	11	16	124	21	11	16	31	328	11	11	428	
	21	15	205	39	89	15	39	415	59	10	15	119	19	10	15	29	319	10	10	415	
sigma x	203	153	2103	411	900	153	407	4203	611	104	153	1203	202	105	153	307	3203	106	107	4203	
	20,3	15,3	210,3	41,1	90	15,3	40,7	420,3	61,1	10,4	15,3	120,3	20,2	10,5	15,3	30,7	320,3	10,6	10,7	420,3	
	361	225	44100	1600	8100	225	1600	176400	3600	100	225	14400	400	100	225	300	102400	100	100	176400	
	324	196	40000	1444	7225	196	1444	168100	3364	100	196	13225	361	81	196	784	96100	100	144	168100	
	484	256	42025	1764	7144	256	1764	172225	3844	121	256	13324	484	121	256	1024	93225	121	121	172225	
	441	225	46225	2025	8464	225	1681	180625	4225	100	225	14884	441	100	225	361	105625	100	100	180625	
	529	289	48400	1521	9025	289	1521	184900	3481	144	289	15625	361	144	289	841	108900	144	144	184900	
	484	256	44100	1681	8100	256	1600	176400	3721	121	256	14400	400	121	256	300	102400	121	121	176400	
	441	225	43264	1600	7953	225	1649	174724	3600	100	225	13689	529	100	225	1089	101624	100	100	174724	
	400	196	44344	1649	8643	196	1536	178084	3363	81	196	15123	324	121	196	1156	103684	121	100	178084	
sigma x2	484	256	47524	1936	8281	256	1681	183184	4096	121	256	15376	441	121	256	361	107584	121	121	183184	
	441	225	42025	1521	7921	225	1521	172225	3481	100	225	14161	361	100	225	841	93225	100	100	172225	
	4389	2349	442607	16941	81078	2349	16597	2E+06	37381	1088	2349	144813	4102	1109	2349	9457	1E+06	118	1151	2E+06	
	438,9	234,9	44260,7	1694,1	8107,8	234,9	1659,7	176687	3738,1	108,8	234,9	14481,3	410,2	110,9	234,9	945,7	102627	112,8	115,1	176687	
	K	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	S	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
	N*Sigma X^2	43890	23490	4E+06	169410	810780	23490	165970	2E+07	373810	10880	23490	1E+06	41020	11090	23490	94570	1E+07	11880	11510	2E+07
	Sigma X dikuadratkan	43661	23409	4E+06	168921	810000	23409	165649	2E+07	373321	10816	23409	1E+06	40804	11025	23409	94249	1E+07	11236	11449	2E+07
	Hasil Pengurangan	209	81	3461	439	790	81	321	3461	439	64	81	321	216	65	81	321	3461	44	61	3461
	Hasil Akar	14,517	9	58,83	22,113	27,228	9	17,316	58,83	22,113	8	9	30,348	14,63633846	8,06226	9	17,316	58,83	6,6332	7,8102	58,83
Dikali k/z	578,27	360	2353,2	884,53	1117,1	360	716,66	2353,2	884,53	320	360	1213,3	587,8775383	322,49	360	716,66	2353,2	265,33	312,41	2353,2	
Dibagi sigma x	2,7669	2,3529	1,119	2,1522	1,2413	2,3529	1,7608	0,5599	1,4477	3,0769	2,352941176	1,0091	2,310284843	3,07134	2,3529	2,3344	0,7347	2,5031	2,3197	0,5599	
Dikuadratkan	7,6555	5,5363	1,2521	4,6318	1,5407	5,5363	3,1005	0,3135	2,0958	3,4675	5,53633218	1,0182	8,469757867	3,43311	5,5363	5,4434	0,5398	6,2656	6,5248	0,3135	
Hasil N*	7,66	5,54	1,25	4,63	1,54	5,54	3,1	0,31	2,1	3,47	5,5363322	1,02	8,46975787	3,4331	5,54	5,45	0,54	6,27	8,52	0,31	

Uji Kecukupan																
Kode	Watu Proses tiap Aktivitas															Hasil
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	N	xi	xi2	(xi)2	N'	
A1	19	18	22	21	23	22	21	20	22	21	10	209	4389	43681	7,6555	Cukup
A2	15	14	16	15	17	16	15	14	16	15	10	153	2349	23409	5,5363	Cukup
A3	210	200	205	215	220	210	208	212	218	205	10	2103	442607	4E+06	1,2521	Cukup
A4	40	38	42	45	39	41	40	43	44	39	10	411	16941	168921	4,6318	Cukup
A5	90	85	88	92	95	90	87	93	91	89	10	900	81078	810000	1,5407	Cukup
A6	15	14	16	15	17	16	15	14	16	15	10	153	2349	23409	5,5363	Cukup
A7	40	38	42	41	39	40	43	44	41	39	10	407	16597	165649	3,1005	Cukup
B1	420	410	415	425	430	420	418	422	428	415	10	4203	1766867	2E+07	0,3135	Cukup
B2	60	58	62	65	59	61	60	63	64	59	10	611	37381	373321	2,0958	Cukup
B3	10	10	11	10	12	11	10	9	11	10	10	104	1088	10816	9,4675	Cukup
C1	15	14	16	15	17	16	15	14	16	15	10	153	2349	23409	5,5363	Cukup
C2	120	115	118	122	125	120	117	123	124	119	10	1203	144813	1E+06	1,0182	Cukup
C3	20	19	22	21	19	20	23	18	21	19	10	202	4102	40804	8,4698	Cukup
C4	10	9	11	10	12	11	10	11	11	10	10	105	1109	11025	9,4331	Cukup
C5	15	14	16	15	17	16	15	14	16	15	10	153	2349	23409	5,5363	Cukup
D1	30	28	32	31	29	30	33	34	31	29	10	307	9457	94249	5,4494	Cukup
D2	320	310	315	325	330	320	318	322	328	315	10	3203	1026267	1E+07	0,5398	Cukup
E1	10	10	11	10	12	11	10	11	11	10	10	106	1128	11236	6,2656	Cukup
E2	10	12	11	10	12	11	10	10	11	10	10	107	1151	11449	8,5248	Cukup
E3	420	410	415	425	430	420	418	422	428	415	10	4203	1766867	2E+07	0,3135	Cukup

E. Keceragaman Data

Kode	Uji Keceragaman										Jumlah	Rata-rata	Stand ar	BKA 95%	BKB	Hasil
	Watu Proses tiap Aktivitas															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
A1	19	18	22	21	23	22	21	20	22	21	209	20,9	1,5239	23,95	17,85	Seragam
A2	15	14	16	15	17	16	15	14	16	15	153	15,3	0,9487	17,20	13,40	Seragam
A3	210	200	205	215	220	210	208	212	218	205	2103	210,3	6,2013	222,70	197,90	Seragam
A4	40	38	42	45	33	41	40	43	44	33	411	41,1	2,331	45,76	36,44	Seragam
A5	90	85	88	92	95	90	87	93	91	89	900	90	2,9439	95,89	84,11	Seragam
A6	15	14	16	15	17	16	15	14	16	15	153	15,3	0,9487	17,20	13,40	Seragam
A7	40	38	42	41	39	40	43	44	41	39	407	40,7	1,8886	44,48	36,32	Seragam
B1	420	410	415	425	430	420	418	422	428	415	4203	420,3	6,2013	432,70	407,90	Seragam
B2	60	58	62	65	53	61	60	63	64	53	611	61,1	2,331	65,76	56,44	Seragam
B3	10	10	11	10	12	11	10	9	11	10	104	10,4	0,8433	12,09	8,71	Seragam
C1	15	14	16	15	17	16	15	14	16	15	153	15,3	0,9487	17,20	13,40	Seragam
C2	120	115	118	122	125	120	117	123	124	119	1203	120,3	3,199	126,70	113,90	Seragam
C3	20	19	22	21	19	20	23	18	21	19	202	20,2	1,5492	23,90	17,10	Seragam
C4	10	9	11	10	12	11	10	11	11	10	105	10,5	0,8498	12,20	8,80	Seragam
C5	15	14	16	15	17	16	15	14	16	15	153	15,3	0,9487	17,20	13,40	Seragam
D1	30	28	32	31	29	30	33	34	31	29	307	30,7	1,8886	34,48	26,32	Seragam
D2	320	310	315	325	330	320	318	322	328	315	3203	320,3	6,2013	332,70	307,90	Seragam
E1	10	10	11	10	12	11	10	11	11	10	106	10,6	0,6992	12,00	9,20	Seragam
E2	10	12	11	10	12	11	10	10	11	10	107	10,7	0,8233	12,35	9,05	Seragam
E3	420	410	415	425	430	420	418	422	428	415	4203	420,3	6,2013	432,70	407,90	Seragam