

**PENERAPAN KONSEP *LEAN AND GREEN MANUFACTURING* PADA PROSES
PRODUKSI PART KARBON KAP MESIN MOBIL**

(Studi Kasus: PT. KARYATAMA KOMPOSIT TEKNOLOGI)

TUGAS AKHIR

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



Nama : Tsuga Brilliandana Ashidiki Andhika Putra
No. Mahasiswa : 20522182

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

ii

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, 16 – 05 - 2025



(Tsuga Brilliandana Ashidiki
Andhika Putra)
NIM: 20522182

SURAT BUKTI PENELITIAN



PT KARYATAMA KOMPOSIT TEKNOLOGI
Jl. Tanjungsari Kencuran Sukoharjo, Kel. Sukoharjo, Kec. Ngaglik, Kab.
Sleman, Prov. Daerah istimewa Yogyakarta, 55584
Phone: 082221462582 Email: karyatamagarage@gmail.com

SURAT KETERANGAN SELESAI PENELITIAN

Nomor: 09.002/SKet/II/2025
Yogyakarta, 6 Februari 2025

Kepada Yth,
Ketua Program Studi Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang KM 14,5 Sleman
Di Yogyakarta

Perihal : Surat Keterangan Selesai Penelitian

Dengan hormat,

Menerangkan bahwa, mahasiswa atas nama:
Nama : Tsuga Brilliandana Ashidiki Andhika Putra
Nim : 20522182
Prodi : Teknik Industri
Fakultas : Teknologi Industri
Universitas : Universitas Islam Indonesia (UII)

Bahwa yang bersangkutan telah selesai melakukan penelitian di PT. Karyatama Komposit Teknologi dengan pembimbing Supervisor Produksi Sdr. Rio Helmi Ansori.

Pelaksanaan penelitian mulai dari 1 September 2024 s/d 30 September 2024 dengan judul penelitian "PENERAPAN LEAN AND GREEN MANUFACTURING PADA PROSES PRODUKSI PART KARBON KAP MESIN MOBIL (Studi Kasus: PT. Karyatama Komposit Teknologi)".

Sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan perusahaan bahwa yang bersangkutan wajib menyerahkan 1 (satu) exemplar karya tulis hasil penelitian sebagai arsip di PT. Karyatama Komposit Teknologi.

Hormat Kami,
Manager HRGA

Gyan Cassandra Suwito

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

iv

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PENERAPAN KONSEP *LEAN AND GREEN MANUFACTURING* PADA PROSES PRODUKSI PART KARBON KAP MESIN MOBIL

(Studi Kasus: PT. KARYATAMA KOMPOSIT TEKNOLOGI)



TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Tsuga Brilliandana Ashidiki Andhika Putra

No. Mahasiswa : 20522182

Yogyakarta, 16 Mei 2025

Dosen Pembimbing



(Elanjati Worldailmi, S.T., M.Sc.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

v

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENERAPAN KONSEP *LEAN AND GREEN MANUFACTURING* PADA PROSES PRODUKSI PART KARBON KAP MESIN MOBIL

(Studi Kasus: PT. KARYATAMA KOMPOSIT TEKNOLOGI)

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Tsuga Brilliandana Ashidiki Andhika Putra
No. Mahasiswa : 20522182

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

Universitas Islam Indonesia

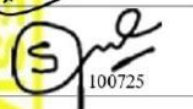
Yogyakarta, 16 Mei 2025

Tim Penguji

Elanjati Worldailmi, S.T., M.Sc.
Ketua

Wahyudhi Sutrisno, S.T., M.M., M.T
Anggota I

Dr. Taufiq Immawan, S.T., M.M.
Anggota II


Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia



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

NIK 015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT, kita memuji-Nya, dan meminta pertolongan, pengampunan serta petunjuk kepada-Nya. Kita berlindung kepada Allah dari kejahatan diri kita dan keburukan amal kita. Barang siapa mendapat petunjuk dari Allah maka tidak akan ada yang menyesatkan dan barang siapa yang sesat maka tidak ada pemberi petunjuk baginya. Aku bersaksi bahwa tidak ada Tuhan selain Allah dan bahwa Muhammad adalah hamba dan Rasulnya-Nya. Semoga doa, shalawat tercurah pada junjungan dan suri teladan kita Nabi Muhammad SAW, keluarganya, dan sahabat serta siapa saja yang mendapat petunjuk hingga hari kiamat. Amiin.

Persembahkan Tugas Akhir ini dan rasa terima kasih saya ucapkan untuk:

1. Keluargaku tercinta, kedua orang tua saya yang sangat saya cintai, serta adik kandungku yang telah memberikan kasih sayang, doa, dukungan serta motivasi baik secara moril maupun materil secara langsung dan semoga mereka diberikan perlindungan dan menjadi orang yang bahagia di dunia maupun di akhirat.
2. Bu Elanjati Worldailmi, S.T., M.Sc. selaku pembimbing saya yang selalu membimbing dan mengarahkan saya serta membantu saya dalam perjalanan penelitian
3. Sahabat – sahabatku tersayang yang senantiasa selalu menguatkan saya dan memberikan semangat selama di kuliah ini.
4. Teman-teman saya program studi Teknik Industri angkatan 2020 tersayang yang senantiasa memberikan semangat pada saya.
5. Almamaterku tercinta Universitas Islam Indonesia.

MOTTO

Man Jadda Wa Jada (Barang siapa yang berusaha (inshaAllah) akan mendapat apa yang diusahakan)".

*"Kau tidak akan dapat memahami seseorang hingga kau melihat segala sesuatu dari sudut pandangnya, hingga kau menyusup ke balik kulitnya dan menjalani hidup dengan caranya."
Harper Lee - To Kill a Mockingbird*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakattuh

lhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“PENERAPAN KONSEP LEAN AND GREEN MANUFACTURING PADA PROSES PRODUKSI PART KARBON KAP MESIN MOBIL (Studi Kasus: PT. KARYATAMA KOMPOSIT TEKNOLOGI)”** dengan baik dan tepat pada waktunya. Tidak lupa, shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat yang telah menghantarkan umat manusia ke jalan yang diridhai Allah SWT.

Tugas akhir merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk memperoleh gelar sarjana strata-1 Program Studi Teknik Industri Universitas Islam Indonesia. Dari tugas akhir yang dilaksanakan, penulis dapat mengetahui penerapan ilmu yang dipelajari di bangku kuliah dalam penelitian ilmiah.

Penulisan laporan Tugas Akhir ini bisa berjalan dengan baik tidak lepas dari bimbingan, doa, dukungan, dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis sangat mengucapkan banyak terima kasih dan hormat kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan Kemudahan dan kelancaran dalam menjalani kegiatan dan penulisan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua saya ibu, bapak, dan adik selaku keluarga tercinta yang selalu mendoakan dan memotivasi secara langsung serta memberikan dukungan baik secara material dan dukungan moral, sehingga dengan lancar penulis dapat menjalani pelaksanaan Kerja Praktik.
3. Bapak Prof., Dr., Hari Purnomo, Ir., M.T. selaku dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, ST., MSc., Ph.D., IPM. selaku ketua Program Studi Teknik Industri program sarjana Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
5. Bu Elanjati Worldailmi, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak membantu dan meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, kritik dan saran kepada penulis yang membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. PT KARYATAMA Komposit Teknologi yang telah memberikan izin kepada penulis untuk dapat melaksanakan kegiatan penelitian.
7. Bapak Wahrudin selaku Manajer Divisi Produksi dan bapak Rio selaku Supervisor Divisi Produksi yang telah berperan sebagai pembimbing dan pengarah di lapangan, yang sangat membantu penulis dalam menjalankan penelitian serta menerima dan memberikan kepercayaan untuk dapat melaksanakan penelitian TA di bidang produksi.
8. Chris Junaedi Irawan dan Nasyid Haramain. selaku teman yang bersama-sama berjuang dalam penelitian ini yang telah membantu dan bekerja sama dalam melaksanakan dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
9. Seluruh pihak – pihak yang membantu penulis dalam perjalanan Kerja Praktik yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlimpah rahmat, karunia, dan kelapangan hati

atas segala kebaikan yang beliau – beliau berikan kepada penulis dan semoga menjadi amal Sholeh, Amiin.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih ada kekurangan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mohon kritik, saran, dan masukan yang bersifat membangun demi penulisan yang lebih baik dimasa yang akan datang. Akhir kata, semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Amiin.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 16 Mei 2025

Tsuga Brilliandana Ashidiki Adhika Putra



ABSTRAK

Perkembangan industri manufaktur di Indonesia menuntut perusahaan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan proses produksinya guna menghadapi persaingan global. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan konsep *Lean and Green Manufacturing* pada proses produksi *part* karbon kap mesin mobil di PT. Karyatama Komposit Teknologi. Penelitian difokuskan pada identifikasi dan eliminasi *waste* (pemborosan) serta pengurangan dampak lingkungan dari proses produksi. Metode yang digunakan meliputi *Value Stream Mapping* (VSM) untuk memetakan aliran proses dan mengidentifikasi aktivitas *non-value-added*, *Green Analysis* untuk menilai aspek lingkungan, serta analisis akar masalah dengan diagram *Fishbone Analysis*. Hasil *Process Activity Mapping* menunjukkan bahwa dari total waktu proses sebesar 1.466 menit, terdapat 134 menit aktivitas *non-value-added* (NVA) atau sekitar 9,14%. *Waste* yang paling signifikan diidentifikasi adalah *waiting time* pada proses *prepare material* selama 10 menit dan waktu pencarian *mold* pada proses *prepare mold* selama 8 menit. Usulan perbaikan dari penerapan *Lean* berupa perubahan tata letak penyimpanan *mold* mampu mengurangi jarak tempuh operator sebesar 54%, dari 110,2 meter menjadi 50,4 meter, dan mempercepat waktu proses hingga 8 menit. Sementara itu, pendekatan *Green* menghasilkan menurunkan total emisi karbon sebesar 14.87% dari kondisi awal melalui penerapan prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*). *Future State Mapping* menunjukkan peningkatan efisiensi proses dengan total waktu proses menurun menjadi 1086 menit (penurunan sebesar 25,92%), serta pengurangan aktivitas *non-value-added* menjadi 119 menit (10,96%). Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi *Lean* dan *Green Manufacturing* mampu meningkatkan produktivitas sekaligus menurunkan dampak lingkungan dari proses produksi.

Kata Kunci: *Lean Manufacturing, Green Manufacturing, Value Stream Mapping, Waste, Efisiensi Produksi.*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
SURAT BUKTI PENELITIAN.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
MOTTO.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
ABSTRAK.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Manfaat Penelitian.....	7
1.5 Batasan Penelitian	8
1.6 Sistematika Penulisan.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Kajian Literatur	10
2.1.1 Minimasi <i>Waste</i> menggunakan <i>Lean Manufacturing</i>	10
2.1.2 Minimasi <i>Waste</i> menggunakan <i>Lean And Green Manufacturing</i>	14
2.2 Kajian Teori.....	20
2.2.1 Konsep <i>Lean and Green Manufacturing</i>	20
2.2.2 <i>Lean Manufacturing</i>	23
2.2.3 <i>Green Manufacturing</i>	23
2.2.4 <i>Process Activity Mapping</i>	24
2.2.5 <i>Green Analysis</i>	24
2.2.6 Pemborosan (<i>Waste</i>)	25
2.2.7 <i>Value Stream Mapping</i>	27
2.2.8 <i>Current State Mapping</i>	29
2.2.9 <i>Future State Mapping</i>	31
2.2.10 <i>Fishbone Analysis Diagram</i>	32
BAB III METODE PENELITIAN	34
3.1 Objek Penelitian	34
3.2 Sumber Data	34
3.3 Teknik Pengumpulan Data	34
3.4 Diagram Alur Pengamatan	36
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	38
4.1 Profil Perusahaan.....	38
4.2 Lokasi Perusahaan.....	39
4.3 Visi dan Misi Perusahaan.....	40
4.4 Pengumpulan Data	40

4.4.1. Alur Proses Produksi Part Carbon Kap Mesin Mobil.....	40
4.5. Pengolahan Data.....	44
4.5.1. <i>Process Activity Mapping Produksi Part Carbon Kap Mesin Mobil</i>	44
4.5.2. <i>Current State Mapping</i>	47
4.5.3. <i>Lean State Map</i>	48
4.5.4. <i>Green State Map</i>	56
4.5.5. <i>Future State Mapping</i>	60
4.5.6. <i>Fishbone Diagram Analysis</i>	62
BAB V PEMBAHASAN atau PENGUJIAN SISTEM DAN PEMBAHASAN	65
5.1. Analisis <i>Process Activity Mapping</i>	65
5.2. Analisis <i>Value Stream Mapping</i>	67
5.3. <i>Green Analysis</i>	70
5.4. Usulan Perbaikan.....	72
BAB VI PENUTUP	74
6.1 Kesimpulan.....	74
6.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>State of Arts</i>	17
Tabel 4. 1 <i>Process Activity Mapping Part Carbon Kap Mesin Mobil</i>	44
Tabel 4. 2 Keterangan <i>Current State Mapping</i>	47
Tabel 4. 3 Waktu Awal dan Setelah pada aktivitas <i>Prepare Material</i>	49
Tabel 4. 3 Jarak Stasiun Kerja <i>Prepare Mold</i> Sebelum Perbaikan	51
Tabel 4. 4 Jarak Stasiun Kerja <i>Prepare Mold</i> Setelah Perbaikan	53
Tabel 4. 5 Waktu Awal dan Setelah pada aktivitas <i>Prepare Mold</i>	54
Tabel 4. 6 Waktu Awal dan Setelah pada aktivitas <i>Shape</i> dan <i>Fine Sanding</i>	55
Tabel 4. 7 Emisi CO ₂ Berdasarkan Komponen Produksi Awal	58
Tabel 4. 8 Emisi CO ₂ Berdasarkan Komponen Produksi Setelah Perbaikan	59
Tabel 5. 1 <i>Process Activity Mapping</i> setelah perbaikan.....	65
Tabel 5. 2 Analisis <i>Value Stream Mapping</i>	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Data Produksi Kap Mesin.....	4
Gambar 1. 2 Data Permintaan <i>Part</i> Kap Mesin	5
Gambar 2. 1 Filosofi <i>Green</i> dan <i>Lean Manufacturing</i>	22
Gambar 2. 2 <i>Value Stream Mapping</i>	27
Gambar 2. 3 Tahapan <i>Value Stream Mapping</i>	29
Gambar 2. 4 Simbol-Simbol pada <i>Value Stream Mapping</i>	30
Gambar 2. 5 <i>Fishbone Diagram</i>	32
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian.....	36
Gambar 4. 1 Logo PT. Karyatama Komposit Teknologi	38
Gambar 4. 2 Struktur Organisasi PT. Karyatama Komposit Teknologi	39
Gambar 4. 3 Lokasi PT. Karyatama Komposit Teknologi.....	39
Gambar 4. 4 Alur Proses Produksi <i>Part Carbon</i> Kap Mesin Mobil	41
Gambar 4. 5 <i>Current State Mapping</i> Kap Mesin Mobil	47
Gambar 4. 6 <i>Lean State Map</i> Kap Mesin Mobil	48
Gambar 4. 7 <i>Layout</i> Awal Penyimpanan <i>Mold</i>	50
Gambar 4. 8 <i>Layout</i> Penyimpanan <i>Mold</i> Setelah Perbaikan	52
Gambar 4. 9 <i>Green State Map</i> Kap Mesin Mobil	56
Gambar 4. 10 <i>Future State Mapping</i>	60
Gambar 5. 1 <i>Fishbone Diagram Analysis</i>	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman yang semakin pesat telah mendorong pertumbuhan signifikan pada sektor industri di Indonesia, khususnya di bidang manufaktur. Berdasarkan data dari Kementerian Perindustrian (2022), sektor manufaktur mencatatkan realisasi investasi sebesar Rp325,4 triliun pada tahun 2021. Angka ini tidak hanya melampaui target yang ditetapkan sebesar Rp280–290 triliun, tetapi juga menunjukkan peningkatan sebesar 19% dibandingkan dengan tahun sebelumnya, yaitu Rp272,9 triliun. Capaian tersebut mencerminkan potensi besar yang dimiliki sektor manufaktur, sekaligus menandakan meningkatnya tingkat persaingan antar pelaku industri. Dalam menghadapi persaingan tersebut, perusahaan dituntut untuk terus berinovasi dalam meningkatkan kualitas produk serta memberikan pelayanan terbaik kepada konsumen. Selain itu, pesatnya perkembangan teknologi juga menimbulkan tantangan baru, di mana perusahaan harus mampu beradaptasi dengan cepat agar tetap kompetitif di tengah dinamika pasar global.

Salah satu aspek penting dalam meningkatkan daya saing industri adalah dengan menerapkan strategi produksi yang efisien dan berkelanjutan. Efisiensi penggunaan sumber daya, penerapan teknologi terkini, serta integrasi inovasi dalam proses produksi menjadi kunci utama dalam menciptakan keunggulan kompetitif. Strategi tersebut tidak hanya membantu perusahaan memenuhi permintaan pasar yang terus berkembang, tetapi juga mendorong terciptanya nilai tambah yang selaras dengan prinsip keberlanjutan dan tanggung jawab terhadap lingkungan. Dengan demikian, sektor manufaktur di Indonesia memiliki peluang besar untuk meningkatkan daya saing baik di tingkat nasional maupun internasional. Hal ini dapat dicapai melalui adopsi teknologi modern dan pendekatan strategis yang inovatif dalam rangka meningkatkan produktivitas serta keberlanjutan proses produksi secara keseluruhan.

Dalam menghadapi persaingan pasar yang semakin kompetitif, perusahaan dituntut untuk mengembangkan berbagai strategi dan kebijakan guna meningkatkan efisiensi serta produktivitas operasional. Upaya ini menjadi krusial agar perusahaan mampu mempertahankan eksistensinya dan memenangkan persaingan industri (Heizer et al., 2020). Namun, pencapaian produktivitas yang optimal kerap terhambat oleh berbagai faktor, salah satunya adalah

pemborosan (*waste*) yang terjadi dalam proses produksi. Bentuk pemborosan dapat meliputi waktu tunggu, kelebihan produksi, transportasi yang tidak efisien, serta penggunaan sumber daya yang tidak tepat guna, yang secara langsung berdampak pada penurunan efisiensi proses (Tortorella & Fettermann, 2018). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, banyak perusahaan mulai menerapkan pendekatan *lean manufacturing*. Metode ini berfokus pada pengidentifikasian dan eliminasi aktivitas *non-value-added* guna menciptakan aliran produksi yang lebih efisien dan responsif terhadap kebutuhan pelanggan (Camuffo et al., 2017). Selain meningkatkan efisiensi operasional, penerapan *lean* juga berkontribusi terhadap peningkatan kualitas dan kepuasan pelanggan. Di sisi lain, meningkatnya aktivitas produksi juga menimbulkan tantangan lingkungan yang signifikan. Isu lingkungan seperti limbah produksi, emisi, serta konsumsi energi yang tinggi kini menjadi perhatian utama dalam operasional industri. Oleh karena itu, sistem produksi modern tidak hanya dituntut untuk efisien dari segi biaya, tetapi juga harus memperhatikan aspek keberlanjutan lingkungan (Dangelico & Pujari, 2010). Penggunaan bahan baku yang dapat didaur ulang, pengurangan limbah, serta proses yang ramah lingkungan merupakan langkah penting dalam mewujudkan konsep *green manufacturing*. Dengan mengintegrasikan pendekatan *lean* dan *green* dalam sistem produksi, perusahaan tidak hanya dapat meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga turut berkontribusi terhadap keberlanjutan lingkungan. Pendekatan ini semakin relevan di era industri saat ini, di mana kesadaran terhadap isu sosial dan lingkungan menjadi bagian penting dari keberhasilan jangka panjang perusahaan.

Pada dasarnya konsep *Lean Manufacturing* (LM) adalah suatu upaya terus-menerus untuk menghilangkan pemborosan (*Waste*) dan meningkatkan nilai tambah (*value added*) produk (barang/jasa) agar memberikan nilai kepada pelanggan (*customer value*). Dan *Lean* berfokus pada identifikasi dan eliminasi aktivitas-aktivitas tidak bernilai tambah (*non-value-adding activities*) dalam desain, produksi (untuk bidang manufaktur) atau operasi (untuk bidang jasa), dan *supply chain management*, yang berkaitan langsung dengan pelanggan (Ikatinasari & Kosasih, 2021). Dalam proses produksi, sering kali terdapat aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah bagi produk maupun pelanggan. Aktivitas semacam ini dikenal sebagai *waste* atau pemborosan, dan harus diminimalkan untuk meningkatkan efisiensi sistem produksi (Bhamu & Sangwan, 2014). Pemborosan dapat berupa waktu tunggu, transportasi yang tidak efisien, kelebihan inventori, hingga proses yang tidak perlu. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satu pendekatan yang banyak digunakan oleh industri adalah *lean manufacturing*. *Waste*

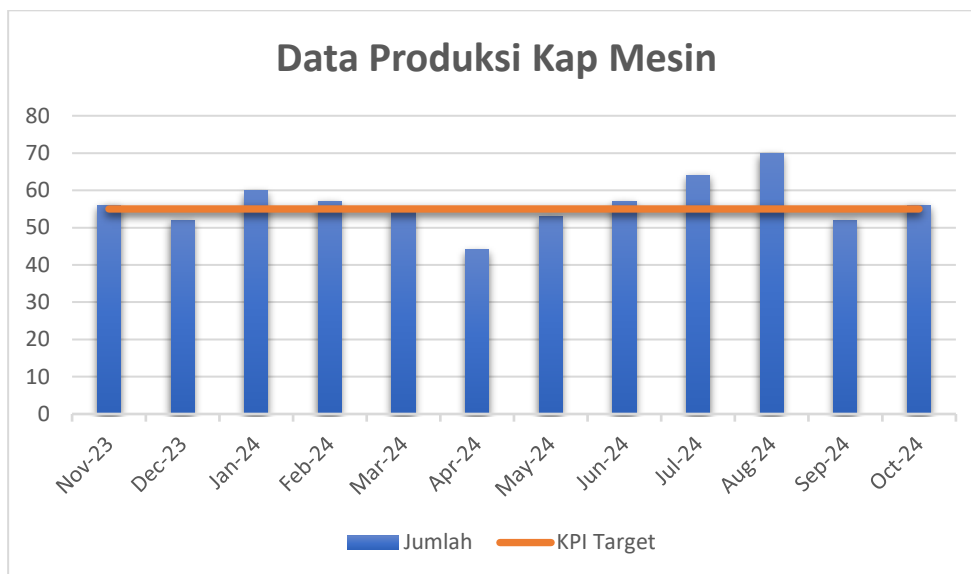
adalah segala kegiatan pada saat proses produksi yang tidak menciptakan atau memiliki nilai tambah (Liker & Meier, 2006). Untuk mengurangi maupun menghilangkan pemborosan (*waste*) maka perusahaan dapat menggunakan metode *lean manufacturing* (Fernando & Noya, 2014).

Lean manufacturing merupakan strategi manajemen operasional yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi aktivitas *non-value added*, sehingga dapat meningkatkan efisiensi produksi meskipun dengan ruang, waktu kerja, dan inventori yang terbatas (Marodin et al., 2016). Konsep *lean* tidak hanya menekan pemborosan, tetapi juga mendorong perbaikan berkelanjutan (*continuous improvement*) dalam proses produksi, yang berimplikasi pada peningkatan produktivitas dan daya saing perusahaan. Salah satu *tools* penting dalam penerapan *lean manufacturing* adalah *Value Stream Mapping* (VSM). VSM merupakan metode visualisasi yang memetakan aliran material dan informasi dari awal hingga produk sampai ke tangan konsumen. Dengan VSM, perusahaan dapat mengidentifikasi titik-titik pemborosan dalam proses produksi serta merancang sistem produksi yang lebih efisien dan terintegrasi (Cherrafi et al., 2017). Implementasi VSM juga berfungsi sebagai dasar dalam menyusun strategi perbaikan sistem yang berkelanjutan dan berbasis data, sehingga perusahaan dapat mengoptimalkan aliran produksi secara menyeluruh.

Sedangkan konsep *Green Manufacturing* (GM) meliputi proses pembuatan produk dengan penggunaan material minimal dan proses yang meminimasi dampak negatif terhadap lingkungan, hemat energi dan sumber daya alam, aman bagi karyawan, masyarakat, dan konsumen, dengan tetap bernilai ekonomis (Dornfeld, 2013; Rehman dkk., 2013). Sehingga pada praktik *Lean* dan *Green* ini saling melengkapi mulai dari *lean manufacturing* yang fokus pada pengurangan pemborosan (*waste reduction based*) dan *green manufacturing* dengan (*Reuse, Reduce, Recycle*) 3R (Dües, Tan, dan Lim, 2013). Praktik *lean* dan *green manufacturing* saling mempengaruhi satu sama lain. Ada tiga jenis hubungan *lean* dan *green manufacturing*, yaitu 1) *Lean* dan *green manufacturing* saling melengkapi satu sama lain; 2) Sinergi antara dua konsep menghasilkan performansi yang lebih baik; dan 3) Hubungan timbal balik antara *lean* dan pengurangan limbah lingkungan (Hallam dan Contreras, 2016).

PT. Karyatama Komposit Teknologi merupakan perusahaan di bidang industri manufaktur yang memproduksi dan mendesain serat karbon komposit untuk komponen otomotif. Adapun pada tahapan proses pembuatannya dibagi menjadi dua jenis yaitu tahapan produksi dan tahapan *finishing*. PT. Karyatama Komposit Teknologi menggunakan sistem MTO (*Make To*

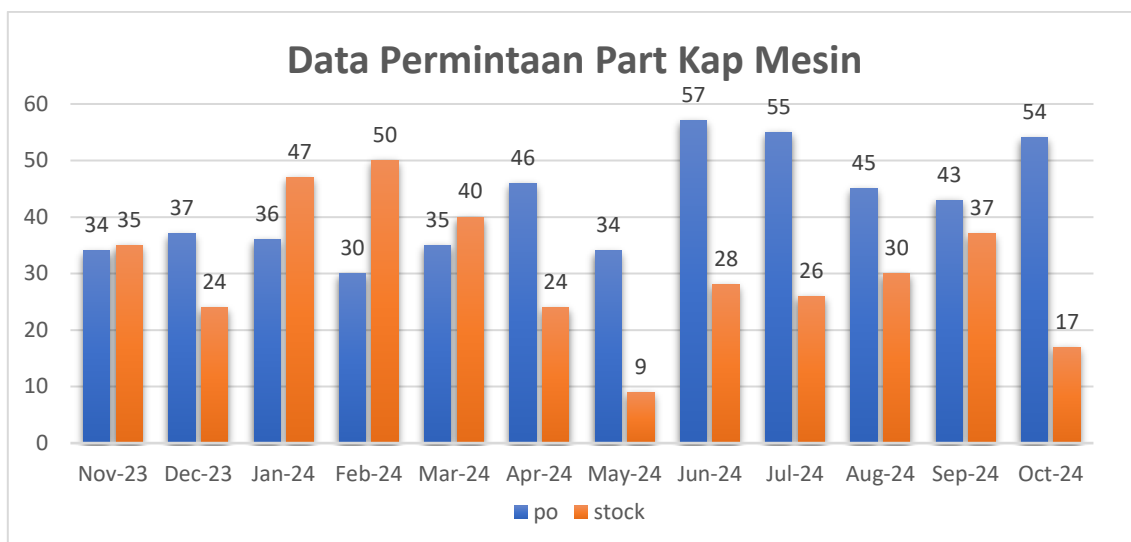
Order) yang di mana perusahaan akan melakukan produksi sesuai permintaan dari *customer* yaitu komponen *body* otomotif serat karbon untuk mobil, motor, *drone*, helm dan sebagainya.



Gambar 1. 1 Data Produksi Kap Mesin

(Sumber: Data Pribadi)

Berdasarkan data di atas terkait produksi kap mesin pada PT. Karyatama Komposit Teknologi menunjukkan fluktuasi performa produksi, dengan penurunan signifikan di April 2024 sebesar 18,52%, lalu pada bulan-bulan selanjutnya menunjukkan pemulihan namun mengalami penurunan kembali pada bulan September 2024 sebesar 38,57% sehingga mengindikasikan bahwa ketidakstabilan kinerja walaupun perusahaan sempat berada di puncak pada bulan Juli hingga Agustus 2024 namun mengalami penurunan kembali pada bulan September 2024. Penerapan *Lean and Green Manufacturing* dapat membantu perusahaan mengatasi fluktuasi performa produksi bulanan dan meningkatkan efisiensi secara keseluruhan. *Lean* akan membantu menghilangkan pemborosan dan mengoptimalkan sumber daya, sementara *Green* akan mendukung keberlanjutan dan pengurangan biaya melalui pengelolaan energi dan material yang lebih baik. Kombinasi keduanya dapat memastikan perusahaan mencapai stabilitas operasional yang lebih baik dan mampu memaksimalkan kinerja pada bulan-bulan dengan permintaan tinggi, sekaligus memitigasi dampak negatif pada bulan-bulan dengan performa lebih rendah.



Gambar 1. 2 Data Permintaan *Part Kap Mesin*
(Sumber: Data Pribadi)

Berdasarkan data "Data Permintaan *Part Kap Mesin*", terlihat adanya ketidakseimbangan antara jumlah pemesanan (*pre-order*) dan stok (*stock*) dari November 2023 hingga Oktober 2024. Pemesanan cenderung meningkat, dengan puncak tertinggi di Juni dan Oktober 2024 (55 dan 54 unit), sementara stok mengalami fluktuasi dan beberapa kali berada pada level rendah, terutama di Mei (9 unit) dan Oktober (17 unit). Defisit stok yang berulang, terutama saat permintaan tinggi, dapat berpotensi menyebabkan keterlambatan pemenuhan pesanan. Diperlukan strategi manajemen inventaris yang lebih efektif untuk menyesuaikan stok dengan tren permintaan yang meningkat.

Data permintaan *part kap mesin* menunjukkan adanya ketidakseimbangan antara pemesanan dan stok, yang diperparah oleh fluktuasi performa produksi PT. Karyatama Komposit Teknologi. Penurunan produksi yang signifikan di April dan September 2024 menyebabkan defisit stok yang berdampak pada pemenuhan permintaan, sementara pada bulan-bulan dengan produksi tinggi pun, stok masih belum mampu mengimbangi kebutuhan pasar. Untuk mengatasi ketidakstabilan ini, penerapan *Lean and Green Manufacturing* dapat menjadi solusi yang efektif. Pendekatan *Lean* akan mengoptimalkan proses produksi dengan mengurangi waktu tunggu dan pemborosan, sementara *Green* akan meningkatkan efisiensi penggunaan material dan energi, sehingga memastikan kesinambungan operasional. Dengan penerapan strategi ini, perusahaan dapat lebih adaptif terhadap fluktuasi permintaan, mengurangi risiko kekurangan stok, serta meningkatkan stabilitas produksi dalam jangka panjang.

Maka dari itu PT Karyatama Komposit Teknologi, sebagai perusahaan yang bergerak di bidang produksi *part* komposit, khususnya pada pembuatan *part body carbon* untuk kap mesin mobil, menyadari pentingnya meningkatkan efisiensi dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dalam proses produksinya. Dalam upaya untuk meningkatkan kinerja operasional, perusahaan ini berkomitmen untuk mengimplementasikan prinsip-prinsip *lean manufacturing* dan *green manufacturing* yang bertujuan untuk mengurangi pemborosan sumber daya serta meminimalkan dampak lingkungan. Namun, berdasarkan pengamatan yang dilakukan oleh peneliti, terdapat sejumlah pemborosan yang terjadi pada proses produksi, terutama pada tahap *vacuuming* dalam pembuatan *part carbon*. Proses ini, yang memiliki peran krusial dalam memastikan kualitas komposit yang dihasilkan, sering kali mengalami inefisiensi yang berdampak pada waktu dan biaya produksi yang lebih tinggi. Pemborosan ini tidak hanya berpengaruh pada produktivitas perusahaan, tetapi juga berpotensi meningkatkan jejak karbon dan limbah yang dihasilkan. Selain itu, hasil wawancara dengan pihak PT Karyatama Komposit Teknologi mengungkapkan keinginan perusahaan untuk mengoptimalkan proses produksi agar dapat menghasilkan *part* dengan kualitas terbaik namun dengan biaya dan waktu yang lebih efisien. Dalam konteks tersebut, penerapan *lean manufacturing* untuk mengidentifikasi dan mengurangi pemborosan, serta penerapan *green manufacturing* untuk mengurangi dampak lingkungan, menjadi solusi yang relevan dan sangat dibutuhkan. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengkaji lebih lanjut tentang penerapan prinsip *lean and green manufacturing* pada produksi *part carbon* kap mesin mobil di PT Karyatama Komposit Teknologi dengan harapan dapat memberikan rekomendasi perbaikan yang dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan proses produksi.

Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama pemborosan. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat meningkatkan efisiensi sumber daya yang dikeluarkan dalam proses produksi karena semakin sedikit sumber daya atau energi yang terbuang maka semakin banyak yang akan dimanfaatkan hal ini sekaligus dapat membantu melestarikan lingkungan dan pengembangan ekonomi daerah. Dalam konteks keberlanjutan, penelitian ini juga dapat membantu industri manufaktur menjadi ramah lingkungan yang sekaligus mengurangi dampak negatif limbah terhadap lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan pada latar belakang, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut.

1. Apa saja *waste* dan *green* yang dihasilkan pada proses produksi *part carbon* kap mesin mobil di PT. Karyatama Komposit Teknologi
2. Seberapa besar pengaruh *waste* dan *green* yang dihasilkan proses produksi *part carbon* kap mesin mobil di PT. Karyatama Komposit Teknologi
3. Bagaimana solusi perbaikan yang dilakukan terhadap aspek *waste* dan *green* pada proses produksi *part carbon* kap mesin mobil di PT. Karyatama Komposit Teknologi

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan, maka pengamatan ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi *waste* dan *green* yang dihasilkan pada proses produksi *part carbon* kap mesin mobil di PT. Karyatama Komposit Teknologi
2. Menganalisis pengaruh *waste* dan *green* yang dihasilkan pada proses produksi *part carbon* kap mesin mobil di PT. Karyatama Komposit Teknologi
3. Memberikan rekomendasi untuk meminimasi *waste* dan *green* yang ada pada proses produksi *part carbon* kap mesin mobil di PT. Karyatama Komposit Teknologi

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari adanya pengamatan ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Mahasiswa
 - a. Pengamatan yang dilakukan diharapkan dapat menambah pengetahuan penulis dalam mengaplikasikan ilmu pengetahuan yang diperoleh dalam perkuliahan ke dalam sistem nyata. Sehingga, mahasiswa dapat mengasah pemahaman dan kemampuan untuk diterapkan di sistem nyata dalam hal ini perusahaan manufaktur.
 - b. Mengetahui bagaimana ilmu pengetahuan serta metode *Lean and Green Manufacturing* yang telah dipelajari untuk menganalisis permasalahan dan memberikan solusi pada PT. Karyatama Komposit Teknologi sehingga dapat mengoptimalkan proses produksi di PT. Karyatama Komposit Teknologi
2. Bagi Perusahaan

- a. Pengamatan ini diharapkan dapat menjadi rekomendasi bagi PT. Karyatama Komposit Teknologi untuk meningkatkan produktivitas perusahaan.
- b. Sebagai bentuk saran dan masukan kepada perusahaan untuk perbaikan di PT. Karyatama Komposit Teknologi dengan menggunakan metode *Lean and Green Manufacturing* untuk meningkatkan produktivitas perusahaan.

1.5 Batasan Penelitian

Pengamatan ini mempunyai beberapa pengamatan sehingga pengamatan yang dilakukan dapat terarah. Batasan masalah pada pengamatan ini adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan data dilakukan di PT. Karyatama Komposit Teknologi
2. *Waste* yang diidentifikasi adalah 7 jenis *waste* pada PT. Karyatama Komposit Teknologi
3. Fokus penelitian ini pada proses produksi karbon *part carbon* kap mesin mobil saja

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan adalah gambaran mengenai isi yang dibahas pada laporan Tugas Akhir ini, yang mana dibagi menjadi enam pokok bahasan yaitu sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini memberikan gambaran umum tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan manfaat penelitian.

BAB II KAJIAN LITERATUR

Kajian literatur meliputi penelitian sebelumnya yang serupa dengan topik penelitian saat ini. Untuk menunjukkan bahwa topik penelitian tugas akhir memenuhi syarat dan kriteria, bab ini melakukan penelitian literatur deduktif dan induktif.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang objek penelitian yang akan digunakan pada penelitian ini, teknik pengumpulan data dan *flowchart* atau diagram alir penelitian.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini akan membahas data yang telah diperoleh. Metode yang telah ditetapkan juga dibahas dimana hasil yang diperoleh juga akan dianalisis dari data yang diolah.

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan analisis, yang menganalisis hasil penelitian dan menunjukkan bahwa model penelitian sesuai dengan sistem nyata. Analisis ini menjawab pertanyaan awal masalah.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini mencakup kesimpulan dan rekomendasi. Kesimpulan memberikan ringkasan singkat hasil penelitian yang telah dilakukan, dan pembahasan menjawab rumusan masalah. Saran mencakup gagasan penulis untuk meningkatkan penelitian yang serupa dari penelitian sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Kajian literatur ini memuat beberapa penelitian terdahulu yang digunakan sebagai acuan dan pembandingan dalam mendukung analisis serta penyusunan penelitian ini. Kajian ini juga bertujuan untuk memperkuat pemahaman konsep, metode, serta hasil-hasil penelitian sebelumnya yang menjadi acuan dalam penyusunan penelitian. Adapun kajian literatur yang digunakan sebagai berikut:

2.1.1 Minimasi *Waste* menggunakan *Lean Manufacturing*

Penelitian tentang pengendalian kualitas menggunakan *Lean Manufacturing* telah dilakukan oleh peneliti di skala nasional maupun internasional dengan objek penelitian yang berbeda-beda. Kebanyakan penelitian yang telah dilakukan berobjek pada sebuah industri manufaktur seperti penelitian-penelitian berikut:

Penelitian yang dilakukan oleh Firdaus et al. (2023) berisi tentang bagaimana meningkatkan efisiensi dan efektivitas saat produksi dengan mengurangi *waste*, seperti *waiting time*, serta *product defect* dengan konsep *Lean Manufacturing* dengan tools *Value Stream Mapping* (VSM) selanjutnya menganalisis dengan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) pada perusahaan manufaktur produksi *Steel Door/Fire Door* di PT Anugerah Damai Mandiri (ADM). diketahui bahwa dalam produksi *steel door* terdapat Total waktu selama 252 menit, waktu tersebut masih kurang efisien dikarenakan masih terdapat aktivitas *non value adding* atau tidak bernilai tambah dan terdapat tiga jenis *waste* yang ditemukan yaitu *transportation*, *waiting time*, dan *product defect*. Usulan perbaikan dengan cara *continuous improvement* yaitu metode dengan perbaikan secara terus menerus sesuai dengan konsep *lean manufacturing* atau *Kaizen*. Mengevaluasi kinerja operator produksi secara berkala, dan memperbaiki *layout* tata letak pabrik.

Penelitian yang dilakukan oleh Ahsan et al. (2023) bertujuan untuk menerapkan pendekatan *lean manufacturing* melalui *value stream mapping* (VSM) pada perusahaan pelabelan dan pengemasan di Bangladesh atas peningkatan kinerja organisasi secara keseluruhan dan menggeneralisasikannya perusahaan. Kegiatan seperti mengidentifikasi keadaan masalah saat ini, meninjau penerapan *lean* sistem dan VSM, menemukan aktivitas yang bernilai tambah dan

tidak bernilai tambah, eksperimen berdasarkan hal baru parameter, dan menganalisis data untuk perbaikan telah dilakukan. Indikator kinerja utama (KPI) disertakan adalah pengurangan *lead time* dan tingkat keluhan pelanggan (CCR), peningkatan unit produksi per jam tenaga kerja (UPLH), dan memanfaatkan efektivitas peralatan (UEE) untuk menganalisis peningkatan produktivitas dalam berbagai proses. Itu menunjukkan bahwa aplikasi yang tepat VSM, *Kanban*, pengaturan pengurangan waktu pendekatan *single-minute-exchange-of-die* (SMED), dan analisis mengapa-mengapa dapat menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam KPI. Dengan menggunakan pendekatan waktu tunggu tersebut dikurangi dengan merancang rak cetakan *kanban* baru, pemborosan gerakan dikurangi dengan merancang pengaturan garis *finishing* baru, dan cacat produksi dikurangi dengan menerapkan teknik stiker warna baru. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa proses produksi yang dibantu oleh *lean manufacturing* meningkatkan *lead-time*, ICR, dan CCR sebesar 7,1%, 55%, dan 83%, yang berarti produksi lebih baik dengan kualitas optimal dan limbah lebih sedikit. Pelajaran ini memberikan banyak kontribusi pada industri pelabelan dan pengemasan untuk produktivitas dan peningkatan kualitas.

Penelitian yang dilakukan oleh Bella et al. (2024) berisi tentang pengimplementasian dari metode *Lean Six Sigma* untuk meminimasi *waste* di industri manufaktur makanan. *Lean Six Sigma* merupakan pendekatan terpadu antara pemikiran *lean* dan metode *Six Sigma*. *Lean* adalah sebuah cara pemikiran dan prinsip yang digunakan untuk meningkatkan kinerja suatu proses melalui penghapusan pemborosan dan kesalahan. Dia berfokus pada kecepatan, aliran, dan biaya suatu proses. Di sisi lain, *Six Sigma* adalah sebuah metode untuk meningkatkan proses kemampuan dengan menganalisis proses dengan identifikasi masalah dan menerapkan perbaikan untuk menyelesaikannya masalah. Ini berfokus pada konsistensi kualitas dan bagaimana memenuhi kebutuhan pelanggan. Gabungan, *Lean* dan *Six Sigma* akan bermanfaat bagi organisasi dalam menentukan metode yang paling sesuai untuk mengidentifikasi dan memecahkan masalah permasalahan sehingga hasil dari suatu proses dapat memenuhi kepuasan pelanggan hingga keuntungan dapat ditingkatkan. Pelajaran ini mengusulkan metodologi *Lean Six Sigma* sebagai pendekatan untuk mengurangi pemborosan dalam proses produksi suatu makanan industri manufaktur. Pendekatan yang diusulkan adalah pendekatan DMAIC, dan alat-alatnya digunakan untuk menilai dampak limbah pada proses produksi. Hasilnya, penelitian ini juga akan menyimpulkan bagaimana pendekatan DMAIC dapat membantu perusahaan dalam mengurangi limbah. Saran terkait alat DMAIC, dan implementasinya juga

dijabarkan agar perusahaan terkait dapat mengevaluasi prosesnya saat ini dan berupaya menjadi lebih baik peningkatan.

Penelitian yang dilakukan oleh Soleymanizadeh et al. (2023) berisi tentang Teknologi *Digital Twin Empowering* yang digunakan untuk mendukung berbagai pendekatan manufaktur, termasuk *Lean*, *Agile*, *just-in-time*, Fleksibel, Ketahanan, dan produksi Berkelanjutan. Dengan memberikan representasi virtual dari sistem produksi fisik, *digital twins* memungkinkan analisis, simulasi, dan optimalisasi proses produksi yang lebih akurat. Kembar digital dapat digunakan untuk menyimulasikan skenario yang berbeda, mengidentifikasi potensi kemacetan, dan mengurangi pemborosan, sehingga mendorong *lean manufacturing*. Mereka juga dapat memfasilitasi produksi *just-in-time* dengan menyediakan data *real-time* mengenai tingkat inventaris dan jadwal produksi. Selain itu, *digital twins* dapat membantu produsen merespons dengan cepat terhadap perubahan kondisi pasar dan kebutuhan pelanggan dengan mendukung manufaktur yang tangkas dan fleksibel. Terakhir, teknologi kembar digital dapat berperan penting dalam mendorong manufaktur berkelanjutan dengan membantu mengoptimalkan penggunaan sumber daya, mengurangi limbah, dan meningkatkan efisiensi secara keseluruhan. Kesimpulannya, teknologi kembar digital menyediakan platform yang kuat untuk pemodelan, simulasi, dan optimalisasi proses produksi, memungkinkan produsen mencapai tujuan produksi dan mengatasi tantangan masa depan.

Penelitian yang dilakukan oleh Dana et al. (2023) berisi tentang perbaikan *Sustainable Manufacturing* untuk mendukung performansi proses produksi yang lebih berkelanjutan. Penelitian ini berfokus pada perbaikan berkelanjutan yang memanfaatkan skor Indeks Keberlanjutan Manufaktur (MSI) masuk peningkatan kinerja Manufaktur Berkelanjutan masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengajukan usulan baru kerangka kerja untuk mengevaluasi Keberlanjutan Manufaktur berdasarkan *lean Six Sigma* dan Manufaktur Berkelanjutan konsep menggunakan *Sustainable Value Stream Mapping* (Sus-VSM). Kami menyebut kerangka kerja baru ini *Sustainable Lean Six Sigma* (SLSS) berdasarkan pendekatan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*). Diagram SIPOC dan metode Delphi digunakan pada tahap *Define* untuk memilih indikator yang relevan. Kemudian, indikator yang dipilih dievaluasi pada tahap *Measure*, dan Indeks Keberlanjutan Manufaktur (MSI) dihitung. Pada Tahap *Analyze*, Sus-VSM dianalisis. Pada tahap *Improve*, usulan perbaikan dibuat dengan menggunakan *Failure Analysis Mode and Effect* (FMEA), dan Sus-VSM masa depan dibuat. Terakhir, pada tahap Kontrol, ada lembar pemeriksaan dibuat untuk mengontrol implementasi

perbaikan yang diusulkan. Dalam proses DMAIC, Sus-VSM digunakan sebagai pemetaan aliran produksi menggunakan sistem lampu lalu lintas untuk memetakan indikator di setiap proses dan nilai MSI di dalamnya garis produksi. Studi kasus juga dilakukan pada Industri Agro-Pangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerangka yang diusulkan dapat diterapkan di perusahaan dan berhasil meningkatkan skor *Manufacturing Sustainability Index* (MSI) dari 88,78% menjadi 93,80%. Implikasi penelitian ini menunjukkan potensi menggunakan kerangka SLSS dalam meningkatkan kinerja keberlanjutan manufaktur di sektor industri.

Penelitian yang dilakukan oleh Jaber et al. (2023) berisi tentang pengimplementasian model untuk pemilihan alat *lean manufacturing* dengan mengadopsi metode pengambilan keputusan *multi-kriteria hybrid* (MCDM). Penelitian ini Mendapatkan bobot kriteria yang andal dalam model ini sangatlah rumit. Mereka kekurangan itu pertimbangan ketidakpastian abu-abu. Oleh karena itu, penelitian ini adalah penelitian pertama yang mengusulkan model hibrid untuk memilih himpunan LM alat berdasarkan pengaruhnya terhadap keberlanjutan. Model ini menggabungkan metode terbaik-terburuk (BWM) untuk pembobotan kriteria dan teknik abu-abu untuk urutan preferensi berdasarkan kesamaan dengan solusi ideal (Grey-TOPSIS) metode untuk menentukan peringkat alternatif dan mengatasi masalah ketidakpastian abu-abu. Seperangkat metrik keberlanjutan (kriteria seleksi) ditentukan berdasarkan tinjauan literatur dan evaluasi ahli untuk memprioritaskan serangkaian alat LM. Sebuah perusahaan semen Irak digunakan untuk mengevaluasi model yang diusulkan. Hasil pemeringkatan menunjukkan bahwa alat pemetaan aliran nilai (VSM) adalah yang paling penting, sedangkan pertukaran dadu dalam satu menit (SMED) adalah alat yang paling tidak penting. Peringkat alat LM yang tersisa berkisar antara kedua alat tersebut tergantung pada dampaknya terhadap keberlanjutan. Penelitian ini melakukan analisis sensitivitas menggunakan tiga strategi yang memverifikasi ketahanan dan keandalan model. Penelitian ini memberikan 16 metrik keberlanjutan yang dapat diterapkan dan 12 alat LM yang dapat berfungsi sebagai landasan pengetahuan untuk penelitian masa depan. Hal ini dapat membantu peneliti dan produsen memaksimalkan kinerja keberlanjutan dengan menghadirkan model MCDM hibrid sesuai pilihan alat LM yang sesuai.

2.1.2 Minimasi *Waste* menggunakan *Lean And Green Manufacturing*

Penelitian yang dilakukan oleh Sunmola et al. (2024) berisi tentang penerapan praktik *lean green* sebagai pendekatan untuk mengidentifikasi dan menghilangkan limbah tidak bernilai tambah dalam proses manufaktur, sekaligus memastikan praktik berkelanjutan pada perusahaan manufaktur komponen otomotif. Penelitian ini memperluas literatur terkini tentang praktik *lean green* di bidang manufaktur dengan a) mengeksplorasi penerapan praktik *lean green* saat ini di industri manufaktur komponen otomotif dan b) mengkaji tantangan yang dihadapi dalam proses rantai pasokan saat menerapkan praktik tersebut. Evaluasi ini menggunakan model SCOR, dan kelompok fokus profesional manufaktur komponen otomotif di Inggris. Temuan mengungkapkan bahwa tingkat rata-rata penerapan praktik *lean green*, menawarkan manfaat seperti peningkatan produktivitas, pengurangan biaya, dan peningkatan keunggulan kompetitif. Tantangan penerapan ditemukan terutama dihadapi dalam proses pengadaan dan manufaktur (MAKE) pada rantai pasokan, yang sebagian besar disebabkan oleh masalah alih daya komponen, dan inefisiensi dalam konversi bahan mentah menjadi produk jadi untuk memenuhi permintaan rantai pasokan.

Penelitian yang dilakukan oleh Dharmendra et al. (2023) berisi tentang penerapan *Integrated Sustainable-Green-Lean-Six Sigma-Agile Manufacturing System (ISGLSAMS)* pada perusahaan manufaktur di India. Kelangkaan sumber daya dan tuntutan pelanggan terhadap variasi produk menyebabkan penelitian yang signifikan dalam sistem manufaktur berbasis pasar berkelanjutan, yaitu sistem manufaktur terintegrasi berkelanjutan-*green-lean-six sigma-agile* (ISGLSAMS). Banyak organisasi manufaktur memilih ISGLSAMS dengan campuran atau keberhasilan parsial. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh berbagai hambatan ISGLSAMS terhadap (i) adopsi ISGLSAMS, dan (ii) pasar organisasi, kinerja operasional dan berkelanjutan di organisasi manufaktur India. Metodologi penelitian meliputi (i) perancangan kuesioner survei, (ii) pengumpulan data, dan (iii) analisis data. Sebanyak 540 tanggapan diterima dari 3607 kuesioner survei yang dikirimkan. Berdasarkan pendapat empat pakar industri dan dua pakar akademis dari bidang manajemen operasi hambatan ISGLSAMS dikelompokkan menjadi sepuluh konstruksi formatif. Pengaruh konstruksi terhadap adopsi ISGLSAMS dan kinerja ISGLSAMS dianalisis dengan *SmartPLS 2.0 M3*. Hasilnya menunjukkan bahwa (i) konstruksi risiko teknologi dan komitmen pemasok yang rendah, (ii) konstruksi ketidakpastian, kesalahpahaman, dan permintaan pelanggan yang rendah, (iii) konstruksi kompleksitas manajerial, dan (iv) konstruksi kompleksitas desain

merupakan hambatan utama di India untuk ISGLSAMS. Hasilnya juga menunjukkan bahwa hambatan ISGLSAMS mempunyai pengaruh negatif yang signifikan terhadap operasional organisasi, pasar, dan kinerja berkelanjutan. Studi ini memberikan kesempatan bagi para pembuat kebijakan dan organisasi untuk merancang dan mengembangkan kebijakan, dan kegiatan penelitian untuk mengatasi hambatan, dan keberhasilan penerapan ISGLSAMS di India.

Penelitian yang dilakukan oleh Dharmendra et al. (2022) berisi tentang penerapan sistem manufaktur dengan upaya memanfaatkan kelangkaan sumber daya, dan perlunya melestarikan sumber daya untuk generasi mendatang telah terjadi pertumbuhan signifikan dalam penelitian dan pengembangan dalam sistem manufaktur berkelanjutan yang berfokus pada pasar, di khususnya dengan pandangan pemulihan produk, penghapusan limbah, dan undang-undang TPA. Ini telah memperpanjang tanggung jawab organisasi manufaktur untuk mencakup pemulihan dan pembuangan produk, proses, dan limbah rantai pasokan, serta penerapan sistem manufaktur tanggap cepat yang berkelanjutan menghasilkan produk khusus yang berkelanjutan. Diperlukan sistem dan strategi manufaktur yang lebih kompatibel memenuhi tujuan bisnis ini. Hal ini diamati melalui literatur bahwa *lean six sigma* ramah lingkungan yang terintegrasi sistem manufaktur tangkas (ISGLSAMS) menyediakan platform yang kuat untuk memenuhi semua kebutuhan bisnis, sosial dan kebutuhan ekologis di bawah satu payung. Namun, banyak organisasi memilih strategi ini secara sukarela dan banyak yang tidak. Hal ini diamati melalui survei literatur bahwa melalui strategi ini organisasi meningkatkan kinerja mereka kinerja keuangan, pasar, sosial, lingkungan, operasional, dan berkelanjutan. Tujuan utama dari hal ini tinjauan ini bertujuan untuk mengidentifikasi berbagai pendorong penerapan ISGLSAMS, sehingga pemerintah, pemangku kepentingan, dan pembuat kebijakan dapat merencanakan strategi untuk memotivasi organisasi untuk ISGLSAMS. Ulasan tersebut juga membahas faktor pendukung utama dan karakteristik ISGLSAMS, produk, dan strategi. Tinjauan tersebut juga menyoroti kuncinya karakteristik, dan klausul masing-masing pengemudi, dan bidang penelitian bagi pengemudi untuk penerapan ISGLSAMS. Itu review juga menunjukkan pengukuran kinerja atau kerangka tolok ukur kinerja untuk ISGLSAMS.

Penelitian yang dilakukan oleh Dharmendra et al. (2023) penerapan struktur model untuk operator dengan *Integrated Sustainable-Green-Lean-Six Sigma-Agile Manufacturing System (ISGLSAMS)* pada perusahaan manufaktur di India. Hilangnya keanekaragaman hayati dan permintaan pelanggan yang terus berubah menyebabkan pertumbuhan signifikan dalam sistem

manufaktur tangkas enam sigma ramah lingkungan yang terintegrasi dan berkelanjutan (ISGLSAMS). ISGLSAMS memberikan manfaat yang cepat daya tanggap serta memenuhi persyaratan keberlanjutan dan tingkat kualitas kelas dunia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis efek penggabungan dari penggerak ISGLSAMS pada pasar organisasi, operasional, dan kinerja berkelanjutan di India, sehingga pembuat kebijakan, organisasi, dan pemerintah dapat membuat rencana strategis kebijakan untuk mendorong organisasi merangkul ISGLSAMS. Berdasarkan pendapat empat pakar industri dan dua profesional akademis dari bidang manajemen operasi, pendorong ISGLSAMS dikelompokkan menjadi enam konstruksi formatif: (i) konstruksi legislatif, (ii) konstruksi pasar, (iii) konstruksi insentif keuangan & Pemerintah, (iv) konstruksi organisasi, (v) konstruksi tekanan rekan kerja & publik, (vi) tekanan rantai pasokan & teknologi konstruk perubahan, dan item kinerja ISGLSAMS organisasi dikelompokkan menjadi tiga konstruksi kinerja formatif (i) kinerja operasional, (ii) kinerja pasar, dan (iii) kinerja berkelanjutan. Itu Pengaruh konstruk terhadap penerapan ISGLSAMS dan kinerja ISGLSAMS dianalisis melalui struktural pemodelan persamaan dengan *Smart PLS 2.0 M3*. Terlihat bahwa (i) konstruksi pasar, (ii) konstruksi tekanan rantai pasokan & perubahan teknologi, (iii) konstruksi keuangan, dan (iv) konstruksi organisasi memiliki pengaruh yang lebih tinggi terhadap pendorong ISGLSAMS dibandingkan konstruksi tekanan rekan & publik serta konstruksi legislatif di India. Efek gabungan dari persaingan, permintaan pelanggan, dan fragmentasi pasar massal menjadi beberapa ceruk pasar saat ini lebih banyak ditemukan menonjol di India untuk mendorong organisasi agar merangkul kinerja ISGLSAMS daripada tekanan rantai pasokan dan perubahan teknologi. Persaingan, permintaan pelanggan, dan fragmentasi pasar massal menjadi banyak ceruk pasar juga akan mempengaruhi tekanan rantai pasokan dan perubahan teknologi untuk ISGLSAMS. Penggerak ISGLSAMS lebih mempengaruhi kinerja operasional organisasi dibandingkan pasar, dan mempertahankan kinerja yang mampu.

Tabel 2. 1 *State of Arts*

No.	Penulis	Judul	Metode	
			Lean Manufacturing	Green Manufacturing
1	Ali Jaber,K.Y Wong (2023)	<i>Sustainability metrics and a hybrid decision-making model for selecting lean manufacturing tools</i>	√	
2	Dana, Millenia (2023)	<i>Sustainable Lean Six-sigma: A new framework for improve sustainable manufacturing performance</i>	√	
3	Dharmendra, Sanjeev (2023)	<i>A study of the barriers to the adoption of integrated sustainable-green-lean-six sigma-agile manufacturing system (ISGLSAMS) in Indian manufacturing organizations</i>	√	√
4	Dharmendra, Sanjeev (2022)	<i>Corrigendum to “Drivers for the adoption of integrated sustainable green lean six sigma agile manufacturing system (ISGLSAMS) and research directions”</i>	√	√
5	Dharmendra, Sanjeev (2022)	<i>Drivers for the adoption of integrated sustainable green lean six sigma agile manufacturing system (ISGLSAMS) and research directions</i>	√	√
6	Dharmendra Hariyani, Sanjeev Mishra, Sharma M (2022)	<i>Structural Equation Modeling of Drivers for the Adoption of an Integrated Sustainable-Green-Lean-Six Sigma-Agile Manufacturing System (ISGLSAMS) in Indian Manufacturing Organizations</i>	√	√

No.	Penulis	Judul	Metode	
			Lean Manufacturing	Green Manufacturing
7	F Sunmola., O.R Mbafotu., Salihu-Yusuf., Hakeem O Sunmola (2024)	<i>Lean green practices in Automotive Components Manufacturing</i>	√	√
8	Firdaus, R. Z., & Wahyudin, W (2023)	Penerapan Konsep <i>Lean Manufacturing</i> untuk Meminimasi <i>Waste</i> pada PT Anugerah Damai Mandiri (ADM)	√	
9	Hajar Soleymanizadeh et al (2023)	<i>Digital Twin Empowering Manufacturing Paradigms: Lean, Agile, Just-in-Time (JIT), Flexible, Resilience, Sustainable</i>	√	
10	Ivana Tita Bella et al (2024)	<i>The implementation of Lean Six Sigma approach to minimize waste at a food manufacturing industry</i>	√	
11	Muhammad Ahsan et al (2023)	<i>Implementing lean manufacturing for improvement of operational performance in a labeling and packaging plant: A case study in Bangladesh</i>	√	
12	Muhammad Akbar F et al (2024)	Pendekatan <i>Lean Manufacturing</i> Pada Proses Produksi <i>Furniture</i> Dengan Metode <i>Cost Integrated Value Stream Mapping</i>	√	

No.	Penulis	Judul	Metode	
			Lean Manufacturing	Green Manufacturing
13	Muhammad Yasin et al (2021)	Aplikasi Metode <i>Multycriteria Decision Making (MCDM)</i> Application of <i>Multicriteria Decision Making (MCDM) Method by Weighting Technic Using in Identifying and Designing Marine Protected Area in North Luwu, South Sulawesi Province</i>	√	
14	Paulinus et al (2024)	Penerapan Lean Manufacturing Untuk Meminimalkan <i>Waste</i> Pada Bagian Produksi Di PT. Mechmar Jaya Industri	√	
15	Teresa B.A et al (2022)	<i>Implementation of Lean Manufacturing and Kaizen to Improve Productivity in The Production Floor</i>	√	
16	Tsuga Brilliandana Ashidiki Andhika Putra	Penelitian ini	√	√

Berdasarkan *state of arts* pada tabel 2.1. Terdapat perbedaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian ini. Pada penelitian terdahulu tidak terdapat penelitian langsung yang akan mengolaborasikan antara metode *Lean Manufacturing* dan *Green Manufacturing* untuk meminimasi *waste* pada proses produksi. Metode *Lean Manufacturing* untuk mengidentifikasi *waste*. Sedangkan *Green Manufacturing* untuk meminimasi dampak lingkungan.

2.2 Kajian Teori

2.2.1 Konsep *Lean and Green Manufacturing*

Konsep dari *Lean Manufacturing* adalah suatu pendekatan sistematis yang bertujuan untuk mengurangi pemborosan (*waste*) dan meningkatkan nilai tambah bagi pelanggan dalam proses produksi. Konsep ini pertama kali dikembangkan melalui *Toyota Production System* (TPS) oleh Taiichi Ohno dan Shigeo Shingo, sebagai respons terhadap kebutuhan efisiensi pasca Perang Dunia II. Prinsip utama dari *Lean Manufacturing* adalah menciptakan nilai (*value*) semaksimal mungkin dengan sumber daya seminimal mungkin (Bhamu & Sangwan, 2014). Menurut Camuffo et al. (2017), pemborosan dalam konteks *Lean* didefinisikan sebagai segala bentuk aktivitas yang mengonsumsi sumber daya namun tidak memberikan kontribusi terhadap nilai produk akhir. Untuk mengeliminasi pemborosan tersebut, lahirlah konsep *Lean Thinking*, yang menjadi kerangka kerja utama *Lean Manufacturing*. *Lean Thinking* terdiri atas lima prinsip utama yang dijelaskan sebagai berikut (Tortorella et al., 2021):

1. Mendefinisikan Nilai dari Sudut Pandang Pelanggan

Nilai hanya dapat didefinisikan oleh pelanggan akhir (*ultimate customer*). Nilai tersebut ter gambarkan dalam bentuk produk atau layanan yang memenuhi kebutuhan pelanggan dalam hal kualitas, waktu pengiriman, dan harga yang sesuai. Tidak hanya pelanggan eksternal, sistem produksi juga melibatkan pelanggan internal yaitu pihak dalam rantai produksi yang menerima hasil dari proses sebelumnya (Sahoo, 2021).

2. Mengidentifikasi Aliran Nilai (*Value Streams*)

Value Stream merupakan seluruh rangkaian aktivitas, baik yang menambah maupun tidak menambah nilai, yang diperlukan untuk menghasilkan suatu produk mulai dari bahan mentah hingga ke tangan pelanggan. Alat bantu seperti *Value Stream Mapping* (VSM) digunakan untuk memvisualisasikan aliran material dan informasi, sehingga mempermudah identifikasi *waste* (Cherrafi et al., 2017).

3. Proses yang Mengalir Secara Kontinu (*Continuous flow*)

Setelah aliran nilai dipetakan, langkah selanjutnya adalah memastikan setiap aktivitas yang memberi nilai tambah dapat mengalir secara kontinu tanpa hambatan antar proses. Tujuannya adalah untuk mempercepat waktu produksi dan meminimalkan waktu tunggu (Marodin et al., 2016).

4. Mengimplementasikan Sistem Produksi Tarik (*Pull Production*)

Dengan aliran kontinu yang telah diterapkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan sistem tarik. Sistem tarik dilakukan dengan memproduksi barang berdasarkan permintaan aktual, bukan prediksi. Hal ini berlawanan dengan sistem dorong yang menggunakan estimasi permintaan untuk merencanakan produksi, yang sering kali menimbulkan *overproduction* dan pemborosan stok (Almanei et al., 2017).

5. Melakukan Penyempurnaan dengan *Continuous Improvement*

Organisasi yang menerapkan *Lean* harus memiliki komitmen terhadap perbaikan terus-menerus. Proses *kaizen* dilakukan untuk meningkatkan kinerja dalam hal kualitas, biaya, dan waktu, serta menghindari stagnasi proses. Tidak ada titik akhir dalam perbaikan ini karena orientasinya adalah pada pencapaian kesempurnaan operasional (Camuffo et al., 2017).

Sedangkan konsep dari *Green Manufacturing* merupakan pendekatan strategis dalam sistem produksi yang bertujuan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan melalui pengelolaan sumber daya yang efisien dan ramah lingkungan. Konsep ini menjadi semakin penting seiring meningkatnya kesadaran global terhadap isu-isu keberlanjutan dan regulasi lingkungan yang semakin ketat (Jabbour et al., 2013). Menurut Dangelico dan Pujari (2010), *Green Manufacturing* tidak hanya fokus pada pengurangan limbah dan emisi, tetapi juga mencakup efisiensi energi, penggunaan bahan baku berkelanjutan, serta penerapan teknologi bersih selama siklus hidup produk. Tujuan akhirnya adalah untuk mencapai keseimbangan antara kinerja ekonomi dan tanggung jawab lingkungan. Prinsip-prinsip utama dalam *Green Manufacturing* meliputi:

1. Penggunaan Sumber Daya yang Efisien

Fokus utama adalah pada efisiensi energi, air, dan bahan baku guna meminimalkan limbah yang dihasilkan dan mengurangi biaya operasional. Strategi ini meliputi peningkatan efisiensi mesin, pengaturan ulang proses produksi, dan pemilihan material ramah lingkungan (Ghisellini et al., 2016).

2. Reduksi Emisi dan Limbah

Green Manufacturing mendorong penerapan proses produksi yang menghasilkan emisi gas rumah kaca dan limbah industri yang seminimal mungkin. Penggunaan teknologi filtrasi, daur ulang, dan pengolahan limbah menjadi hal yang esensial dalam mencapai target ini (Zhu et al., 2010).

3. Desain Produk yang Berkelanjutan (*Eco-Design*)

Produk dirancang agar memiliki dampak lingkungan minimal sepanjang siklus hidupnya, termasuk dalam proses produksi, penggunaan, dan pembuangannya. Konsep ini dikenal juga sebagai *Design for Environment* (DfE) (Dangelico & Vocalelli, 2017).

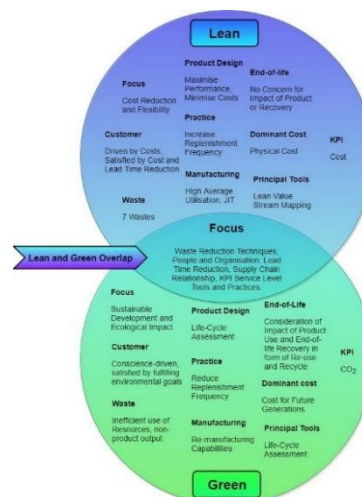
4. Penerapan Teknologi Bersih

Inovasi dalam proses dan peralatan produksi sangat diperlukan agar sistem manufaktur dapat berjalan lebih ramah lingkungan. Misalnya, penggunaan energi terbarukan, pengendalian proses otomatis yang hemat energi, serta sistem pemulihan panas (Su et al., 2013).

5. Peningkatan Kesadaran dan Kelibatan Karyawan

Keberhasilan *Green Manufacturing* sangat bergantung pada keterlibatan sumber daya manusia. Pelatihan, budaya kerja hijau, serta integrasi nilai-nilai lingkungan ke dalam sistem manajemen sangat penting untuk mendorong perubahan perilaku di tingkat operasional (Jabbour et al., 2013).

Green Manufacturing tidak hanya memberikan keuntungan dari sisi keberlanjutan lingkungan, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan citra perusahaan, loyalitas pelanggan, efisiensi biaya, dan kepatuhan terhadap regulasi yang berlaku. Ketika diintegrasikan dengan konsep *Lean Manufacturing*, kedua pendekatan ini dapat saling melengkapi dalam mencapai *Lean and Green Manufacturing*, yaitu sistem produksi yang efisien sekaligus ramah lingkungan (Cherrafi et al., 2017).



Gambar 2. 1 Filosofi *Green* dan *Lean Manufacturing*
(Sumber: Dües, Tan, & Lim, 2013)

2.2.2 *Lean Manufacturing*

Lean berarti rangkaian aktivitas atau solusi untuk mengeliminasi *waste*, mereduksi operasi *non value added* (NVA) dan meningkatkan operasi *value added* (VA) (Wee, 2009). *Lean* merupakan salah satu pendekatan yang dapat diterapkan di berbagai bidang, *lean enterprise* merupakan *lean* yang diterapkan pada keseluruhan perusahaan, *lean service* adalah *lean* yang diterapkan pada bidang jasa, begitu juga pada bidang manufaktur maka ada *lean manufacturing*. Terdapat lima prinsip dasar yang ditetapkan dalam buku (Gaspersz, 2007) sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi nilai produk (barang dan/atau jasa) berdasarkan perspektif pelanggan, dimana pelanggan menginginkan produk (barang dan/atau jasa) berkualitas superior, dengan harga yang kompetitif dengan pemberian waktu yang tepat waktu.
2. Mengidentifikasi *value stream mapping* (pemetaan proses pada *value stream*) untuk setiap produk (barang dan/atau jasa). Kebanyakan manajemen perusahaan industri di Indonesia hanya melakukan pemetaan proses bisnis atau proses kerja, bukan pemetaan proses produk. Hal ini berbeda dengan pendekatan *lean*.
3. Menghilangkan pemborosan yang tidak bernilai tambah dari semua aktivitas sepanjang proses *value stream* itu.
4. Mengorganisasikan agar material, informasi, dan produk mengalir dengan lancar dan efisien sepanjang proses *value stream* dengan menggunakan sistem tarik (*pull system*).
5. Terus-menerus mencari berbagai teknik dan alat peningkatan (*improvement tools and techniques*) untuk mencapai keunggulan dan peningkatan terus-menerus.

2.2.3 *Green Manufacturing*

Manufaktur merupakan elemen penting dari pembangunan berkelanjutan karena memproduksi barang-barang yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Manufaktur adalah sistem *input-output* di mana sumber daya adalah masukan dan diubah melalui proses manufaktur menjadi produk atau produk setengah jadi. *Green manufacturing* berkaitan erat dengan *Sustainable Manufacturing* (SM). *Sustainable Manufacturing* sendiri diartikan sebagai "penciptaan produk yang bernilai ekonomis melalui proses yang meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, menghemat energi dan sumber daya alam, serta melestarikan sumber daya alam dan energi untuk menjamin ketersediaannya di masa yang akan datang. Proses yang dilakukan juga harus aman bagi karyawan, masyarakat, dan konsumen." *Sustainable Manufacturing* merupakan evolusi dari sistem manufaktur mulai dari sistem manufaktur yang tradisional, kemudian *lean manufacturing* yang fokus pada pengurangan pemborosan (*waste*

reduction based), *green manufacturing* dengan 3R, hingga akhirnya pada konsep *sustainable manufacturing* dengan pendekatan 6R pada siklus hidup produk. Penerapan *Sustainable Manufacturing* mengarah pada tercapainya Pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) sebagaimana dikemukakan oleh Komisi Dunia tentang Lingkungan dan pembangunan (David A. Dornfeld, 2013) diartikan sebagai "pembangunan yang memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri."

2.2.4 Process Activity Mapping

Process Activity Mapping (PAM) merupakan salah satu alat analisis dalam pendekatan *lean manufacturing* yang digunakan untuk mengidentifikasi aktivitas-aktivitas dalam proses produksi dan mengklasifikasikannya ke dalam kategori bernilai tambah (*value-added*) dan tidak bernilai tambah (*non-value-added*). Tujuan utama dari PAM adalah untuk mengeliminasi pemborosan (*waste*) yang tidak memberikan nilai bagi pelanggan dan mengoptimalkan efisiensi proses. Pemetaan aktivitas ini dilakukan secara sistematis dengan menelusuri seluruh tahapan proses, mulai dari *input* hingga *output*, serta mencatat waktu dan jarak tempuh antar aktivitas (Vilasini et al., 2012).

Penerapan *Process Activity Mapping* sangat penting pada tahap awal implementasi *lean manufacturing* karena dapat dijadikan sebagai dasar analisis sebelum dilakukan perbaikan proses. Selain itu, PAM juga menjadi alat komunikasi visual yang memudahkan tim lintas fungsi dalam memahami kondisi aktual di lapangan, sekaligus memberikan panduan dalam merancang solusi perbaikan proses secara terstruktur dan terukur (Hidayat et al., 2020).

Dengan semakin meningkatnya kebutuhan industri terhadap efisiensi operasional dan pengurangan *waste*, pemanfaatan *Process Activity Mapping* menjadi relevan untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data yang akurat. Hasil dari PAM dapat digunakan untuk merancang ulang tata letak, mereduksi waktu siklus, serta menyusun strategi peningkatan produktivitas secara berkelanjutan.

2.2.5 Green Analysis

Metodologi *lean* telah terbukti secara luas mampu meningkatkan efisiensi produktivitas (Santos et al., 2006). Namun, dalam beberapa situasi, penerapan konsep *lean* secara ketat justru dapat mengakibatkan hilangnya energi atau sumber daya alam, yang sebaiknya dihindari semaksimal mungkin. Contoh yang jelas adalah terkait dengan frekuensi pengisian ulang persediaan, yang

dalam rantai pasok *lean* diatur oleh praktik *just-in-time* (Carvalho et al., 2010). Pengiriman pesanan kecil yang lebih sering memang dapat meminimalkan pemborosan dan mengurangi waktu tunggu, namun hal ini juga membutuhkan lebih banyak pengiriman dan kendaraan transportasi, yang akhirnya menambah emisi karbon (Carvalho et al., 2017).

Dalam konteks ini, analisis hijau atau *green analysis* sangat penting untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari praktik *lean* yang diterapkan. *Green analysis* melibatkan penilaian menyeluruh terhadap penggunaan sumber daya dan emisi yang dihasilkan, dengan tujuan memastikan bahwa proses yang lebih efisien juga ramah lingkungan (Luthra et al., 2016; Dües et al., 2013). Studi sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan *green analysis* dalam metodologi *lean* dapat membantu mengidentifikasi pemborosan lingkungan yang mungkin tidak terdeteksi dalam analisis *lean* tradisional, sehingga memungkinkan perusahaan untuk mencapai efisiensi produktif sekaligus menjaga keberlanjutan lingkungan (Mollenkopf et al., 2010). Setelah *Lean State Map* dibuat, manajer harus menilai dampak dari penerapan metodologi *lean* secara murni, yaitu apakah pemborosan lingkungan yang telah teridentifikasi sebelumnya berkurang, meningkat, atau malah memunculkan jenis pemborosan baru. Pada tahap ini, metrik yang telah ditentukan dari awal akan membantu menunjukkan dampak lingkungan dari kondisi saat ini dan membandingkannya dengan kondisi di masa depan.

2.2.6 Pemborosan (*Waste*)

Waste dapat didefinisikan sebagai segala aktivitas kerja yang tidak memberikan nilai tambah dalam proses transformasi *input* menjadi *output* sepanjang *value stream mapping*. Berdasarkan perspektif *lean*, semua jenis pemborosan yang terdapat sepanjang proses *value stream*, yang mentransformasi *input* menjadi *output* harus dihilangkan guna meningkatkan nilai produk (barang atau jasa) dan selanjutnya meningkatkan *customer value* (K. & D., 2019). Menurut Secara umum terdapat “*Seven plus One Type of Waste*” yang terdapat pada sistem produksi yaitu:

1. *Over Production*

Produksi berlebih adalah menghasilkan produk secara berlebihan dari yang dibutuhkan. Dapat disimpulkan bahwa pemborosan tersebut paling buruk yang sering ditemukan di pabrik. Karena pemborosan ini terjadi memproduksi produk lebih banyak dari jumlah pemesanan, sehingga pemborosan ini dapat menyebabkan permintaan menurun dan

tidak terjualnya persediaan (*stock*). Untuk mengatasi produksi berlebih, dengan cara menjadwalkan dan memproduksi sesuai dengan jumlah yang ditentukan.

2. *Waiting Time (Delay)*

Pemborosan ini terjadi ketika tidak ada kerja yang dilakukan baik dari teknisi maupun mesin, pemborosan ini dapat terjadi karena persediaan yang tidak tersedia dan menunggu produk yang sedang di proses pada stasiun kerja yang lainnya.

3. *Transportation*

Kegiatan pergerakan yang berlebihan akibat dari penyusunan tata letak yang kurang baik, pemborosan ini dapat menimbulkan kerusakan serta kemungkinan menyebabkan nilai dari produk menurun.

4. *Over Processing*

Pemborosan ini terjadi adanya teknologi yang kurang tepat atau rancangan produk yang kurang baik. Pemborosan proses ini terjadi pada banyak kasus seperti yang diakibatkan karena kegagalan melakukan sinkronisasi proses. Operator sering kali melakukan pekerjaannya pada bidang tertentu lebih teliti dari yang diisyaratkan.

5. *Motion*

Gerakan yang dilakukan oleh teknisi atau mesin yang tidak memberikan nilai tambah kepada produk, pemborosan ini dapat didefinisikan dengan segala gerak kerja yang membutuhkan usaha yang berlebih tanpa menambahkan nilai maka hal tersebut dinilai sebagai pemborosan.

6. *Inventory*

Pemborosan di mana persediaan terlalu lama gudang atau karena jumlah persediaan yang melebihi batas toleransi dari perusahaan itu sendiri. Pemborosan gudang dapat juga terjadi karena pemesanan persediaan kepada pemasok yang sangat banyak yang membuat persediaan tersebut harus disimpan terlebih dahulu sebelum dilakukannya proses produksi.

7. *Defect Product*

Pemborosan yang terjadi akibat dari produk yang dihasilkan memiliki kecacatan produksi dan harus diadakan perbaikan/pengerjaan ulang.

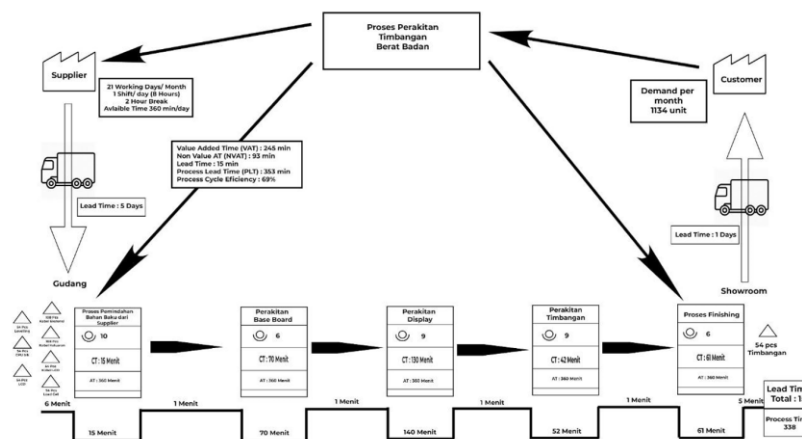
8. *Defective Design*

Pemborosan yang disebabkan oleh pengerjaan desain yang tidak memenuhi kebutuhan pelanggan serta penambahan *feature* yang tidak perlu.

2.2.7 Value Stream Mapping

Value Stream Mapping (VSM) merupakan alat dalam *lean manufacturing* yang digunakan untuk memetakan aliran nilai, baik material maupun informasi, dari awal hingga produk jadi. VSM membantu mengidentifikasi aktivitas bernilai tambah (*value added*) dan tidak bernilai tambah (*non-value added*) dalam suatu proses, sehingga dapat mengurangi waktu proses dan meningkatkan efisiensi produksi (Tyagi, Choudhary, Cai, & Yang, 2015).

Penerapan VSM dalam industri manufaktur telah terbukti efektif dalam mengurangi inventaris hingga 89,47%, waktu tunggu produk sebesar 83,14%, serta meningkatkan *output* per operator sebesar 42,86% (Chauhan, Patel, & Trivedi, 2015). Selain itu, VSM mendukung penyusunan kondisi proses masa depan (*future state map*) yang lebih efisien dan ramping (Gracanin, Buchmeister, & Lalic, 2015). Proses pembuatan peta dimulai dengan memilih produk atau famili produk yang memiliki volume produksi dan kontribusi pendapatan tertinggi sebagai objek pemetaan. Tahapan selanjutnya adalah penyusunan *current state map* untuk memvisualisasikan kondisi aktual proses produksi, mengidentifikasi aktivitas yang tidak bernilai tambah, waktu tunggu, dan inefisiensi lainnya. Setelah itu, dilakukan penyusunan *future state map* yang menggambarkan kondisi ideal proses setelah pemborosan dieliminasi (Vinodh, Arvind, & Somnaathan, 2015).



Gambar 2. 2 *Value Stream Mapping*
(Sumber: Abdulmalek & Rajgopal, 2007)

VSM memiliki beberapa kelebihan, antara lain memberikan gambaran yang jelas mengenai proses bisnis atau produksi, memudahkan identifikasi pemborosan, menentukan area prioritas perbaikan, membantu menghilangkan aktivitas tidak bernilai tambah, meningkatkan produktivitas dan efisiensi, serta mendukung peningkatan kualitas produk atau layanan (Seth & Gupta, 2016).

Value stream mapping merupakan grafik sederhana untuk menggambarkan urutan dan perpindahan informasi, material, dan tindakan di dalam aliran nilai perusahaan. Dalam konteks manufaktur, terdapat tiga jenis operasi yang dilakukan selama proses produksi berlangsung, hal ini dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. *Non Value Added (NVA)*

Merupakan suatu pemborosan yang terdiri dari:

- a. Pemborosan murni merupakan jenis pemborosan yang dapat di eliminasi atau di kurangi
- b. Limbah yang diperlukan merupakan jenis pemborosan yang tidak bisa dieliminasi dikarenakan ketentuan kerja atau teknologi. Contohnya, waktu tunggu, susunan produk dan penanganan ganda.

2. *Necessary but Non Value Added (NNVA)*

Merupakan aktivitas yang penting tetapi tidak memiliki nilai tambah meskipun boros tetapi kegiatan ini sangat perlu dilakukan. Contohnya, membongkar pengiriman, mentransfer alat dari tangan ke tangan yang lain.

3. *Value Added (VA)*

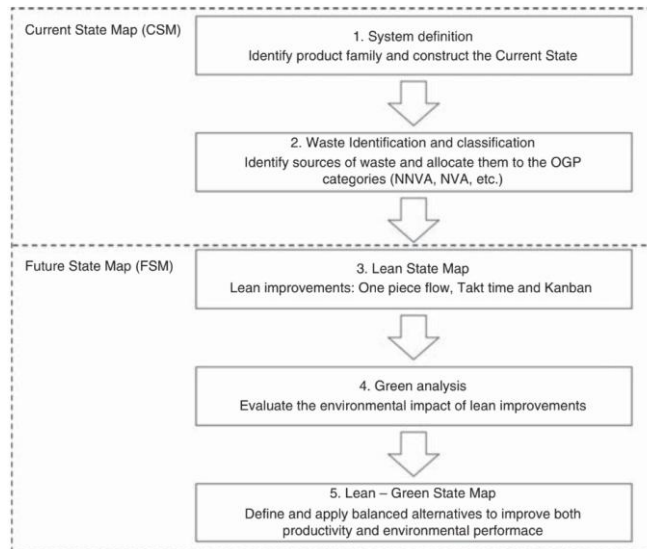
Merupakan kegiatan yang memiliki nilai tambah terhadap produk yang akan dihasilkan. Untuk mendefinisikan nilai tambah terhadap kinerja, maka suatu aktivitas harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a. Sesuatu yang dilakukan dapat menambah desain, kesesuaian atau kecocokan atau fungsi dari produk yang dihasilkan.
- b. Sesuatu yang dilakukan dapat menyebabkan ketersediaan pelanggan membayar produk yang dihasilkan oleh suatu organisasi atau pelanggan bersedia membeli produk tersebut.

Adapun kelebihan dan kekurangan *value stream mapping* adalah:

1. Memberikan pandangan yang jelas tentang bagaimana proses bisnis atau produksi berjalan.

2. VSM dapat dengan mudah mengidentifikasi pemborosan (*Waste*) dalam proses.
3. Dapat menentukan area di mana perbaikan diperlukan dan fokus pada perbaikan yang memberikan nilai tambah.
4. Membantu menghilangkan aktivitas yang tidak bernilai tambah, sehingga meningkatkan produktivitas dan efisiensi.
5. Membantu meningkatkan kualitas produk atau layanan.



Gambar 2. 3 Tahapan *Value Stream Mapping*

(Sumber: Hancock and Algozzine, 2016)

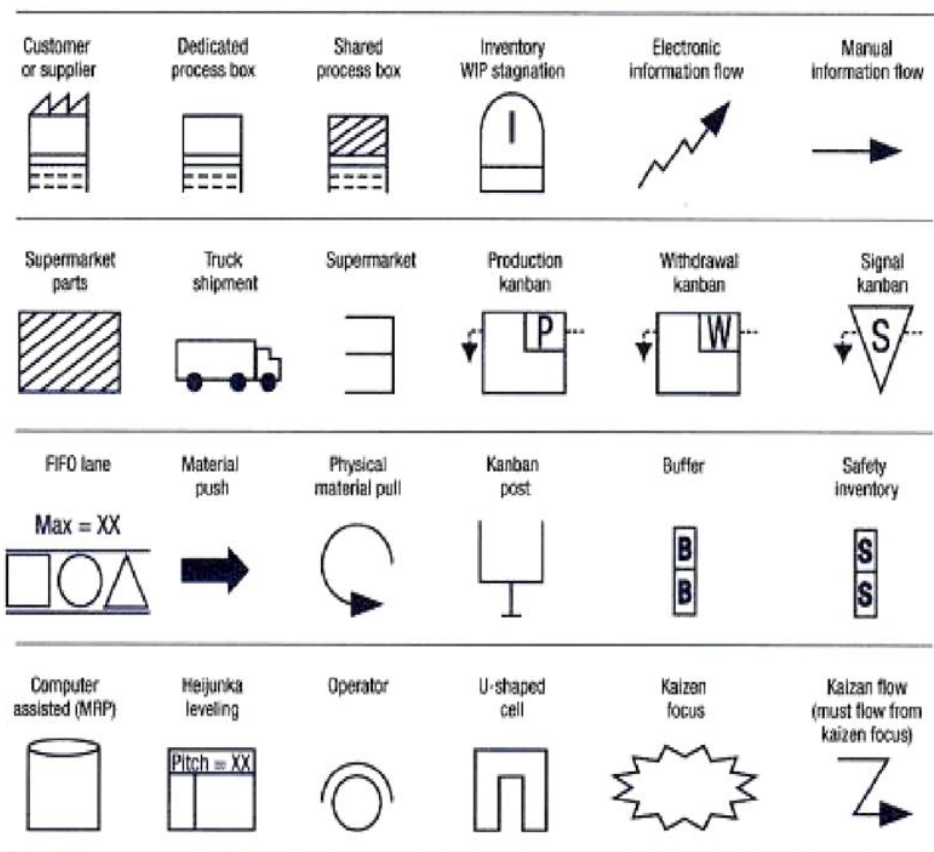
2.2.8 *Current State Mapping*

Current State Mapping (CSM) merupakan tahap awal dalam *Value Stream Mapping* (VSM) yang berfungsi untuk memetakan kondisi aktual dari aliran material dan informasi dalam suatu proses produksi. Tahap ini memiliki peran penting dalam mengidentifikasi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah (*non-value added*), serta dalam memahami keseluruhan alur kerja sebelum dilakukan perbaikan di masa depan (Shou et al., 2017).

Proses pembuatan CSM dimulai dengan pemilihan produk atau keluarga produk yang akan dianalisis. Selanjutnya dilakukan pengamatan langsung terhadap proses produksi untuk mencatat setiap langkah kerja, waktu siklus, waktu tunggu, serta aliran informasi yang terjadi. Data yang terkumpul kemudian divisualisasikan dalam bentuk peta aliran nilai menggunakan simbol-simbol standar yang merepresentasikan proses, aliran material, dan aliran informasi (Klimecka-Tatar, 2017).

Menurut Jeong et al. (2022), pembuatan CSM melibatkan beberapa langkah utama, antara lain:

1. Mengidentifikasi semua aktivitas yang terlibat dalam proses produksi, mulai dari penerimaan pesanan hingga pengiriman produk kepada pelanggan.
2. Mencatat waktu siklus, waktu tunggu, dan informasi lain yang relevan pada setiap aktivitas.
3. Menganalisis aliran informasi yang mengatur proses produksi, termasuk sistem penjadwalan dan komunikasi antar departemen.
4. Menggunakan simbol-simbol standar untuk memvisualisasikan proses dan aliran informasi dalam bentuk peta aliran nilai.



Gambar 2. 4 Simbol-Simbol pada *Value Stream Mapping*
(Sumber: Chauhan, N., Patel, N., & Trivedi, P, 2015)

2.2.9 *Future State Mapping*

Setelah pemetaan kondisi saat ini (*current state mapping*) dilakukan, langkah selanjutnya dalam *Value Stream Mapping* (VSM) adalah menyusun *future state map*. Peta ini menggambarkan kondisi proses produksi yang diharapkan setelah dilakukan perbaikan, dengan tujuan menghilangkan pemborosan dan meningkatkan efisiensi aliran nilai (Shou et al., 2017).

Menurut Panneman (2017), proses perancangan *future state map* melibatkan delapan langkah utama:

1. Menentukan *Takt Time*, Menghitung waktu yang tersedia untuk memenuhi permintaan pelanggan, guna memastikan bahwa semua proses dapat mengikuti ritme produksi yang dibutuhkan.
2. Menentukan Strategi Produk Jadi, Menetapkan strategi penyimpanan produk jadi, apakah akan diproduksi berdasarkan pesanan (*make-to-order*) atau untuk stok (*make-to-stock*).
3. Menerapkan *One-Piece Flow*, Mengidentifikasi area di mana aliran satu unit dapat diterapkan untuk mengurangi waktu tunggu dan meningkatkan fleksibilitas.
4. Menerapkan FIFO, Menggunakan sistem *First-In-First-Out* untuk mengelola antrian proses dan mencegah penumpukan inventaris.
5. Menerapkan Supermarket, Menentukan titik-titik dalam proses di mana sistem *supermarket* dapat digunakan untuk mengatur produksi dan permintaan.
6. Menentukan Proses yang Membutuhkan Perencanaan Produksi, Mengidentifikasi proses yang memerlukan jadwal produksi khusus untuk mengatur aliran kerja.
7. Menyeimbangkan Jadwal Produksi, Mengatur jadwal produksi agar seimbang dan sesuai dengan permintaan pelanggan, guna menghindari fluktuasi yang tidak perlu.
8. Menentukan Inkrementasi Rilis Produksi, Menetapkan ukuran *batch* atau interval waktu untuk merilis produksi, guna memastikan aliran kerja yang stabil dan terkontrol.

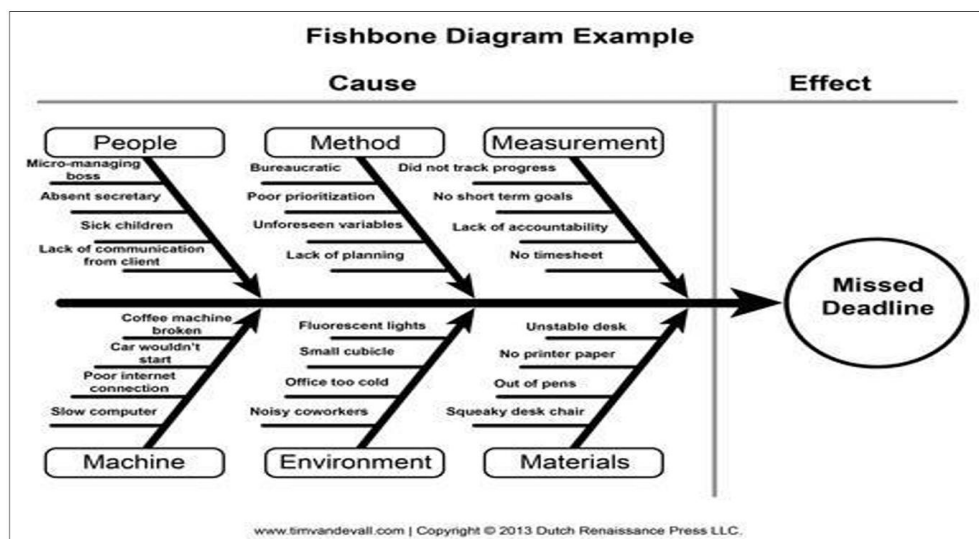
Penerapan langkah-langkah tersebut bertujuan untuk menciptakan aliran produksi yang lebih efisien dan responsif terhadap permintaan pelanggan. Studi oleh Setiawan et al. (2021)

menunjukkan bahwa penggunaan *future state map* dapat membantu dalam mengidentifikasi area perbaikan dan merancang strategi implementasi yang efektif.

2.2.10 *Fishbone Analysis Diagram*

Fishbone analysis atau diagram tulang ikan adalah sebuah alat analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menggambarkan penyebab-penyebab dari suatu masalah atau kejadian. Diagram ini memiliki bentuk seperti tulang ikan, dengan garis horizontal yang mewakili masalah yang ingin dipecahkan atau kejadian yang ingin dianalisis, dan garis-garis cabang vertikal yang mewakili kategori-kategori penyebab yang berbeda. Contoh kategori penyebab umum meliputi orang, metode, mesin, bahan, lingkungan, dan pengukuran. Tujuan utama dari *fishbone* adalah untuk membantu memahami hubungan sebab-akibat dari suatu masalah dan mengidentifikasi akar penyebab yang mendasarinya. Penggunaan pendekatan 6M dalam Diagram *Fishbone* telah terbukti efektif dalam berbagai industri untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah. Menurut Sakdiyah et al. (2022), penerapan analisis akar penyebab menggunakan Diagram *Fishbone* membantu manajemen dalam mengidentifikasi hambatan dalam pengambilan keputusan, sehingga memungkinkan perbaikan proses yang lebih tepat sasaran.

Menurut *Dutch Renaissance Press LLC*. (2013), terdapat enam faktor yang dapat menjadi penyebab dalam diagram tulang ikan ini. Seperti pada gambar 2.5 keenam faktor tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 5 *Fishbone Diagram*
(Sumber: *Dutch Renaissance Press LLC*, 2013)

1. *Material*

Material adalah *input* mentah yang akan digunakan dalam proses atau diubah menjadi barang jadi melalui proses-proses.

2. *Method*

Metode adalah prosedur, proses dan instruksi kerja pada sebuah perusahaan.

3. *Machine and equipment*

Mesin yang dimaksud adalah peralatan termasuk komputer dan alat-alat yang digunakan dalam memproses material.

4. *Measurement*

Measure adalah teknik yang dilakukan dalam penilaian mutu atau kuantitas kerja dalam perusahaan, termasuk proses inspeksi.

5. *Mother nature or environment*

Mother nature yang dimaksud adalah lingkungan yang menjadi tempat di mana proses-proses berlangsung atau dilakukan. *Mother nature* dapat termasuk lingkungan natural dan juga fasilitas dalam lingkungan kerja.

6. *Man Power*

Man adalah orang-orang yang berpengaruh terhadap proses-proses yang dilakukan oleh perusahaan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek Penelitian ini adalah *waste* pada proses produksi *part carbon* kap mesin mobil. Penelitian ini akan dilakukan di PT. Karyatama Komposit Teknologi, PT. Karyatama Komposit Teknologi berlokasi di Jl. Tanjungsari Kencuran Sukoharjo, Tanjungsari, Sukoharjo, Kidul, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55584.

3.2 Sumber Data

Sumber data dalam penelitian ini terdiri dari data primer yang diperoleh langsung melalui wawancara dengan Karyawan dari PT. Karyatama Komposit Teknologi terkait proses produksi *part carbon* untuk *body* mobil. Selain itu, data sekunder diambil dari laporan tahunan PT. Karyatama Komposit Teknologi dan artikel jurnal yang relevan, memastikan bahwa data tersebut valid dan dapat diandalkan untuk mendukung analisis yang dilakukan. Peneliti juga menyadari adanya keterbatasan data pada beberapa aspek, namun langkah mitigasi telah diambil, seperti triangulasi data dengan sumber lain untuk meningkatkan validitas hasil penelitian.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Jenis data penelitian yang digunakan pada penelitian itu meliputi data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang pertama kali dikumpulkan melalui pengalaman atau bukti pribadi, terutama dalam konteks penelitian. Ini juga disebut sebagai data mentah atau informasi tangan pertama. Data sekunder merupakan data yang dapat diakses dan berhubungan dari sumber sebelumnya, seperti dokumen penting, situs web, buku, skripsi, dan jurnal tentang topik penelitian. Sumber data ini tidak secara langsung memberikan data kepada pengumpul data, seperti melalui dokumen atau orang lain (Sugiyono, 2018).

Berikut adalah jenis-jenis data yang dibutuhkan dalam pengamatan ini terdiri dari data primer dan data sekunder:

1. Data Primer

Data primer yaitu data yang didapatkan dari pengamatan langsung. Pada data ini penulis pengamatan dan analisis terhadap area kerja di PT. Karyatama Komposit Teknologi

a. Observasi

Observasi dilakukan secara langsung di PT. Karyatama Komposit Teknologi untuk mengetahui kondisi sebenarnya di lapangan terkait dengan proses produksi karbon fiber. Hal ini dilakukan sebagai dasar untuk mengetahui permasalahan yang terdapat pada PT. Karyatama Komposit Teknologi.

b. Wawancara

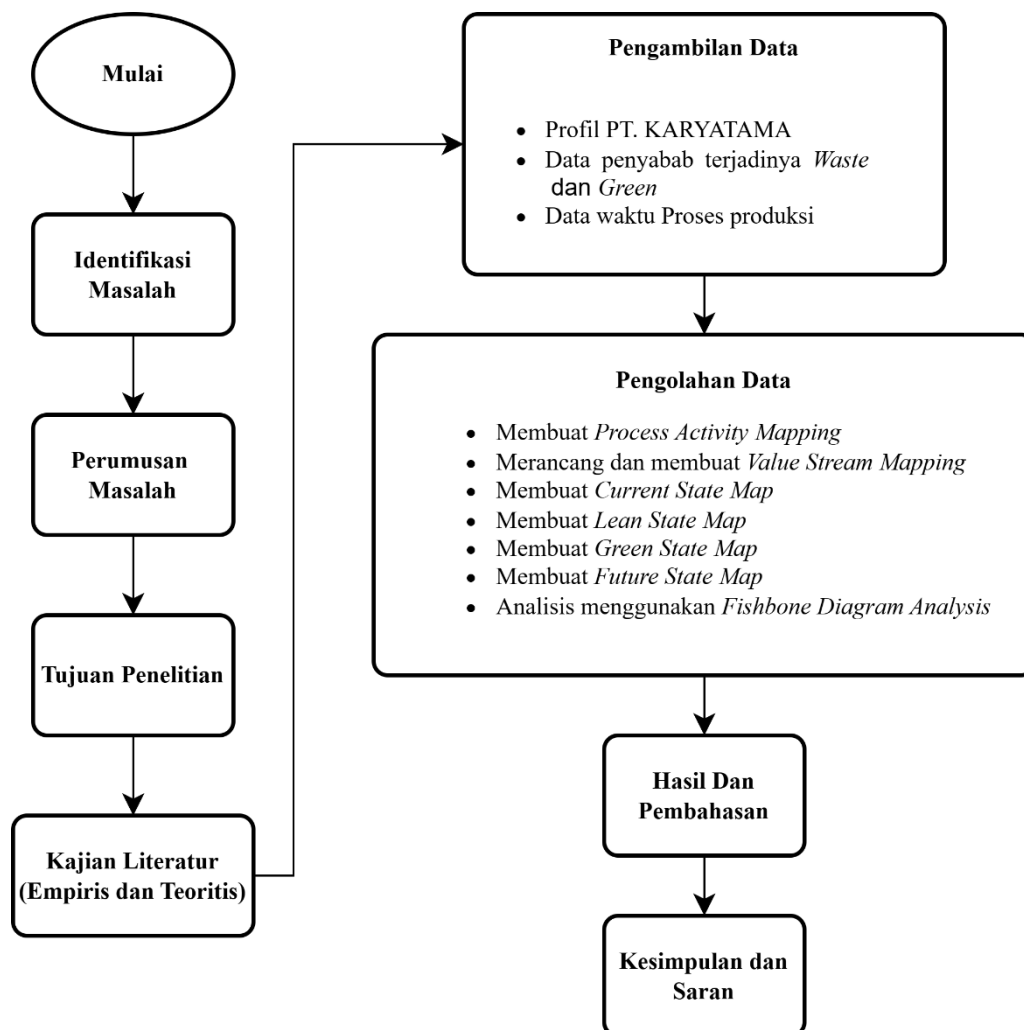
Wawancara dilakukan kepada Manajer Produksi, *Supervisor* produksi, dan Staf PT. Karyatama Komposit Teknologi sebagai tenaga ahli yang bertanggung jawab dalam proses produksi karbon fiber. Hal ini dilakukan guna mendapatkan informasi yang relevan terkait data yang akan diolah setelahnya.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pengamatan yang diperoleh secara tidak langsung, yaitu data yang diperoleh dari berbagai macam sumber seperti studi kepustakaan, jurnal terkait, buku, dan beberapa artikel ilmiah terkait. Data sekunder sebagai bahan acuan untuk pengolahan atau perbandingan data pada penelitian ini. Data sekunder ini berfungsi sebagai suatu tinjauan pustaka atau acuan pada penelitian yang akan dilakukan. Selain itu penelitian ini juga menggunakan data dari PT. Karyatama Komposit Teknologi untuk menunjang pengamatan ini.

3.4 Diagram Alur Pengamatan

Untuk memperjelas tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini, berikut disajikan diagram alur penelitian yang menggambarkan urutan proses secara sistematis dari awal hingga akhir. Berikut merupakan diagram alur pengamatan yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian

Berikut ini adalah penjelasan gambar 3.1 yaitu alur penelitian, berikut tahapan alur dari penelitian ini:

1. Dimulai dengan menentukan objek penelitian atau subjek yang akan diteliti. Pada penelitian ini yang menjadi objek penelitian adalah *part carbon* kap mesin mobil di PT. Karyatama Komposit Teknologi Melakukan Identifikasi Masalah yang ada di PT.

Karyatama Komposit Teknologi, Identifikasi ini dilakukan untuk mengetahui alur proses produksi, waktu produksi, pemborosan yang terjadi pada lini produksi.

2. Melakukan kajian literatur baik dari penelitian sebelumnya, buku serta jurnal. Untuk mendukung pengambilan Keputusan dengan pengetahuan yang terkait dengan masalah yang dihadapi
3. Pengumpulan. data, data yang dikumpulkan adalah data yang relevan dan dibutuhkan untuk di proses pada pengolahan data. Data dikumpulkan dengan melakukan observasi langsung dan melakukan wawancara.
4. Pengolahan data dilakukan sesuai dengan metode *Lean and Green Manufacturing*
5. Analisis dan pembahasan, berdasarkan hasil pengolahan data peneliti melakukan analisis untuk mengetahui apa penyebab dari masalah yang terjadi pada perusahaan.
6. Usulan perbaikan, berdasarkan masalah dan penyebab yang ditemukan melalui hasil analisis yang telah dilakukan sebelumnya.
7. Setelah itu peneliti membuat Kesimpulan proses penelitian, dari *input* menjadi *output*. Serta memberikan saran untuk perusahaan dan penelitian selanjutnya.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Profil Perusahaan

PT Karyatama Komposit Teknologi merupakan perusahaan manufaktur komposit karbon asal Yogyakarta, Indonesia. Karyatama didirikan oleh pencinta otomotif sejati, dan telah terjun di industri *aftermarket* sejak tahun 2017. PT Karyatama Komposit Teknologi menyadari akan kebutuhan komposit serat karbon berkualitas secara tampilan dan fungsionalnya yang cukup tinggi. Sejak saat itu PT Karyatama Komposit Teknologi mulai berfokus pada desain dan pembuatan komposit serat karbon untuk berbagai komponen otomotif, helm, *body drone*, rangka sepeda, dan berbagai produk masal lainnya.

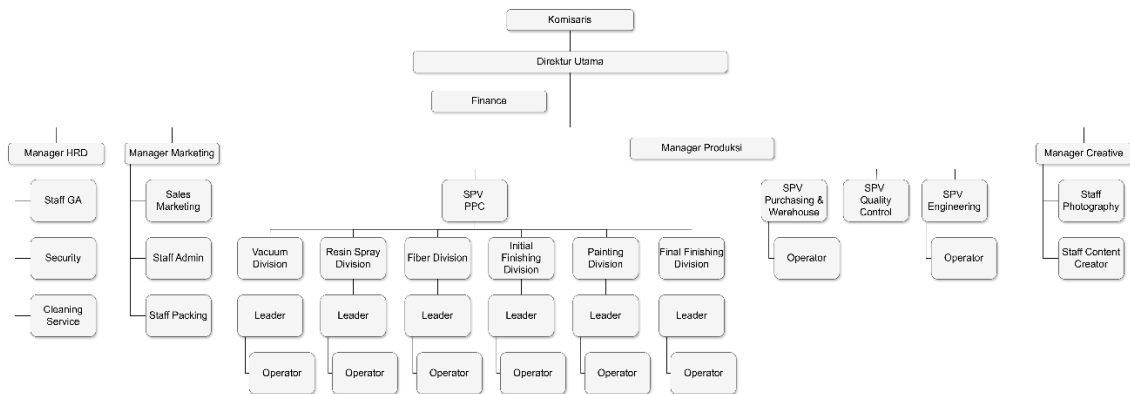
Berdirinya PT. Karyatama Komposit Teknologi dimulai dengan Abdul Malik selaku direktur PT. Karyatama Komposit Teknologi yang memulai usaha pada tahun 2017 sebagai *reseller* material *carbon* dengan tokonya yang Bernama Maliq *Carbon* Indonesia (MCI). Seiring berjalannya waktu, usaha yang dijalankan Abdul Malik semakin berkembang, sehingga di tahun 2018 Abdul Malik mendirikan *workshop* untuk melakukan riset pembuatan produk dengan material *carbon fiber*. Pada tahun 2019, usaha yang dijalankan Abdul Malik berkembang pesat yang kemudian ia merubah nama tempat usahanya dari Maliq *Carbon* Indonesia (MCI) menjadi Karyatama.



Gambar 4. 1 Logo PT. Karyatama Komposit Teknologi

PT. Karyatama Komposit Teknologi resmi menjadi Perusahaan pada tahun 2021 dan telah membuat berbagai macam produk baik dalam bidang otomotif maupun industri sesuai dengan permintaan konsumen. Saat ini produk utama dari PT. Karyatama Komposit Teknologi adalah

produk dalam bidang otomotif, hal ini disebabkan karena permintaan pasar yang begitu tinggi pada produk bidang otomotif.



Gambar 4. 2 Struktur Organisasi PT. Karyatama Komposit Teknologi

4.2.Lokasi Perusahaan

PT. Karyatama Komposit Teknologi terletak di Jl. Tanjungsari Kencuran Sukoharjo, Tanjungsari, Sukoharjo, Kidul, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55584.



Gambar 4. 3 Lokasi PT. Karyatama Komposit Teknologi

4.3. Visi dan Misi Perusahaan

Visi dan misi memiliki kedudukan yang sama pentingnya bagi suatu perusahaan sebagai bagian perencanaan strategi perusahaan untuk masa yang akan datang. Begitu juga dengan PT. Karyatama Komposit Teknologi memiliki visi dan misi sebagai berikut:

Visi

Menjadi perusahaan manufaktur komposit terdepan di Indonesia dalam memenuhi kebutuhan produk komposit nasional dan internasional.

Misi

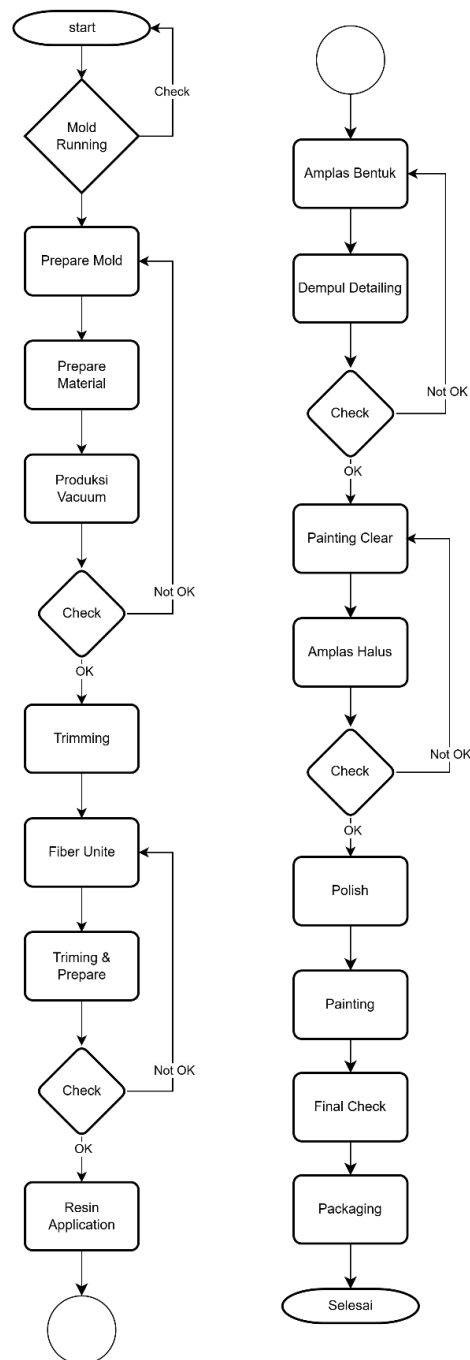
1. Mengutamakan servis ke pelanggan
2. Menyelesaikan pekerjaan tepat waktu
3. Terus melakukan inovasi di bidang produksi
4. Menjamin kualitas produk yang berkualitas
5. Mengelola sumber daya manusia yang kompeten

4.4. Pengumpulan Data

Pada bagian ini berisikan hasil pengumpulan data yaitu berupa alur proses produksi *part carbon* kap mesin mobil dan *Process Activity Mapping* di PT. Karyatama Komposit Teknologi.

4.4.1. Alur Proses Produksi *Part Carbon* Kap Mesin Mobil

Untuk memahami secara menyeluruh tahapan yang terlibat dalam pembuatan *part carbon* kap mesin mobil, berikut disajikan alur proses produksi yang menggambarkan setiap langkah mulai dari persiapan material hingga produk akhir. Berikut merupakan alur proses dari produksi *Part Carbon* Kap Mesin Mobil:



Gambar 4. 4 Alur Proses Produksi *Part Carbon* Kap Mesin Mobil

Berikut adalah penjelasan rinci mengenai setiap tahapan proses produksi *carbon part* mobil berdasarkan gambar yang telah diunggah:

1. *Start*

Ini adalah titik awal dari proses produksi, di mana semua persiapan dilakukan untuk memulai produksi komponen karbon.

2. *Mold Running* (Pemeriksaan *Mold*)

Pada tahap ini, *mold* atau cetakan diperiksa untuk memastikan bahwa cetakan dalam kondisi baik sebelum proses dimulai. Jika cetakan **Tidak OK**, perlu dilakukan perbaikan terlebih dahulu.

3. *Prepare Mold* (Persiapan Cetakan)

Setelah *mold* dinyatakan **OK**, cetakan disiapkan untuk digunakan dalam proses produksi. Persiapan ini melibatkan pembersihan dan pelapisan *mold* dengan bahan yang akan mencegah bahan produksi menempel.

4. *Prepare Material* (Persiapan Material)

Bahan-bahan seperti serat karbon dan resin disiapkan. Bahan ini akan digunakan untuk membuat komponen yang akan diproduksi.

5. Produksi *Vacuum*

Serat karbon dan resin dimasukkan ke dalam cetakan, kemudian dilakukan proses vakum untuk menghilangkan udara yang terperangkap, sehingga memastikan produk akhir memiliki kekuatan dan kehalusan yang optimal.

6. *Check*

Setelah proses vakum selesai, dilakukan pengecekan terhadap hasil produksi. Jika hasilnya **Tidak OK**, proses produksi harus diulang atau dilakukan perbaikan.

7. *Trimming*

Proses *trimming* dilakukan untuk memotong kelebihan material di tepi komponen hasil cetakan sehingga mendapatkan bentuk yang sesuai.

8. *Fiber Unite*

Tahap ini melibatkan penyatuan dan penyusunan serat karbon secara presisi pada produk yang sudah melalui tahap *trimming*.

9. *Trimming & Prepare* (*Trimming* dan Persiapan)

Setelah penyatuan serat selesai, dilakukan *trimming* ulang dan persiapan untuk proses berikutnya, seperti memastikan bentuk yang sesuai dan permukaan yang rata.

10. *Check*

Setelah persiapan selesai, dilakukan pengecekan lagi. Jika hasil **Tidak OK**, produk perlu diulang atau diperbaiki sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya.

11. *Resin Application* (Aplikasi Resin)

Pada tahap ini, resin diaplikasikan pada produk untuk memberikan kekuatan dan tampilan akhir yang lebih baik. Resin juga membantu dalam menyatukan serat karbon.

12. Amplas Bentuk

Setelah resin diaplikasikan dan mengering, dilakukan pengamplasan untuk membentuk produk sesuai dengan desain yang diinginkan.

13. Dempul *Detailing*

Dempul digunakan untuk menutupi kekurangan atau ketidaksempurnaan kecil pada permukaan produk. Hal ini bertujuan untuk memastikan hasil akhir yang halus dan rapi.

14. *Check*

Setelah proses *detailing* selesai, dilakukan pengecekan lagi. Jika hasilnya **Tidak OK**, perlu dilakukan koreksi sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya.

15. *Painting Clear* (Pengecatan *Clear*)

Pada tahap ini, lapisan cat *clear* diaplikasikan pada produk untuk memberikan lapisan pelindung dan tampilan yang lebih *glossy*.

16. Amplas Halus

Setelah pengecatan, dilakukan pengamplasan halus untuk meratakan dan memperhalus permukaan produk.

17. *Check*

Pengecekan lagi dilakukan setelah proses amplas halus. Jika hasilnya **Tidak OK**, produk perlu diulang atau diperbaiki.

18. *Polish* (Pemolesan)

Pada tahap ini, produk dipoles untuk menghasilkan kilau yang maksimal dan memberikan tampilan akhir yang profesional.

19. *Painting* (Pengecatan)

Setelah proses poles selesai, pengecatan tambahan dilakukan untuk mencapai hasil akhir sesuai dengan spesifikasi desain.

20. *Final Check* (Pemeriksaan Akhir)

Pemeriksaan terakhir dilakukan untuk memastikan bahwa produk sudah sesuai dengan standar kualitas. Jika hasil Tidak OK, produk perlu diperbaiki sebelum masuk ke tahap selanjutnya.

21. *Packaging* (Pengemasan)

Setelah produk lolos pemeriksaan akhir, produk dikemas dengan baik agar aman saat dikirim ke konsumen atau disimpan.

22. Selesai

Ini adalah titik akhir dari proses produksi, di mana produk sudah siap untuk dikirimkan ke konsumen.

4.5. Pengolahan Data

4.5.1. Process Activity Mapping Produksi Part Carbon Kap Mesin Mobil

Proses ini sangat berfokus pada kontrol kualitas pada setiap tahapan untuk memastikan produk akhir memiliki kualitas yang baik dan sesuai dengan standar produksi. *Process Activity Mapping* ini bertujuan untuk mengidentifikasi *waste* dengan melihat aktivitas yang berkategori NVA (*Non-Value-Adding*). Berikut Merupakan *Process Activity Mapping* (PAM) produksi *part carbon* kap mesin mobil:

Tabel 4. 1 *Process Activity Mapping Part Carbon Kap Mesin Mobil*

No	Tahap	Aktivitas Utama	Kategori	Waktu/Menit (Estimasi)	Keterangan
1	<i>Vacuuming</i>	<i>Start</i> - Persiapan Awal	<i>Non-Value-Adding</i>	-	Persiapan sebelum memulai produksi
		<i>Mold Running</i> - Pengecekan <i>Mold</i>	<i>Value-Adding</i>	10	Memastikan <i>mold</i> siap digunakan
		<i>Prepare Mold</i> - Persiapan <i>Mold</i>	<i>Value-Adding</i>	30	<i>Mold</i> dibersihkan dan siap untuk produksi
		<i>Prepare Material</i> - Persiapan material	<i>Value-Adding</i>	12	Material (serat karbon dan resin) disiapkan
		<i>Vacuuming</i> - Produksi <i>Vacuum</i>	<i>Value-Adding</i>	120	Serat karbon dan resin ditempatkan di <i>mold</i>
		Pembersihan Setelah <i>Vacuum</i>	<i>Non-Value-Adding</i>	2	Pembersihan hasil sisa <i>vacuum</i> untuk produk yang akan <i>vacuum</i> selanjutnya
		<i>Check</i> - Pengecekan Hasil <i>Vacuum</i>	<i>Non-Value-Adding</i>	5	Pengecekan kualitas hasil
		<i>Trimming</i> - Pemotongan Kelebihan Material	<i>Value-Adding</i>	13	Menghilangkan kelebihan material
		Total		192	

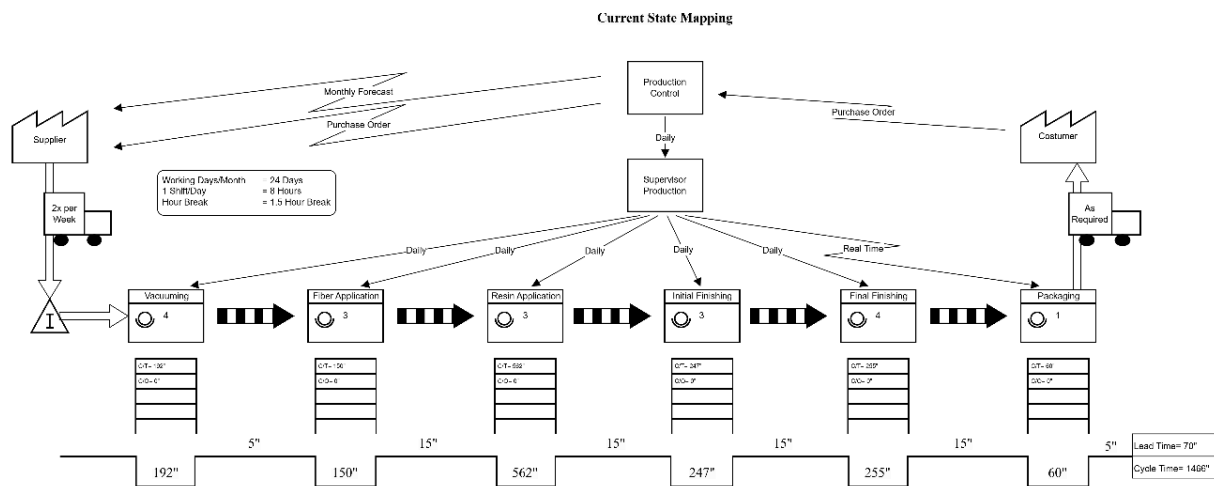
No	Tahap	Aktivitas Utama	Kategori	Waktu/Menit (Estimasi)	Keterangan
2	Fiber <i>Application</i>	<i>Fiber Unite -</i> Penyatuan Serat Karbon	<i>Value-Adding</i>	120	Penyatuan serat karbon di produk
		<i>Trimming -</i> Pemotongan Kelebihan Material	<i>Value-Adding</i>	13	Merapikan dan mempersiapkan produk
		Pembersihan setelah <i>Trimming</i>	<i>Non-Value-Adding</i>	2	Pembersihan hasil sisa <i>trimming</i> ke tempat pembuangan dan persiapan untuk produk yang akan di <i>trimming</i> selanjutnya
		<i>Check -</i> Pengecekan Hasil Penyatuan Serat Karbon	<i>Non-Value-Adding</i>	15	Pengecekan sebelum aplikasi resin
Total			150		
3	Resin <i>Application</i>	<i>Resin Spray -</i> Menyemprotkan Resin	<i>Value-Adding</i>	13	Resin diaplikasikan untuk memberikan kekuatan
		<i>Shape Sanding -</i> Pengamplasan Bentuk	<i>Value-Adding</i>	480	Produk diampelas agar sesuai bentuk desain
		Dempul <i>Detailing</i>	<i>Value-Adding</i>	53	Mengisi ketidaksempurnaan kecil pada produk
		<i>Check -</i> Pengecekan Hasil Detailing	<i>Non-Value-Adding</i>	15	Pengecekan setelah <i>detailing</i>
Total			562		
4	<i>Initial Finishing</i>	<i>Painting Clear -</i> <i>Clear Coating</i>	<i>Value-Adding</i>	13	Pengecatan <i>clear</i> untuk melindungi produk
		<i>Fine Sanding -</i> Pengamplasan Halus	<i>Value-Adding</i>	213	Menghaluskan permukaan produk
		Pembersihan sisa sanding	<i>Non-Value-Adding</i>	5	Membersihkan hasil dari dempul <i>detailing</i> hingga pengamplasan
		<i>Check -</i> Pengecekan Hasil Pengamplasan	<i>Non-Value-Adding</i>	15	Pengecekan hasil pengamplasan halus
Total			247		
5	<i>Final Finishing</i>	<i>Polish - Polishing</i>	<i>Value-Adding</i>	120	Pemolesan untuk tampilan kilau

No	Tahap	Aktivitas Utama	Kategori	Waktu/Menit (Estimasi)	Keterangan
		<i>Painting</i> - Pengecatan Akhir	<i>Value- Adding</i>	120	Pengecatan tambahan sesuai spesifikasi
		<i>Final Check</i> - Pengecekan Akhir	<i>Non- Value- Adding</i>	15	Pengecekan akhir sebelum pengemasan
		Total		255	
6	<i>Packaging</i>	<i>Packaging</i> - Pengemasan Produk	<i>Non- Value- Adding</i>	60	Produk dikemas untuk pengiriman
		Total		1466	

Berdasarkan tabel 4.1, kita dapat melihat total waktu yang dibutuhkan untuk produksi *part body carbon* kap mesin mobil, serta pembagian antara aktivitas *Value-adding* (VA) dan *Non-Value-Adding* (NVA). Dari total waktu produksi 1.466 menit $\approx$ 24.43 jam, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk membuat 1 *part* dengan waktu jam kerja per hari 8 jam adalah 3.05 hari. Diantara itu 80.2% dihabiskan untuk aktivitas yang menambah nilai (*Value-Adding*), sementara 9.14% dihabiskan untuk aktivitas yang tidak menambah nilai (*Non-Value-Adding*). Sebagian besar waktu dalam proses produksi sudah digunakan untuk aktivitas yang menambah nilai. Namun, masih ada ruang untuk mengurangi aktivitas yang tidak menambah nilai (NVA), terutama dalam hal pembersihan, pengecekan, dan persiapan. Tahap selanjutnya akan meminimasi (NVA) yang berpotensi besar terdapat *waste* pada aktivitas tersebut.

4.5.2. Current State Mapping

Setelah melakukan identifikasi *waste* melalui *Process Activity Mapping* selanjutnya membuat *Current State Mapping*. Aktivitas ini bertujuan untuk memetakan seluruh aliran proses produksi untuk memudahkan dalam proses memahami dan menganalisis. Berikut merupakan *Current State Mapping* berdasarkan hasil dari *Process Activity Mapping* yang telah didapatkan sebelumnya sebagai berikut:



Gambar 4. 5 *Current State Mapping* Kap Mesin Mobil

Berdasarkan gambar 4.5, di dapatkan informasi bahwa setelah *Production Control* menerima *Purchase Order* kemudian *Production Control* akan memproses untuk melakukan pemesanan bahan baku berdasarkan *Purchase Order Customer* atau dari *Monthly Forecast* berdasarkan data pencatatan kebutuhan produksi sebelumnya. Pengiriman bahan baku dilakukan 2 kali per minggu. *Supervisor Production* mengatur setiap proses produksi dan pengawasan secara berkala, setiap tahapan proses produksi memiliki pengawasan dan kontrol yang terpisah untuk memastikan produksi berjalan dengan semestinya. Adapun informasi yang didapatkan dari data diatas dapat dilihat pada tabel berikut.

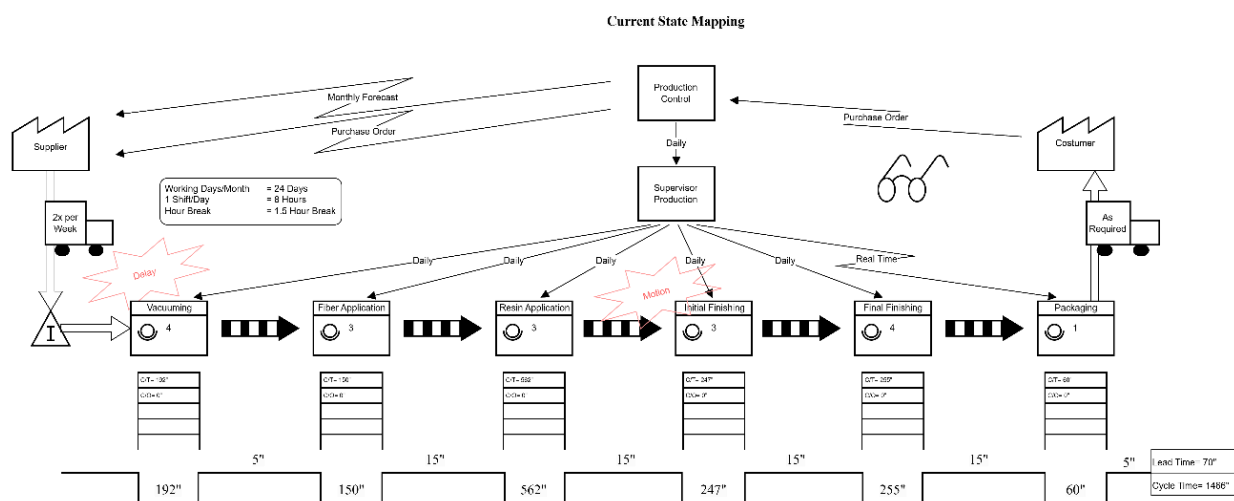
Tabel 4. 2 Keterangan *Current State Mapping*

Keterangan	Waktu
<i>Working Days / Month</i>	<i>24 Days</i>
<i>1 Shift / Day</i>	<i>8 Hours</i>
<i>Hour Break</i>	<i>1.5 Hour Break</i>

Proses produksi terdiri dari beberapa tahapan yaitu *Vacuuming* dengan jumlah operator 4 orang, *cycle time* sebesar 192 menit, tidak ada *change over time*. Kemudian *lead time* antar tahap *Vacuuming* dan *Fiber Application* sebesar 5 menit. *Fiber Application* dengan jumlah operator 3 orang, *cycle time* sebesar 150 menit, tidak ada *changeover time*. Kemudian *lead time* antar tahap *Fiber Application* dan *Resin Application* sebesar 15 menit. *Resin Application* dengan jumlah 3 orang, *cycle time* sebesar 562 menit, tidak ada *changeover time*. Kemudian *lead time* antar tahap *Resin Application* dan *Initial Finishing* sebesar 15 menit. *Initial Finishing* dengan jumlah 3 orang, *cycle time* sebesar 247 menit, tidak ada *changeover time*. Kemudian *lead time* antar tahap *Initial Finishing* dan *Final Finishing* sebesar 15 menit. *Final Finishing* dengan jumlah 4 orang, *cycle time* sebesar 255 menit, tidak ada *changeover time*. Kemudian *lead time* antar tahap *Final Finishing* dan *Packaging* sebesar 15 menit. *Packaging* dengan jumlah 1 orang, *cycle time* sebesar 60 menit, tidak ada *changeover time*. Kemudian *lead time* hingga ke gudang sebesar 5 menit. Sehingga didapatkan total operator untuk produksi *part carbon* kap mesin mobil berjumlah 18 orang, Total *Lead Time* sebesar 70 menit, dan Total *Cycle Time* sebesar 1466 menit.

4.5.3. Lean State Map

Setelah membuat *current state map*. Selanjutnya peneliti melakukan aktivitas analisis dengan pendekatan *lean* dengan membuat *Lean State Map*. Ini bertujuan untuk mengetahui proses yang memiliki potensi menyebabkan *waste* dan melakukan *improvement* pada proses yang memiliki potensi menyebabkan *waste*. Berikut merupakan *Lean State Map* berdasarkan diagram *peta Current State Mapping* pada gambar 4.5:



Gambar 4. 6 *Lean State Map* Kap Mesin Mobil

Berdasarkan gambar 4.6 *Lean State Map* membantu mengidentifikasi *waste* pada proses produksi kap mesin mobil diantara-Nya sebagai berikut:

1. *Waste* pada Proses *Vacuuming*

Terdapat peluang tinggi terjadinya *waste* pada aktivitas *Mold Running*, *Prepare Material*, dan *Prepare Mold*. Karena *process time* yang tinggi dan memiliki peluang untuk meminimasi *waste*.

a. *Improvement* pada *Prepare Material*

Masalah pada aktivitas *prepare material* adalah terdapat waktu tunggu dimana proses *vacuuming* baru dapat berjalan jika aktivitas *prepare material* selesai, hal ini menyebabkan waktu tunggu sebesar 10 menit.

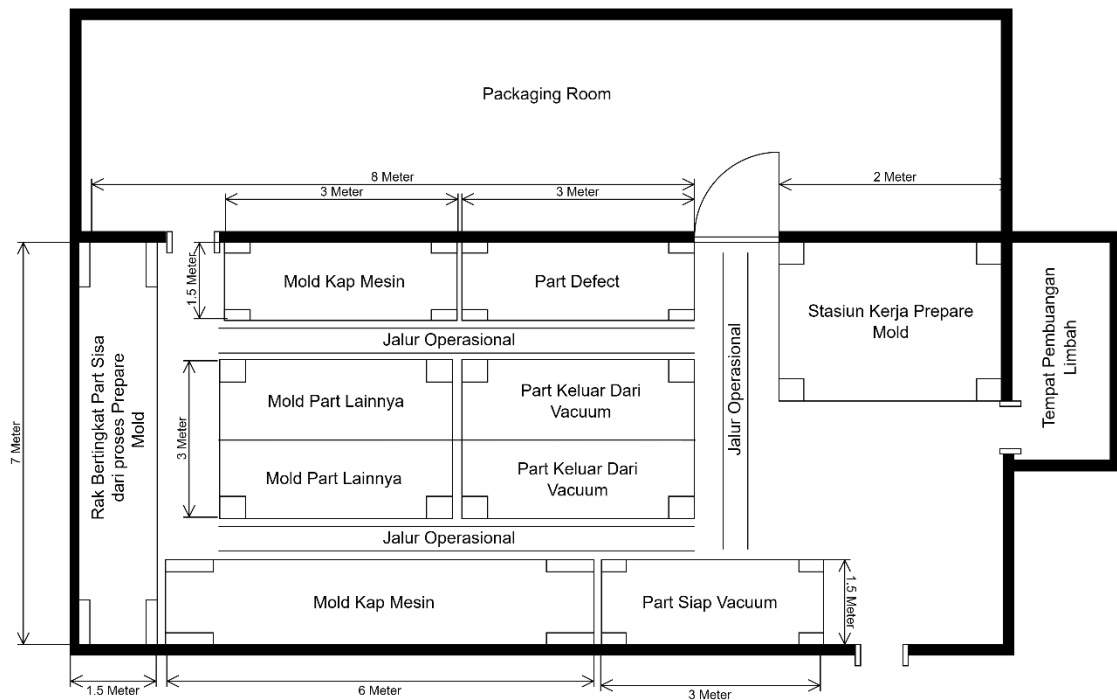
Maka dari itu *First In First Out* dan melakukan penjadwalan persiapan material yang lebih awal dengan operator memulai persiapan material sebelum proses sebelumnya selesai sehingga material sudah siap ketika aktivitas *Vacuuming* selesai. Waktu saat memulai persiapan material dilakukan 10 menit sebelum aktivitas *Vacuuming* selesai. Sehingga waktu proses pada aktivitas *Prepare Material* menjadi 2 menit yang tertera pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Waktu Awal dan Setelah pada aktivitas *Prepare Material*

Aktivitas Utama	Waktu Awal (Menit)	Waktu Setelah (Menit)
<i>Prepare Material</i> – Persiapan Material	12	2

b. *Improvement* pada *Prepare Mold*

Masalah pada aktivitas *Prepare Mold* adalah operator membutuhkan waktu hingga mencapai 15 menit untuk mencari *mold* yang diperlukan di Gudang untuk dibersihkan dan disiapkan, dikarenakan belum ada sistem penyimpanan *mold* yang terorganisir. Hal tersebut membuat ketidak-konsistenan proses pada aktivitas ini. Sehingga dibuatkan sistem penyimpanan baru agar operator dapat mempercepat proses identifikasi dan pengambilan *mold*.



Gambar 4. 7 *Layout* Awal Penyimpanan *Mold*

Gambar 4.7 merupakan *layout* awal dari penyimpanan *mold*. Adapun informasi yang didapatkan dari *layout* diatas adalah sebagai berikut:

1. Penjelasan masing-masing Ruangan / Area

a. Area Stasiun Kerja *Prepare Mold*

Area stasiun kerja *Prepare Mold* adalah tempat dimana operator melakukan pembersihan dan memastikan *mold* siap digunakan untuk proses selanjutnya yaitu *Vacuuming*.

b. Area *Part Keluar* dari *Vacuum*

Area *Part Keluar* dari *Vacuum* adalah tempat *mold* yang telah digunakan di proses *Vacuuming*.

c. Area *Part Defect*

Area *part defect* adalah tempat *defect* pada proses *Vacuuming* atau biasa dikenal produk setengah jadi.

d. Area *Mold Kap Mesin*

Area *mold* Kap Mesin adalah tempat *mold* kap mesin diletakkan

e. Area *Mold Part Lainnya*

Area *mold part* lainnya adalah tempat *mold part* lainnya seperti *spoiler*, *fender*, dan part mobil lainnya.

f. Area *Part Siap Vacuum*

Area *part siap vacuum* adalah tempat *mold* yang sudah dibersihkan dan disiapkan dari area Stasiun Kerja untuk diambil oleh operator *Vacuuming*

g. Area *Part sisa Prepare Mold*

Area *part sisa Prepare Mold* adalah tempat sisa *mold* yang dibersihkan atau *mold* yang sudah tidak bisa dipakai kembali.

2. Ukuran dan Jumlah Ruangan / Area

- a. Ukuran ruangan *prepare mold* adalah 7 x 11 meter
- b. Terdapat 1 area stasiun kerja *Prepare Mold* dengan ukuran area stasiun kerja adalah 2 x 4 meter
- c. Terdapat 2 area *Part Keluar dari Vacuum* dengan ukuran area *Part Keluar dari Vacuum* adalah 3 x 1.5 meter.
- d. Terdapat 2 area *mold kap mesin* dengan ukuran area *mold kap mesin* adalah 3 x 1.5 meter dan 6 x 1.5 meter.
- e. Terdapat 2 area *mold part* lainnya dengan ukuran area *mold part* lainnya adalah 3 x 1.5 meter.
- f. Terdapat 1 area part *defect* dengan ukuran area part *defect* adalah 3 x 1.5 meter.
- g. Terdapat 1 area *Part Siap Vacuum* dengan ukuran area *Part Siap Vacuum* adalah 3 x 1.5 meter.
- h. Terdapat 1 area *Part sisa Prepare Mold* dengan ukuran area *Part sisa Prepare Mold* adalah 1.5 meter x 7 meter.

3. Jarak

Berikut ini merupakan jarak dari area stasiun kerja *Prepare Mold*.

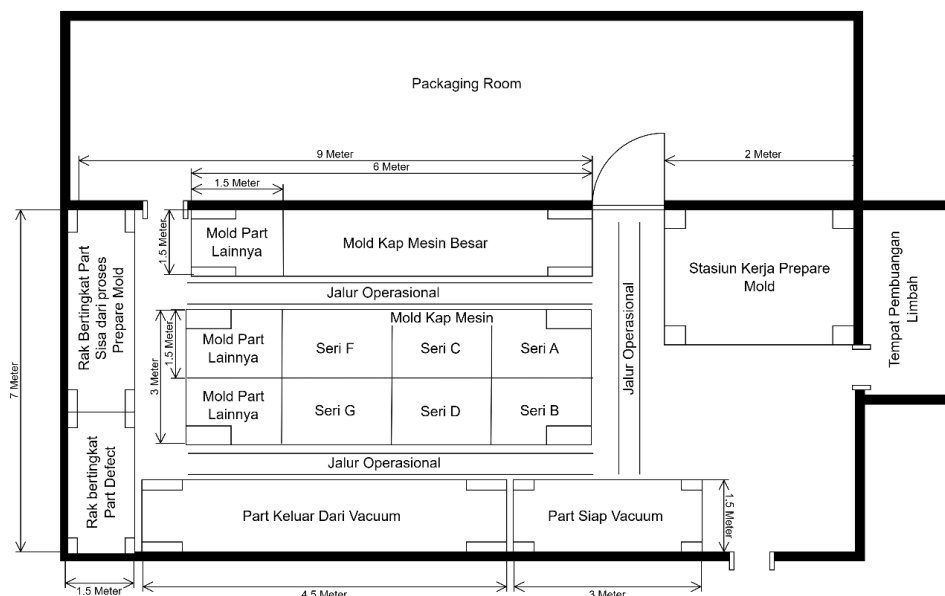
Tabel 4. 4 Jarak Stasiun Kerja *Prepare Mold* Sebelum Perbaikan

Tujuan	Jarak (Meter)	Waktu Tempuh (Detik)
<i>Mold Kap Mesin</i>	2	1.43
<i>Mold keluar dari Vacuum</i>	3.33	2.38
<i>part defect</i>	5.33	3.81
<i>part siap vacuum</i>	6.67	4.76
<i>part lainnya</i>	2.67	1.9
rak bertingkat <i>part sisa</i>	8	5.7

- Jarak dari stasiun kerja *Prepare Mold* ke *Mold Kap Mesin* adalah 2 meter dengan waktu tempuh 1,43 detik.
- Jarak dari stasiun kerja *Prepare Mold* ke *Part* keluar dari *Vacuum* adalah 3,33 meter dengan waktu tempuh 2,38 detik
- Jarak dari stasiun kerja *Prepare Mold* ke *part defect* adalah 5,33 meter dengan waktu tempuh 3,81 detik
- Jarak dari stasiun kerja *Prepare Mold* ke *part siap vacuum* adalah 6,67 meter dengan waktu tempuh 4,76 detik
- Jarak dari stasiun kerja *Prepare Mold* ke *part* lainnya adalah 2,67 meter dengan waktu tempuh 1,90 detik
- Jarak dari stasiun kerja *Prepare Mold* ke rak bertingkat *part* sisa adalah 8 meter dengan waktu tempuh 5,71 detik

Berdasarkan perhitungan jarak waktu tempuh pada tabel 4.4 juga didapatkan peluang perbaikan yaitu:

- Belum adanya zona penyimpanan *mold* yang dikelompokkan berdasarkan ukuran, jenis produk, dan frekuensi penggunaan
- Sistem penamaan rak berdasarkan zona penyimpanan *mold*
- Proses memakan waktu ada disaat pencarian *mold* kap mesin yang akan digunakan dikarenakan akses yang terbatas dan *mold* yang teracak dengan *mold part* lainnya.



Gambar 4. 8 Layout Penyimpanan *Mold* Setelah Perbaikan

Saat ini tempat penyimpanan *mold* belum ada penanda *visual* berdasarkan kategori, jenis, dan frekuensi penggunaannya. Sehingga penyimpanan *mold* teracak dan operator diharuskan mencari *mold* satu per satu. *Mold* disusun secara vertikal.

Gambar 4.8 merupakan *layout* setelah perbaikan dari penyimpanan *mold*. Adapun perbaikan yang dilakukan yaitu:

1. Penerapan zona penyimpanan *mold* berdasarkan ukuran, dalam kasus ini kap mesin besar umum digunakan untuk kap berukuran besar dan part kustomisasi
2. Penerapan zona penyimpanan *mold* berdasarkan jenis produk, dalam kasus ini dinamakan seri mulai dari seri A sebagai seri yang sering digunakan hingga seri G. Seri A diletakkan terdekat dengan stasiun kerja *Prepare Mold* untuk mengurangi waktu perpindahan dan pencarian *mold* karena sudah diklasifikasikan dengan seri A hingga G.
3. *Part* keluar *vacuum* dan *part* siap *vacuum* dijadikan satu area untuk memudahkan peletakan *part* yang siap untuk proses *vacuum* dan *mold* yang telah digunakan setelah proses *vacuum*.
4. *Part defect* dan *part* sisa dari proses *prepare mold* juga dijadikan satu area dikarenakan *part* ini jarang digunakan sehingga diletakkan terjauh dari stasiun kerja *prepare mold*.
5. Pemangkasan waktu tempuh dari stasiun kerja ke tujuan-tujuan lainnya. Sebagai perbandingan *layout* awal mencatat rata-rata waktu tempuh 3.33 detik sedangkan pada *layout* setelah perbaikan mencatat waktu tempuh 2.45 detik, mencatat selisih hingga 0.89 detik.

Tabel 4. 5 Jarak Stasiun Kerja *Prepare Mold* Setelah Perbaikan

Tujuan	Jarak (Meter)	Waktu Tempuh (Detik)
<i>Mold</i> Kap Mesin Besar	3	2.14
<i>Mold</i> Kap Mesin Seri A	2	1.43
<i>Mold</i> Kap Mesin Seri B	2.5	1.79
<i>Mold</i> Kap Mesin Seri C	2.75	1.96
<i>Mold</i> Kap Mesin Seri D	3	2.14
<i>Mold</i> Kap Mesin Seri E	3.25	2.32
<i>Mold</i> Kap Mesin Seri F	2.9	2.07
<i>Mold</i> Kap Mesin Seri G	3.5	2.5
<i>Mold Part</i> Lainnya (Kiri Atas)	2.14	2.14
<i>Mold Part</i> Lainnya (Kanan Bawah)	2.68	2.68

Tujuan	Jarak (Meter)	Waktu Tempuh (Detik)
<i>Mold Keluar dari Vacuum</i>	2.5	1.79
<i>Part Siap Vacuum</i>	7	5
<i>Part Defect</i>	5.33	3.81

Berdasarkan hasil dari tabel 4.5 berikut dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan jarak dan waktu tempuh dengan *layout* sebelumnya yaitu:

1. *Mold* Kap Mesin Besar (*layout* baru) memiliki jarak lebih jauh dibandingkan dengan *Mold* Kap Mesin (*layout* lama), dengan perbedaan waktu tempuh sebesar +0,71 detik.
2. Seri A hingga Seri G di *layout* baru memiliki waktu tempuh bervariasi, namun sebagian besar berada dalam rentang waktu antara 1,43 hingga 2,5 detik, tanpa perbandingan dari *layout* lama.
3. *Part* Keluar dari *Vacuum* di *layout* baru lebih dekat dibandingkan dengan *layout* lama, dengan penurunan waktu tempuh -0,59 detik.
4. *Part* Siap *Vacuum* memiliki sedikit peningkatan waktu tempuh di *layout* baru, dengan perbedaan +0,24 detik.
5. *Mold Part* Lainnya di *layout* baru memiliki waktu tempuh yang sedikit lebih lama untuk bagian Kiri Atas (+0,24 detik), namun tidak terlalu signifikan.
6. *Part Defect* dan Rak Bertingkat *Part Defect* tidak mengalami perubahan waktu tempuh.

Tabel 4. 6 Waktu Awal dan Setelah pada aktivitas *Prepare Mold*

Aktivitas Utama	Waktu Awal (Menit)	Waktu Setelah (Menit)
<i>Prepare Mold – Persiapan Mold</i>	30	22

Tabel 4.6 menunjukkan perbandingan waktu proses pada aktivitas *Prepare Mold – Persiapan Mold* sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan tata letak penyimpanan mold. Sebelum dilakukan perbaikan, waktu proses aktivitas ini memakan waktu 30 menit. Setelah dilakukan perbaikan tata letak dengan menata ulang posisi penyimpanan *mold* agar lebih dekat dan sistematis, waktu proses menurun menjadi 22 menit.

Perubahan ini menunjukkan adanya pengurangan waktu proses sebesar 8 menit (26,67%).

Selain pengurangan waktu, perubahan tata letak juga berdampak signifikan terhadap efisiensi jarak tempuh operator. Sebelum perbaikan, operator harus menempuh jarak 110,2 meter, sedangkan setelah perbaikan, jarak tersebut berkurang menjadi 50,4 meter (54,27%)

2. Waste pada Proses *Initial Finishing*

Terdapat peluang tinggi di aktivitas segala jenis aktivitas pengamplasan yaitu *shape sanding* dan *fine sanding*. Dengan menerapkan sistem pengamplasan yaitu dinamakan *wet sanding* yang dapat meningkatkan efisiensi sehingga operator tidak perlu melakukan pembersihan hasil bekas dari sisa pengamplasan. Dan penerapan menggunakan mesin *sanding* guna mengurangi kerja manual (*handmade*).

1. *Improvement* pada Aktivitas *Shape Sanding* dan *Fine Sanding*

Masalah pada proses *initial finishing* adalah lamanya waktu proses pada aktivitas *shape sanding* dan *fine sanding* karena masih manual, sehingga pengimplementasian mesin untuk memangkas waktu dan efisiensi operator menjadi sangat penting,

Tabel 4. 7 Waktu Awal dan Setelah pada aktivitas *Shape* dan *Fine Sanding*

Aktivitas Utama	Waktu Awal (Menit)	Waktu Setelah (Menit)
<i>Shape Sanding</i> - Pengamplasan Bentuk	480	264
<i>Fine Sanding</i> - Pengamplasan Halus	213	123.54

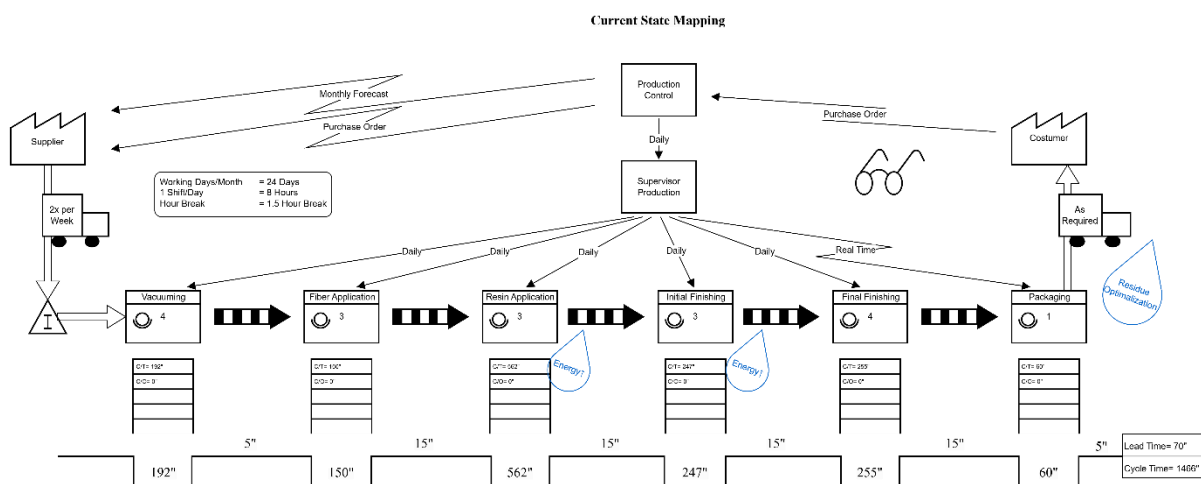
Berdasarkan tabel 4.7 Pengoptimalan *Shape Sanding* menggunakan mesin amplas memungkinkan memberikan hasil pengamplasan yang lebih konsisten dibandingkan manual dan memungkinkan penghilangan material yang lebih cepat dan meningkatkan konsistensi kualitas. Dengan pengoptimalan penggunaan mesin amplas yang lebih efisien, waktu pengerjaan pada *Shape Sanding* dapat dikurangi sebesar 45% dari 480 menjadi 264 menit.

Pengoptimalan *Fine Sanding* menggunakan mesin amplas berfokus pada presisi dan dengan pengaturan kecepatan variabel yang dapat dioptimalkan untuk *fine finishing* akan mempercepat proses sambil mempertahankan kualitas permukaan halus yang

diperlukan sebelum *finishing* lebih lanjut. Sehingga memastikan hasil akhir yang lebih halus dan konsisten. Proses ini dapat dioptimalkan sehingga menghasilkan pengurangan waktu 42%, dari 213 menit menjadi 123,54 menit.

4.5.4. Green State Map

Setelah membuat *current state map*. Selanjutnya peneliti melakukan aktivitas analisis dengan pendekatan *green* dengan membuat *Green State Map*. Ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi meminimasi dampak lingkungan atau *green*. Berikut merupakan *Green State Map* berdasarkan diagram *peta Current State Mapping* pada gambar 4.5:



Gambar 4. 9 *Green State Map* Kap Mesin Mobil

Berdasarkan gambar 4.9 *Green State Map* didapatkan identifikasi *green* diantaranya sebagai berikut:

1. Pemanfaatan material sisa dari aktivitas *fiber unite* pada tahap *fiber application*
 - a. Pengurangan pengadaan bahan baku baru. Dalam proses *fiber application*, sering kali dihasilkan material sisa dari aktivitas *fiber unite* yang masih layak untuk digunakan kembali. Dengan memanfaatkan kembali material ini, perusahaan dapat secara signifikan menekan kebutuhan akan pembelian bahan baku baru. Hal ini berdampak langsung pada pengurangan beban proses hulu seperti ekstraksi bahan mentah, pemrosesan awal, hingga distribusi ke fasilitas produksi. Selain menekan biaya, pendekatan ini juga mendukung prinsip produksi berkelanjutan karena meminimalkan eksploitasi sumber daya alam.

- b. Menekan volume dan beban pengelolaan limbah. Dengan tidak langsung membuang sisa material namun menggunakannya kembali dalam proses produksi, perusahaan secara tidak langsung mengurangi timbunan limbah. Hal ini berarti volume limbah yang memerlukan penanganan lebih lanjut seperti penyimpanan, transportasi, dan proses pemusnahan juga akan berkurang. Secara operasional, ini mendatangkan manfaat berupa pengurangan aktivitas non-produktif yang menyita waktu, tenaga, dan biaya.
 - c. Meningkatkan efisiensi proses secara keseluruhan. Penggunaan ulang material sisa yang sudah tersedia di lingkungan produksi juga berdampak pada efisiensi alur kerja. Operator tidak perlu menunggu material baru datang atau mencari bahan tambahan di gudang. Alur produksi menjadi lebih lancar dan waktu tunggu dapat diminimalkan, sehingga mempercepat waktu penyelesaian produk dan meningkatkan *output* harian.
- 2. Efisiensi energi dari pengimplementasian mesin untuk *Shape Sanding* dan *Fine Sanding*
 - a. Pengurangan waktu siklus (*Cycle Time*). Penggunaan mesin dalam proses *shape sanding* dan *fine sanding* membawa perubahan besar dibanding metode manual. Mesin memungkinkan proses pengamplasan dilakukan secara lebih cepat dan konsisten. Dengan waktu proses yang lebih singkat untuk setiap unit produk, kebutuhan operasional seperti pencahayaan, pendingin ruangan, dan dukungan fasilitas lainnya juga otomatis berkurang. Hal ini secara tidak langsung menekan konsumsi energi harian di area produksi.
 - b. Pengurangan pengerjaan ulang (*rework*). Hasil kerja mesin cenderung lebih presisi dan stabil dibandingkan pengerjaan manual yang bergantung pada keterampilan individu. Dengan demikian, tingkat kesalahan dalam hasil akhir dapat ditekan, yang berarti lebih sedikit bagian yang harus diperbaiki atau diproses ulang. Setiap kegiatan *rework* biasanya memerlukan waktu tambahan dan konsumsi energi baru baik untuk mesin maupun tenaga kerja. Oleh karena itu, penggunaan mesin ini bukan hanya meningkatkan kualitas produk, tetapi juga menghemat energi dan sumber daya lainnya.
 - c. Mengoptimalkan alokasi tenaga kerja dan waktu kerja. Dengan efisiensi yang ditawarkan mesin, jumlah operator yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses tertentu bisa dikurangi atau dialihkan ke aktivitas yang bernilai tambah lebih tinggi. Ini berkontribusi pada produktivitas tim secara keseluruhan dan memungkinkan perusahaan untuk merancang jadwal kerja yang lebih efisien, terutama dalam hal jam operasional dan beban kerja per *shift*.

- d. Mendukung kestabilan hasil dan pengendalian mutu. Mesin sanding memberikan hasil yang seragam dan dapat dikalibrasi sesuai standar tertentu. Ini memudahkan proses pengawasan kualitas dan mengurangi kebutuhan inspeksi ulang yang memakan waktu dan energi. Dengan stabilitas ini, perusahaan dapat mempercepat proses akhir seperti pengecatan atau perakitan tanpa perlu banyak perbaikan di tengah jalan.

3. Pemanfaatan Limbah Produksi

- a. Pengurangan energi untuk pengelolaan limbah. Dengan menjual limbah produksi (seperti sisa *resin*, *carbon*, dan *fiber*) kepada perusahaan mitra yang dapat mengolahnya kembali, perusahaan mengurangi energi yang dibutuhkan untuk proses internal pengelolaan limbah. Strategi ini mengurangi kebutuhan perusahaan dalam menyimpan, mengangkut, dan memproses limbah yang membutuhkan perlakuan khusus. Selain menghemat energi, pendekatan ini juga membuka peluang kolaborasi yang lebih luas dalam ekosistem industri hijau.
- b. Manfaat ekonomi sebagai penghematan energi. Dengan menjual limbah yang masih memiliki nilai ekonomis, perusahaan memperoleh tambahan pendapatan yang bisa dimanfaatkan untuk meningkatkan efisiensi di lini produksi lain. Pendapatan ini dapat dialokasikan untuk mengoptimalkan proses produksi lainnya, seperti penggantian bahan bakar atau penggunaan energi terbarukan.

Berdasarkan identifikasi *green* sebelumnya untuk memahami dampak lingkungan dari proses produksi secara kuantitatif, maka dilakukan perhitungan terhadap komponen-komponen utama penyumbang emisi, yaitu resin, serat karbon, dan energi listrik. Setiap komponen memiliki kontribusi yang berbeda terhadap total emisi CO₂, tergantung pada volume penggunaannya dan faktor emisi yang melekat padanya. Informasi ini disusun dalam Tabel 4.7, yang merangkum jumlah penggunaan material dan energi, faktor emisi masing-masing, serta total emisi CO₂ yang dihasilkan per unit produk. Tabel ini menjadi acuan dan dasar analisis untuk menilai efektivitas program *green manufacturing* yang telah diterapkan.

Tabel 4. 8 Emisi CO₂ Berdasarkan Komponen Produksi Awal

Komponen	Jumlah (kg/liter)	Faktor Emisi CO ₂ (kg CO ₂ /unit)	Emisi (kg CO ₂)	Persentase dari Total
Resin	0.016	8.1	0.1296	0.78%
Serat Karbon	0.24	29	6.96	41.94%
Energi Listrik	13.11	0.725	9.50475	57.28%
Total Emisi CO₂			16.59435	

Dari Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa total emisi karbon dioksida (CO₂) per unit kap mesin mobil mencapai 16,59 kg CO₂. Komponen penyumbang emisi terbesar berasal dari konsumsi energi listrik, yaitu sebesar 9,50475 kg CO₂, yang menyumbang sekitar 57,28% dari total emisi. Hal ini mencerminkan tingginya konsumsi energi pada tahapan-tahapan seperti *shape sanding* dan *fine sanding*. Selanjutnya, penggunaan serat karbon menghasilkan emisi sebesar 6,96 kg CO₂ atau sekitar 41.94% dari total emisi. Angka ini berasal dari beban lingkungan yang cukup tinggi dalam produksi serat karbon, yang umumnya melalui proses berenergi intensif seperti oksidasi dan karbonisasi pada suhu tinggi. Meskipun jumlah massanya tidak terlalu besar, nilai faktor emisinya yang tinggi menunjukkan bahwa serat karbon adalah material dengan jejak karbon signifikan dalam industri komposit. Sementara itu, resin memberikan kontribusi terkecil terhadap total emisi, yaitu hanya sekitar 0,1296 kg CO₂ atau 0,78%. Hal ini disebabkan oleh jumlah resin yang digunakan dalam proses relatif kecil dibandingkan material lainnya.

Seiring dengan diimplementasikannya perbaikan berbasis prinsip *green manufacturing*, dilakukan beberapa strategi efisiensi dalam penggunaan bahan dan energi, antara lain: pemanfaatan ulang sisa serat karbon, penggantian proses sanding manual dengan mesin otomatis, dan optimalisasi waktu proses produksi. Perubahan ini berdampak langsung terhadap penurunan kebutuhan material baru serta konsumsi energi per unit produk.

Tabel 4. 9 Emisi CO₂ Berdasarkan Komponen Produksi Setelah Perbaikan

Komponen	Jumlah (kg/liter)	Faktor Emisi CO ₂ (kg CO ₂ /unit)	Emisi (kg CO ₂)	Persentase dari Total
Resin	0.016	8.1	0.1296	0.92%
Serat Karbon	0.204	29	5.916	41.88%
Energi Listrik	11.147	0.725	8.081575	57.20%
Total Emisi CO₂			14.127175	

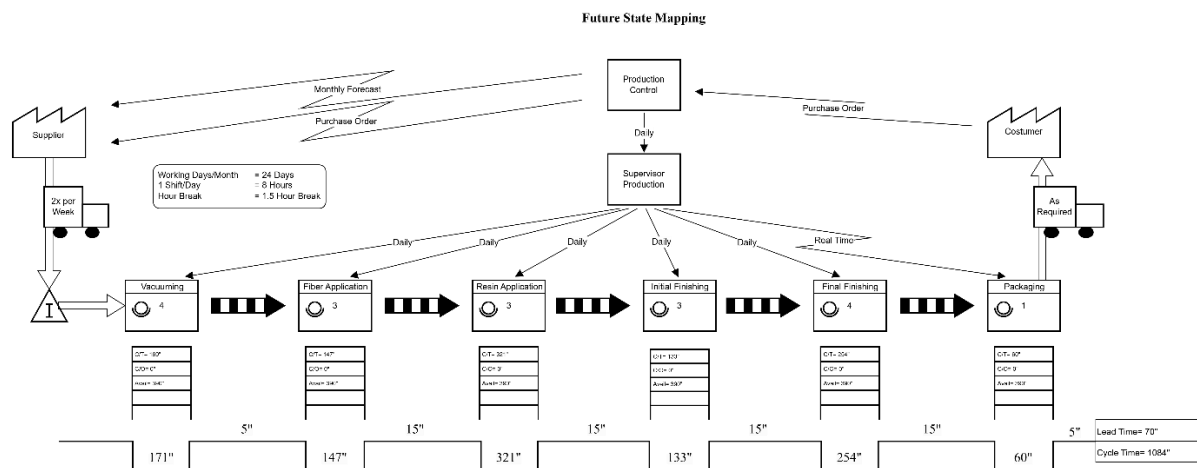
Tabel 4.9 menunjukkan hasil perhitungan emisi setelah implementasi inisiatif perbaikan yang dilakukan berdasarkan hasil identifikasi pada *green state map*. Terjadi penurunan total emisi menjadi 14,127175 kg CO₂, atau sekitar 14,87% lebih rendah dibandingkan kondisi awal. Penurunan ini bersumber dari dua aspek utama.

Penggunaan serat karbon menurun dari 0,240 kg menjadi 0,204 kg per unit, seiring dengan dimanfaatkannya sisa material dari proses sebelumnya yang masih layak pakai. Ini mengurangi beban permintaan bahan baku baru, sekaligus menghindari emisi dari proses produksi awal serat karbon itu sendiri. Kedua, penggunaan energi listrik berhasil ditekan dari 13,11 kWh

menjadi 11,147 kWh per unit, utamanya karena peningkatan efisiensi mesin sanding otomatis yang mampu memperpendek waktu proses serta mengurangi aktivitas *rework*. Dengan demikian, penurunan emisi bukan hanya berasal dari pengurangan kuantitas *input*, tetapi juga dari peningkatan efisiensi proses kerja secara keseluruhan.

4.5.5. Future State Mapping

Setelah membuat *Lean State Map* dan *Green State Map*. Selanjutnya peneliti melakukan aktivitas analisis setelah perbaikan *lean* dan *green* dengan membuat *Future State Mapping* guna menganalisis hasil dari pendekatan *lean* dan *green* yang dilakukan. Berikut merupakan *Future State Mapping* pada gambar 4.10:



Gambar 4. 10 Future State Mapping

Berdasarkan *Future State Mapping* pada gambar 4.10 di dapatkan informasi bahwa setelah *Production Control* menerima *Purchase Order* kemudian *Production Control* akan memproses untuk melakukan pemesanan bahan baku berdasarkan *Purchase Order Customer* atau dari *Monthly Forecast* berdasarkan data pencatatan kebutuhan produksi sebelumnya. Pengiriman bahan baku dilakukan 2 kali per minggu. *Supervisor Production* mengatur setiap proses produksi dan pengawasan secara berkala, setiap tahapan proses produksi memiliki pengawasan dan kontrol yang terpisah untuk memastikan produksi berjalan dengan semestinya. Untuk jam kerja per bulan 24 hari dengan waktu kerja harian 8 jam dan 1.5 jam waktu istirahat.

Proses produksi terdiri dari beberapa tahapan yaitu *Vacuuming* dengan jumlah operator 4 orang, *cycle time* sebesar 169 menit, tidak ada *change over time*. Kemudian *lead time* antar tahap *Vacuuming* dan *Fiber Application* sebesar 5 menit. *Fiber Application* dengan jumlah operator 3 orang, *cycle time* sebesar 147 menit, tidak ada *changeover time*. Kemudian *lead time*

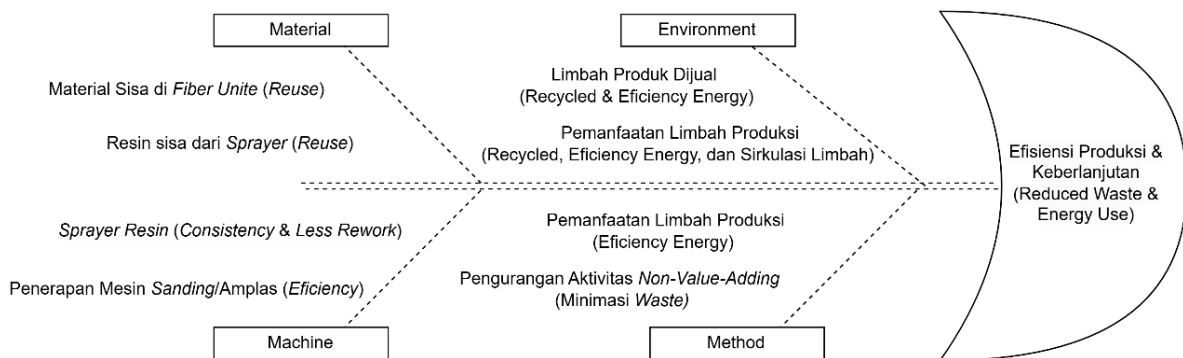
antar tahap *Fiber Application* dan *Resin Application* sebesar 15 menit. *Resin Application* dengan jumlah 3 orang, *cycle time* sebesar 321 menit, tidak ada *changeover time*. Kemudian *lead time* antar tahap *Resin Application* dan *Initial Finishing* sebesar 15 menit. *Initial Finishing* dengan jumlah 3 orang, *cycle time* sebesar 133 menit, tidak ada *changeover time*. Kemudian *lead time* antar tahap *Initial Finishing* dan *Final Finishing* sebesar 15 menit. *Final Finishing* dengan jumlah 4 orang, *cycle time* sebesar 254 menit, tidak ada *changeover time*. Kemudian *lead time* antar tahap *Final Finishing* dan *Packaging* sebesar 15 menit. *Packaging* dengan jumlah 1 orang, *cycle time* sebesar 60 menit, tidak ada *changeover time*. Kemudian *lead time* hingga ke gudang sebesar 5 menit. Sehingga didapatkan total operator untuk produksi *part carbon* kap mesin mobil berjumlah 18 orang, Total *Lead Time* sebesar 70 menit, dan Total *Cycle Time* sebesar 1086 menit.

Berdasarkan *Future State Mapping* didapatkan informasi bahwa terjadi beberapa perubahan dengan pendekatan *lean* yaitu perubahan tata letak pada aktivitas *prepare mold* sehingga waktu proses berkurang 8 menit atau sebesar 26,67% dan dengan menerapkan *wet sanding* pada dua aktivitas pengamplasan sehingga waktu proses berkurang hingga 123,54 menit sehingga implementasi *wet sanding* menghasilkan pengurangan waktu sebesar 42%. Dengan penerapan *wet sanding* pada dua aktivitas kritis, yaitu *Shape Sanding* dan *Fine Sanding*, waktu produksi dapat dikurangi secara signifikan. Efisiensi ini berkontribusi pada peningkatan produktivitas, pengurangan aktivitas yang tidak bernilai tambah, dan mengurangi total waktu produksi.

Sedangkan pada pendekatan *green*, terjadi penurunan total emisi yang digunakan selama proses produksi yaitu yang awal total emisi CO₂ awal sebesar 16.59435 kg CO₂ menjadi 14.127175 kg CO₂ atau mengalami penurunan sebesar 14,87%.

4.5.6. Fishbone Diagram Analysis

Berikut merupakan *Fishbone Diagram Analysis* yang disimpulkan berdasarkan hasil dari *Lean State Map* dan *Green State Map*.



Gambar 5. 1 *Fishbone Diagram Analysis*

Indikator:

Material: Meliputi pemanfaatan material sisa dari aktivitas *fiber unite* dan *resin spray*. Ini mengurangi kebutuhan bahan baku baru, penghematan energi dari proses produksi dan transportasi, serta efisiensi dalam pengelolaan limbah.

Machine: Penggunaan mesin amplas dan penyemprot resin yang lebih efisien mengurangi waktu siklus dan energi yang dibutuhkan untuk pengerjaan ulang, menghasilkan hasil yang konsisten.

Method: Pengurangan aktivitas *non-value-adding*, seperti optimasi pengecekan dan *trimming* berlebih, meningkatkan alur kerja, serta efisiensi energi pada proses produksi.

Environment: Pemanfaatan limbah produk dengan cara dijual ke mitra pengolah memberikan manfaat ekonomi sekaligus mengurangi kebutuhan energi dalam pengelolaan limbah internal.

Berdasarkan *Fishbone Diagram* diatas dapat di simpulkan bahwa Efisiensi Produksi & Keberlanjutan dicapai melalui berbagai faktor utama, yang terbagi ke dalam empat kategori: *Material*, *Machine*, *Method*, dan *Environment*. Setiap kategori mencakup faktor-faktor spesifik yang saling terkait dalam mengurangi *waste*, menghemat energi, dan meningkatkan produktivitas.

1. *Material*

- a. Pemanfaatan Material Sisa pada *Fiber Unite* dan *Resin Spray*: Penggunaan kembali material sisa (seperti serat karbon dan resin) di tahapan *Fiber Application* dan *Resin Application* berkontribusi pada pengurangan *waste* dan penghematan bahan baku baru.
- b. Dampak terhadap Efisiensi Energi: Penggunaan kembali bahan sisa mengurangi kebutuhan energi untuk produksi bahan baku baru serta energi yang diperlukan untuk pengelolaan limbah. Dengan demikian, perusahaan menghemat biaya energi sekaligus mendukung keberlanjutan.

2. *Machine*

- a. Penerapan Mesin Amplas dan Penyemprot Resin yang Efisien: Penggunaan mesin yang lebih tepat guna pada proses amplas dan penyemprotan resin mengurangi waktu siklus dan energi yang dibutuhkan. Mesin-mesin ini mampu menghasilkan produk berkualitas tinggi dengan lebih cepat dan konsisten, yang mengurangi risiko *rework*.
- b. Dampak pada *Rework* dan Konsumsi Energi: Dengan hasil yang lebih konsisten, frekuensi *rework* menurun. *Rework* umumnya memerlukan energi tambahan karena proses harus diulang, sehingga pengurangan *rework* ini secara langsung berkontribusi pada efisiensi energi.

3. *Method*

- a. Penghapusan Aktivitas *Non-Value-Adding* (NVA): Melalui analisis *Lean*, aktivitas yang tidak menambah nilai pada produk (seperti pengecekan dan *trimming* berlebih) diidentifikasi dan dihilangkan. Ini berpengaruh pada *lead time* yang lebih pendek, dan memungkinkan produksi berjalan lebih lancar.
- b. Dampak pada Produktivitas dan Biaya Operasional: Dengan mengurangi aktivitas NVA, biaya dan waktu yang sebelumnya dialokasikan pada aktivitas tersebut dapat dialihkan ke proses yang lebih produktif, meningkatkan *output* dan menurunkan biaya operasional keseluruhan.

4. *Environment*

- a. Pengelolaan Limbah dan Pemanfaatan Limbah Produk: Dengan menjual limbah produksi (seperti sisa resin dan serat karbon) ke mitra pengolah, perusahaan tidak hanya mengurangi energi yang dibutuhkan untuk pengelolaan limbah internal tetapi juga memperoleh pendapatan tambahan.

- b. Dampak Ekonomi dan Keberlanjutan: Penjualan limbah ini menciptakan pendapatan tambahan yang. Ini menunjukkan komitmen perusahaan terhadap keberlanjutan dan mengurangi dampak lingkungan dari limbah produksi.

Diagram ini menunjukkan bahwa faktor-faktor dalam kategori *Material*, *Machine*, *Method*, dan *Environment* memiliki kontribusi yang saling melengkapi dalam meningkatkan efisiensi produksi dan keberlanjutan. Penggunaan mesin yang efisien, pengelolaan material secara optimal, penerapan metode *Lean* untuk menghilangkan aktivitas yang tidak perlu, dan pemanfaatan limbah sebagai sumber daya ekonomi merupakan langkah-langkah strategis yang menghasilkan manfaat ganda: peningkatan produktivitas dan pengurangan dampak lingkungan.

BAB V

PEMBAHASAN atau PENGUJIAN SISTEM DAN PEMBAHASAN

5.1. Analisis *Process Activity Mapping*

Berdasarkan hasil *Process Activity Mapping* awal ini merupakan hasil analisis dari *Process Activity Mapping* setelah mengalami perubahan setelah perbaikan:

Tabel 5. 1 *Process Activity Mapping* setelah perbaikan

No	Tahap	Aktivitas Utama	Kategori	Waktu/Menit (Estimasi)	Keterangan
1	<i>Vacuuming</i>	<i>Start</i> - Persiapan Awal	<i>Non-Value-Adding</i>	-	Persiapan sebelum memulai produksi
		<i>Mold Running</i> - Pengecekan <i>Mold</i>	<i>Value-Adding</i>	10	Memastikan <i>mold</i> siap digunakan
		<i>Prepare Mold</i> - Persiapan <i>Mold</i>	<i>Value-Adding</i>	22	<i>Mold</i> dibersihkan dan siap untuk produksi
		<i>Prepare Material</i> - Persiapan material	<i>Value-Adding</i>	2	Material (serat karbon dan resin) disiapkan
		<i>Vacuuming</i> - Produksi <i>Vacuum</i>	<i>Value-Adding</i>	120	Serat karbon dan resin ditempatkan di <i>mold</i>
		<i>Check</i> - Pengecekan Hasil <i>Vacuum</i>	<i>Non-Value-Adding</i>	4	Pengecekan kualitas hasil
		<i>Trimming</i> - Pemotongan Kelebihan Material	<i>Value-Adding</i>	13	Menghilangkan kelebihan material
		Total		171	
2	<i>Fiber Application</i>	<i>Fiber Unite</i> - Penyatuan Serat Karbon	<i>Value-Adding</i>	120	Penyatuan serat karbon di produk
		<i>Trimming</i> - Pemotongan Kelebihan Material	<i>Value-Adding</i>	13	Merapikan dan mempersiapkan produk
		<i>Check</i> - Pengecekan Hasil Penyatuan Serat Karbon	<i>Non-Value-Adding</i>	14	Pengecekan sebelum aplikasi resin
		Total		147	

No	Tahap	Aktivitas Utama	Kategori	Waktu/Menit (Estimasi)	Keterangan
3	Resin <i>Application</i>	<i>Resin Spray</i> - Menyemprotkan Resin	<i>Value-Adding</i>	13	Resin diaplikasikan untuk memberikan kekuatan
		<i>Shape Sanding</i> - Pengamplasan Bentuk	<i>Value-Adding</i>	240	Produk diampelas agar sesuai bentuk desain
		<i>Dempul Detailing</i>	<i>Value-Adding</i>	53	Mengisi ketidaksempurnaan kecil pada produk
		<i>Check</i> - Pengecekan Hasil Detailing	<i>Non-Value-Adding</i>	14	Pengecekan setelah <i>detailing</i>
		Total		321	
4	<i>Initial Finishing</i>	<i>Painting Clear</i> - <i>Clear Coating</i>	<i>Value-Adding</i>	13	Pengecatan <i>clear</i> untuk melindungi produk
		<i>Fine Sanding</i> - Pengamplasan Halus	<i>Value-Adding</i>	107	Menghaluskan permukaan produk
		<i>Check</i> - Pengecekan Hasil Pengamplasan	<i>Non-Value-Adding</i>	13	Pengecekan hasil pengamplasan halus
		Total		133	
5	<i>Final Finishing</i>	<i>Polish</i> - <i>Polishing</i>	<i>Value-Adding</i>	120	Pemolesan untuk tampilan kilau
		<i>Painting</i> - Pengecatan Akhir	<i>Value-Adding</i>	120	Pengecatan tambahan sesuai spesifikasi
		<i>Final Check</i> - Pengecekan Akhir	<i>Non-Value-Adding</i>	14	Pengecekan akhir sebelum pengemasan
		Total		254	
6	<i>Packaging</i>	<i>Packaging</i> - Pengemasan Produk	<i>Non-Value-Adding</i>	60	Produk dikemas untuk pengiriman
		Total		1086	

Berdasarkan tabel 5.1, dapat diketahui bahwa ada beberapa perubahan yang terjadi pada waktu proses aktivitas dari sebelum perbaikan, antara lain:

1. Pelaksanaan *Improvement* pada aktivitas *Prepare Mold* dengan melakukan perbaikan *layout* baru guna meminimasi jarak tempuh operator menyebabkan penurunan waktu proses aktivitas ini sebesar 8 menit.

2. Pelaksanaan *Improvement* pada aktivitas *Prepare Material* dengan melakukan penjadwalan lebih awal sehingga mengurangi waktu proses sebesar 10 menit.
3. Pelaksanaan *Improvement* pada aktivitas *Shape Sanding* dengan melakukan pengimplementasian pengamplasan menggunakan mesin sehingga mengurangi waktu proses sebesar 240 menit.
4. Pelaksanaan *Improvement* pada aktivitas *Fine Sanding* dengan melakukan pengimplementasian pengamplasan menggunakan mesin sehingga mengurangi waktu proses sebesar 106 menit.
5. Total pengurangan waktu proses dalam pengimplementasian upaya *improvement* pada proses produksi kap mesin mobil pada PT. Karyatama Komposit Teknologi sebesar 380 menit.

5.2. Analisis *Value Stream Mapping*

Berikut merupakan hasil analisis dari *Value Stream Mapping* berdasarkan hasil dari *Current State Mapping* dan *Future State Mapping*:

Tabel 5. 2 Analisis *Value Stream Mapping*

Proses	<i>Current State Waktu (menit)</i>	<i>Future State Waktu (menit)</i>	Perubahan Waktu (%)	Interpretasi dan Analisis
<i>Vacuuming</i>	192	169	-11,98%	Pada proses <i>Current State</i> , <i>vacuuming</i> memakan waktu 192 menit, sebagian besar disebabkan oleh pengecekan hasil dan aktivitas <i>trimming</i> berulang. Pada <i>Future State</i> , penghapusan pengecekan berulang mengurangi waktu menjadi 169 menit, meningkatkan alur produksi tanpa mengurangi kualitas. Pengurangan waktu ini juga mempercepat proses produksi secara keseluruhan, meningkatkan <i>output</i> dengan tetap mempertahankan standar kualitas produk.
<i>Fiber Application</i>	150	147	-2%	Pada tahap <i>Fiber Application</i> , meski terjadi penurunan kecil dari 150 menjadi 147 menit, ini menunjukkan adanya peningkatan konsistensi dalam aplikasi serat dan kontrol kualitas yang lebih baik. Efisiensi ini dicapai melalui peningkatan sistem pengecekan hasil serat untuk mengurangi potensi pengerjaan

Proses	<i>Current State</i> Waktu (menit)	<i>Future State</i> Waktu (menit)	Perubahan Waktu (%)	Interpretasi dan Analisis
<i>Resin Application</i>	562	321	-42,87%	<p>ulang, menjaga kualitas dan mengurangi waktu siklus.</p> <p>Proses aplikasi resin di <i>Current State</i> sangat memakan waktu (562 menit) karena terdiri dari beberapa lapisan dan pengecekan di setiap lapisan. Pada <i>Future State</i>, waktu berkurang menjadi 321 menit melalui penyederhanaan jumlah lapisan resin dan pengecekan hanya pada lapisan terakhir. Pengurangan signifikan ini mengurangi beban operator dan menekan biaya operasional sambil tetap menjaga hasil akhir sesuai standar.</p>
<i>Initial Finishing</i>	247	133	-46,15%	<p>Waktu <i>Initial Finishing</i> di <i>Future State</i> menurun tajam dari 247 menjadi 133 menit. Implementasi mesin amplas otomatis yang lebih efisien dan akurat mengurangi waktu pengamplasan dan pengecatan. Dengan berkurangnya waktu, penggunaan energi juga menurun, meningkatkan efisiensi energi serta memastikan kualitas konsisten pada setiap produk yang dihasilkan.</p>
<i>Final Finishing</i>	255	254	-0,39%	<p>Proses <i>Final Finishing</i> menunjukkan perubahan kecil dalam waktu, yaitu dari 255 menjadi 254 menit. Meskipun demikian, hasil akhir produk tetap terjaga dengan pengecekan yang lebih ketat, yang mengurangi risiko cacat produk tanpa mempengaruhi waktu siklus secara signifikan. Efisiensi ini berkontribusi pada konsistensi kualitas produk yang dikirim ke konsumen.</p>
<i>Packaging</i>	60	60	0%	<p>Proses <i>Packaging</i> mempertahankan waktu yang sama, yaitu 60 menit, baik pada <i>Current</i> maupun <i>Future State</i>. Hal ini menunjukkan bahwa waktu pengecekan dan pengemasan produk sesuai standar tetap dipertahankan untuk memastikan keamanan produk selama pengiriman, yang penting untuk mempertahankan kepuasan pelanggan.</p>
<i>Total Lead Time</i>	1416	1086	-25,92%	<p>Penurunan waktu total dari 1416 menjadi 1084 menit menunjukkan bahwa implementasi Lean Manufacturing di PT</p>

Proses	<i>Current State Waktu (menit)</i>	<i>Future State Waktu (menit)</i>	Perubahan Waktu (%)	Interpretasi dan Analisis
				Karyatama Komposit Teknologi berhasil mengurangi <i>lead time</i> sebesar 25,92%. Pengurangan waktu ini dihasilkan dari eliminasi aktivitas <i>non-value-adding</i> , optimalisasi pengecekan hasil, dan penerapan alat yang lebih efisien. Hasil akhirnya adalah peningkatan produktivitas yang signifikan, memungkinkan perusahaan untuk memenuhi permintaan dengan lebih cepat dan mengurangi biaya produksi.

Berdasarkan tabel diatas dapat di simpulkan bahwa:

1. Efisiensi Operasional: Pengurangan waktu di berbagai proses, terutama *Vacuuming*, *Resin Application*, dan *Initial Finishing*, memberikan peningkatan efisiensi yang signifikan. Waktu pada setiap tahap yang berkurang menunjukkan penghapusan aktivitas *non-value-adding* (NVA) dan penerapan kontrol kualitas yang lebih baik. Peningkatan ini menurunkan beban operator dan penggunaan energi, yang merupakan dampak positif bagi produktivitas dan pengurangan biaya.
2. Peningkatan Kualitas Produk: Pada tahapan seperti *Final Finishing* dan *Packaging*, meskipun waktu siklus tidak banyak berubah, ada fokus pada peningkatan kualitas melalui pengecekan ketat yang mengurangi potensi cacat. Ini menunjukkan pendekatan yang berorientasi pada kualitas, sehingga konsumen akan mendapatkan produk berkualitas tinggi, yang sangat penting untuk kepuasan pelanggan.
3. Pengurangan *Lead Time* Keseluruhan: Penurunan *lead time* sebesar 25,92% memberikan dampak besar pada kemampuan produksi perusahaan. Pengurangan total 332 menit membuat perusahaan dapat mengalokasikan waktu yang lebih banyak untuk memproduksi lebih banyak unit, meningkatkan kapasitas dan fleksibilitas produksi, serta meningkatkan ketepatan waktu pengiriman.
4. Efisiensi Energi dan Biaya: Dengan waktu siklus yang lebih pendek di beberapa tahap, konsumsi energi dari mesin dan alat dapat dikurangi. Misalnya, pada proses *Initial Finishing* dan *Resin Application*, penerapan alat yang lebih efisien secara signifikan

mengurangi konsumsi energi per unit, yang berdampak pada biaya produksi yang lebih rendah dan mendukung keberlanjutan lingkungan.

5. *Sustainability* melalui *Lean and Green*: Implementasi metode *Lean* dalam mempercepat waktu siklus, serta integrasi metode *Green* yang mengurangi limbah dan penggunaan material baru, menunjukkan bahwa perusahaan mampu meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan secara simultan. Pengurangan limbah dan efisiensi energi mencerminkan komitmen perusahaan terhadap praktik ramah lingkungan yang semakin dibutuhkan dalam industri manufaktur.

Secara keseluruhan, perubahan dari *Current State* ke *Future State* menunjukkan bahwa PT Karyatama Komposit Teknologi dapat mencapai keseimbangan antara produktivitas tinggi, kualitas, dan keberlanjutan. Optimalisasi ini berpotensi meningkatkan daya saing perusahaan dengan memberikan hasil yang efisien, berkualitas, dan ramah lingkungan.

Pemetaan kondisi saat ini mengungkapkan adanya hambatan signifikan dalam proses persiapan *mold* dan material. Keterlambatan persiapan *mold* disebabkan oleh penyimpanan yang tidak efisien, yang memerlukan waktu pencarian hingga 15 menit untuk menemukan *mold* yang dibutuhkan. Persiapan material juga diidentifikasi sebagai sumber inefisiensi, dengan keterlambatan 10 menit akibat kesiapan material yang tidak sesuai dengan kebutuhan produksi.

5.3. *Green Analysis*

Berdasarkan *Green State Map* yang telah disusun, analisis aspek lingkungan dalam proses produksi dilakukan untuk mengidentifikasi potensi penerapan *Green Manufacturing* yang dapat mengurangi dampak lingkungan sekaligus meningkatkan efisiensi proses. Hasil *Green Analysis* yang relevan terhadap proses produksi *part carbon* kap mesin mobil di PT Karyatama Komposit Teknologi adalah sebagai berikut:

1. Penerapan Metode Amplas Basah pada Proses *Shape Sanding* dan *Fine Sanding*

Penggunaan metode amplas basah pada tahapan *shape sanding* dan *fine sanding* terbukti mampu mengurangi emisi debu yang dihasilkan dari proses pengamplasan kering. Praktik ini secara langsung menurunkan risiko pencemaran udara di area kerja serta mengurangi paparan debu berbahaya yang dapat mengganggu kesehatan operator. Selain memberikan dampak lingkungan yang positif, penerapan amplas basah juga memberikan kontribusi terhadap

efisiensi waktu produksi, dengan penurunan waktu proses serta pengurangan beban kerja alat sanding, yang berimplikasi pada efisiensi energi.

2. Pemanfaatan Material Sisa pada Proses *Fiber Application* dan *Resin Application*

Penggunaan kembali material sisa dari aktivitas *fiber unite* dan *resin spray* dilakukan sebagai bagian dari penerapan prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*). Pemanfaatan material sisa ini berhasil menurunkan kebutuhan bahan baku baru, serta mengurangi volume limbah padat dan cair yang dihasilkan. Dengan demikian, perusahaan tidak hanya mengurangi konsumsi material tetapi juga menurunkan beban pengelolaan limbah yang memerlukan energi tambahan.

3. Efisiensi Energi Secara Umum

Melalui perbaikan pada proses dan pemanfaatan material sisa Efisiensi ini berasal dari optimalisasi waktu proses, pengurangan aktivitas *non-value-added*, serta pengurangan beban energi untuk pengelolaan limbah dan pengadaan bahan baru. Strategi ini memperkuat integrasi konsep *Green Manufacturing* ke dalam sistem produksi.

4. Integrasi Konsep *Lean* dan *Green Manufacturing*

Praktik-praktik yang diterapkan dalam *green improvement*, seperti amplas basah dan pemanfaatan ulang material, telah sejalan dengan pendekatan *lean* yang difokuskan pada pengurangan *waste*. Perbaikan tidak hanya berorientasi pada efisiensi operasional, tetapi juga mendukung tujuan keberlanjutan lingkungan. *Green analysis* ini memperlihatkan bahwa pengurangan dampak lingkungan tidak perlu mengorbankan efisiensi, melainkan justru dapat berjalan secara paralel untuk menciptakan proses produksi yang lebih efektif, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

Integrasi *Green Manufacturing* yang Diperluas Penggunaan metode amplas basah pada tahap pengamplasan merupakan salah satu contoh praktik *Green Manufacturing* yang diintegrasikan pada proses produksi untuk menurunkan dampak lingkungan dan meningkatkan efisiensi operasional. Amplas basah mengurangi emisi partikulat yang dapat membahayakan kesehatan pekerja dan mencemari lingkungan.

5.4.Usulan Perbaikan

Berdasarkan hasil analisis pada tahapan *Current State Mapping*, *Green State Mapping*, dan *Fishbone Diagram*, dapat disimpulkan bahwa permasalahan utama pada proses produksi *part carbon* kap mesin mobil di PT. Karyatama Komposit Teknologi adalah tingginya waktu tunggu pada proses *prepare material* dan ketidakefisienan proses pencarian *mold* pada *prepare mold*. Selain itu, konsumsi energi listrik dan penggunaan material serat karbon menjadi penyumbang utama terhadap emisi karbon dioksida (CO₂). Oleh karena itu, beberapa usulan perbaikan dirancang dengan pendekatan integratif antara *lean* dan *green manufacturing* sebagai berikut:

1. Perbaikan Tata Letak Tempat Penyimpanan *Mold*

Dilakukan penataan ulang tata letak penyimpanan *mold* agar lebih terstruktur dan mudah diakses. Sebelum perbaikan, operator menempuh jarak hingga 110,2 meter untuk mengambil *mold*, yang kemudian berkurang menjadi 50,4 meter setelah implementasi perbaikan, atau setara dengan pengurangan jarak sebesar 54,27%. Efisiensi jarak ini berdampak pada percepatan proses kerja, di mana waktu proses *prepare mold* mengalami penurunan dari 30 menit menjadi 22 menit, atau penurunan waktu sebesar 26,67%.

2. Penerapan Sistem FIFO untuk Persiapan *Material*

Implementasi sistem *First In First Out* pada area penyimpanan material mendukung pengurangan waktu tunggu 10 menit pada proses *prepare material*. Sistem ini juga mendorong penggunaan bahan baku secara berurutan berdasarkan waktu kedatangan, sehingga dapat mengurangi pemborosan karena material yang tidak terpakai terlalu lama (*waste inventory*) dan mencegah kerusakan material akibat penyimpanan yang tidak terkontrol.

3. Pemanfaatan Ulang Material Sisa (*Reuse*)

Dilakukan pemanfaatan sisa serat karbon dari proses sebelumnya yang masih layak digunakan. Dengan strategi ini, penggunaan serat karbon baru dapat dikurangi dari 0,240 kg menjadi 0,204 kg per unit produk, atau turun sebesar 15%. Hal ini berpengaruh langsung terhadap penurunan emisi karbon dari serat karbon, dari 6,96 kg CO₂ menjadi 5,916 kg CO₂ (penurunan sekitar 15%).

4. Efisiensi Proses *Sanding*

Penggantian proses sanding manual menjadi mesin sanding sehingga mengurangi *rework* dan lebih presisi dan efisien. Perubahan ini mengurangi konsumsi energi listrik dari 13,11 kWh menjadi 11,147 kWh per unit produk, atau turun sebesar 14,96%. Dampaknya, emisi

karbon dari energi listrik berkurang dari 9,50475 kg CO₂ menjadi 8,081575 kg CO₂. Penurunan ini juga didukung oleh pengurangan *rework* dan waktu proses karena hasil kerja mesin lebih konsisten.

5. Efisiensi Total Emisi Karbon

Secara keseluruhan, total emisi karbon per unit produk berhasil diturunkan dari 16,59435 kg CO₂ menjadi 14,127175 kg CO₂, atau mengalami penurunan sebesar 14,87%. Pengurangan ini merupakan hasil gabungan dari efisiensi penggunaan energi dan material, serta optimalisasi proses kerja secara menyeluruh.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dan hasil analisis di atas, kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil identifikasi melalui *Value Stream Mapping* dan *Green State Map*, ditemukan bahwa *waste* yang terjadi antara lain adalah waktu tunggu dalam proses persiapan material selama 10 menit, pencarian *mold* yang memakan waktu 15 menit akibat tata letak penyimpanan yang tidak terstruktur, serta adanya aktivitas duplikasi pengecekan hasil produksi. Dari sisi *green*, ditemukan permasalahan berupa tingginya emisi debu dari proses amplas kering yang berpotensi mencemari lingkungan kerja dan menimbulkan gangguan kesehatan, serta limbah material berlebih dari proses pengecatan dan aplikasi resin yang belum memanfaatkan secara optimal.
2. Dampak dari *waste* dan *green issue* yang teridentifikasi cukup signifikan terhadap kinerja proses produksi. Secara operasional, aktivitas *non-value-added* menyebabkan *waste* yang memperpanjang total waktu proses dan menurunkan kapasitas produksi harian. Selain itu, berdasarkan hasil *Value Stream Mapping*, total waktu produksi awal (*Current State*) tercatat sebesar 1.466 menit. Setelah dilakukan perbaikan proses yang berfokus pada pengurangan aktivitas *non-value-added*, penyederhanaan alur kerja, dan efisiensi layout, total waktu produksi pada kondisi *Future State* menurun menjadi 1.086 menit. Artinya terdapat penghematan waktu produksi sebesar 380 menit, atau efisiensi sebesar: 25,92%. Dari sisi *green*, total emisi karbon dioksida (CO₂) sebelum perbaikan tercatat sebesar 16,59 kg CO₂ per unit produk, dengan kontribusi terbesar berasal dari konsumsi energi listrik dan penggunaan serat karbon. Setelah dilakukan pengurangan penggunaan energi dan pemanfaatan ulang material, emisi menurun menjadi 14,13 kg CO₂ per unit, menunjukkan penurunan emisi sebesar 14,87%. Kondisi ini menunjukkan bahwa aspek *waste* dan *green* berdampak secara langsung terhadap efisiensi waktu, produktivitas, serta keberlanjutan lingkungan dari proses produksi.
3. Solusi yang diimplementasikan meliputi integrasi pendekatan *lean* dan *green manufacturing*. Dari sisi *lean*, dilakukan perbaikan tata letak gudang *mold* yang menurunkan jarak tempuh operator hingga 54,27%, serta efisiensi waktu proses *prepare*

mold sebesar 26,67%. Penjadwalan ulang aktivitas persiapan material dan penyederhanaan pengecekan turut mengurangi pemborosan waktu. Dari sisi *green*, diterapkan metode amplas basah untuk menekan emisi debu dan dilakukan pemanfaatan ulang sisa resin dan serat karbon. Dampaknya, limbah material dapat dikurangi hingga 12,6% dan konsumsi energi listrik turun sebesar 14,96%. Total emisi CO₂ per unit produk pun menurun dari 16,59 kg menjadi 14,13 kg, atau mengalami penurunan sebesar 14,87%

6.2 Saran

1. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk mengevaluasi dampak jangka panjang dari integrasi Lean dan Green Manufacturing terhadap efisiensi biaya operasional, stabilitas proses, dan pengurangan emisi secara kuantitatif, serta potensi peningkatan daya saing perusahaan dalam jangka menengah dan panjang.
2. Melakukan penerapan lebih luas. Perusahaan disarankan untuk mengeksplorasi penerapan praktik *Lean* dan *Green Manufacturing* serupa pada lini produksi lain di PT Karyatama Komposit Teknologi, namun juga pada lini produksi lainnya seperti *part body spoiler* dan lainnya. Terutama untuk produk dengan volume produksi tinggi, integrasi *lean* dan *green* dapat meningkatkan efisiensi sumber daya dan mendukung target keberlanjutan perusahaan secara menyeluruh.
3. Melakukan perbaikan berkelanjutan. Audit internal secara periodik dan pelatihan kepada operator penting untuk dilakukan agar perusahaan dapat terus mengidentifikasi potensi pemborosan baru (baik dari sisi *lean* maupun *green*), sekaligus menjaga efektivitas implementasi perbaikan yang telah dilakukan.
4. Melakukan pengembangan lebih lanjut. Perlu dilakukan eksplorasi terhadap material alternatif yang lebih ramah lingkungan, khususnya pada tahap pengecatan dan aplikasi resin, tanpa mengorbankan kualitas dan performa produk. Selain itu, disarankan untuk mengembangkan sistem manajemen data produksi berbasis digital untuk pemantauan *real-time* terhadap konsumsi material dan energi.

DAFTAR PUSTAKA

- Almanei, M., Salonitis, K., & Tsinopoulos, C. (2017). A conceptual lean implementation framework based on risk management. *Procedia CIRP*, 63, 639–644. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.177>.
- Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2014). Lean manufacturing: literature review and research issues. *International Journal of Operations & Production Management*, 34(7), 876–940. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2012-0315>.
- Braglia, M., Carmignani, G. and Zammori, F. (2006), “A new value stream mapping approach for complex production systems”, *International Journal of Production Research*, Vol. 44 Nos 18-19, pp. 3929-3952.
- Brown, A., Amundson, J. and Badurdeen, F. (2014), “Sustainable value stream mapping (Sus-VSM) in different manufacturing system configurations: application case studies”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 85, pp. 164-179.
- Camuffo, A., De Stefano, F., & Paolino, C. (2017). Safety reloaded: Lean operations and high involvement work practices for sustainable workplaces. *Journal of Business Ethics*, 143(2), 263–280. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2632-3>.
- Carvalho, H., Azevedo, S. and Machado, V. (2010), “Supply chain performance management: lean and green paradigms”, *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*, Vol. 2 Nos 3-4, pp. 304-333.
- Carvalho, H., Duarte, S., & Machado, V. C. (2010). Lean, agile, resilient and green: Divergencies and synergies. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2(2), 151–179. <https://doi.org/10.1108/20401461111135037>.
- Carvalho, H., Duarte, S., & Machado, V. C. (2017). Lean, agile, resilient and green supply chain management: A model for decision-making. *International Journal of Production Research*, 55(17), 5108–5126. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1246761>.
- Carvalho, H., Govindan, K., Azevedo, S. and Cruz-Machado, V. (2017), “Modelling green and lean supply chains: an eco-efficiency perspective”, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 120, pp. 75-87.
- Chauhan, N., Patel, N., & Trivedi, P. (2015). Benefits of value stream mapping as a lean tool implementation manufacturing industries: A review. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 1(8), 286–289.
- Cherrafi, A., Elfezazi, S., Govindan, K., Garza-Reyes, J. A., Benhida, K., & Mokhlis, A. (2017). A framework for the integration of Green and Lean Six Sigma for superior sustainability performance. *International Journal of Production Research*, 55(15), 4481–4515. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1266406>.
- Damanik, O.A.R., Afma, V.M. and Siboro, B.A.H. (2017) ‘Analisa pendekatan Lean Manufacturing dengan metode VSM (Value Stream Mapping) untuk mengurangi pemborosan waktu (studi kasus UD Almaida)’, *Profisiensi: Jurnal Program Studi Teknik Industri*, 5(1), pp. 1–6.
- Dangelico, R. M., & Pujari, D. (2010). Mainstreaming green product innovation: Why and how companies integrate environmental sustainability. *Journal of Business Ethics*, 95(3), 471–486. <https://doi.org/10.1007/s10551-010-0434-0>.
- Dangelico, R. M., & Vocalelli, D. (2017). “Green Marketing”: An analysis of definitions, dimensions, and relationships with stakeholders. *Business Strategy and the Environment*, 26(4), 457–475. <https://doi.org/10.1002/bse.1933>.

- Dora, M., et al. (2013). Operational performance and critical success factors of Lean Manufacturing. *International Journal of Production Research*, 51(11), 3301–3315.
- Dornfeld D. A. (Ed.). (2013): Green Manufacturing: Fundamentals and Applications, New York: Springer Science Business Media.
- Dornfeld, D. A. (2014): Moving towards green and sustainable manufacturing, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 1(1), 63–66.
- D. Pujotomo, and R. Armanda, "Penerapan Lean Manufacturing Untuk Mereduksi Waste Di Industri Skala Ukm," *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, vol. 6, no. 3, pp. 137-146, Aug. 2012. <https://doi.org/10.12777/jati.6.3.137-146>.
- Dües, C.M., Tan, K.H. and Lim, M. (2013) Green as the New Lean: How to Use Lean Practices as a Catalyst to Greening Your Supply Chain. *Journal of Cleaner Production*, 40, 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.023>.
- Farida, M.E. and Azizah, F.N. (2022) 'Implementasi Lean Manufacturing untuk mengurangi waste pada produksi Pivot Piece (studi kasus PT Tri Jaya Teknik Karawang)', *String (Satuan Tulisan dan Inovasi Teknologi)*, 6(3), pp. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30998/string.v6i3.11118>.
- Fahimnia, B., Sarkis, J. and Eshragh, A. (2015), "A tradeoff model for green supply chain planning: a leanness-versus-greenness analysis", *Omega*, Vol. 54, pp. 173-190.
- Fernando, Y. C. & Noya, S., 2014. Optimasi Lini Produksi dengan Value Stream Mapping dan Value Stream Analysis Tools, *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*. Volume 13, pp. 125 133.
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>.
- Gracanin, D., Buchmeister, B., & Lalic, B. (2015). Using value stream mapping tool for production process improvement: A case study. *Procedia Engineering*, 100, 1505–1513. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.550>.
- Hallam, C. and Contreras, C. (2016), "Integrating lean and green management", *Management Decision*, Vol. 54 No. 9, pp. 2157-2187. <https://doi.org/10.1108/MD-04-2016-0259>.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations Management* (13th ed.). Pearson.
- Ikatinasari, Zulfa Fitri; Kosasih, Kosasih. Waste Elimination to Increase Productivity in Small Medium Industries Kembangan West Jakarta. In: *ICCD*. 2021. p. 308-311.
- Jabbour, C. J. C., Santos, F. C. A., & Nagano, M. S. (2013). Green lean approach: Linking lean manufacturing and environmental practices in a Brazilian context. *International Journal of Production Economics*, 146(1), 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.07.010>.
- Jeong, B. K., Ji, S.-Y., & Jeong, D. H. (2022). Lean IT with Value Stream Mapping Analysis: A Case Study in Software Development Life Cycle Process. *Information Resources Management Journal*, 35(1), 18. <https://doi.org/10.4018/IRMJ.291527>
- King, A.A. and Lenox, M.J. (2001), "Lean and green? An empirical examination of the relationship between lean production and environmental performance", *Production and Operations Management*, Vol. 10, pp. 244-256.
- Klimecka-Tatar, D. (2017). Value Stream Mapping as Lean Production Tool to Improve the Production Process Organization – Case Study in Packaging Manufacturing. *Production Engineering Archives*, 17, 40–44. <https://doi.org/10.30657/pea.2017.17.09>
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.
- Liker, J. K., & Meier, D. (2006). *The Toyota Way Fieldbook: A Practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps*. New York, London: McGraw-Hill.

- Luthra, S., Garg, D., & Haleem, A. (2016). The impacts of critical success factors for implementing green supply chain management towards sustainability: An empirical investigation of Indian automobile industry. *Journal of Cleaner Production*, 121, 142–158. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.095>.
- Marodin, G. A., Saurin, T. A., Tortorella, G. L., & Denicol, J. (2016). How context factors influence lean production practices in manufacturing cells. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 87, 663–674. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8469-5>.
- Mollenkopf, D., Stolze, H., Tate, W. L., & Ueltschy, M. (2010). Green, lean, and global supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40(1/2), 14–41. <https://doi.org/10.1108/09600031011018028>.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System, Beyond Large-Scale Production*. Productivity, Inc.
- Romero, L. F., & Arce, A. (2017). Applying value stream mapping in manufacturing: A systematic literature review. *ResearchGate*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/320492989>.
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA*. Lean Enterprise Institute.
- Rüttimann, B. G., & Stöckli, M. T. (2016). Lean and Industry 4.0. *Journal of Lean Systems*, 1(1), 1–16.
- Sahoo, S. (2021). Lean manufacturing practices and performance: The role of social and technical factors. *Production Planning & Control*, 32(5), 409–422. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1720909>.
- Sakdiyah, S. H., Eltivia, N., & Afandi, A. (2022). Root Cause Analysis Using Fishbone Diagram: Company Management Decision Making. *Journal of Applied Business, Taxation and Economics Research*, 1(6), 566–576. <https://doi.org/10.54408/jabter.v1i6.103>.
- Shou, W., Wang, J., Wu, P., Wang, X., & Chong, H.-Y. (2017). A cross-sector review on the use of value stream mapping. *International Journal of Production Research*, 55(13), 3906–3928. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1311031>.
- Su, C. W., Li, Y., Tao, R., & Li, W. (2013). Green production in China: Perspective based on social responsibility and environmental efficiency. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(9), 1785–1794. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.07.001>.
- Tilina, D., Zapciu, M. and Bendic, V. (2014), “The link between lean and green manufacturing—a way to reach sustainable development”, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 656, pp. 534-541, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.656.534.
- Tortorella, G. L., & Fettermann, D. C. (2018). Implementation of lean manufacturing and situational factors: A systematic literature review. *Production Planning & Control*, 29(15), 1224–1236. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1491633>.
- Tortorella, G. L., Miorando, R., & Marodin, G. A. (2021). Lean implementation: A maturity model for performance measurement. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(6), 1307–1330. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2019-0312>.
- Tyagi, S., Choudhary, A., Cai, X., & Yang, K. (2015). Value stream mapping to reduce lead-time of a product development process. *International Journal of Production Economics*, 160, 202–212. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.002>.
- Vinodh, S., Arvind, K. R., & Somnaathan, M. (2015). Application of value stream mapping in an Indian camshaft manufacturing organization. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 26(1), 113–127. <https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2013-0163>.

- Womack, J. P., Jones, D. T., and Roos, D. (1990). *The Machine that Changed the World*. New York: Rawson Associates.
- Wrahatnolo, A.D., Suryadhini, P.P. and Iqbal, M. (2015) 'Penerapan konsep Lean Manufacturing untuk rancangan usulan perbaikan meminimasi waste defect pada produksi cover buku proyek Grafindo Media Pratama di PT. Karya Kita', in *eProceedings of Engineering*, pp. 4475–4482.
- Zhu, Q., Sarkis, J., & Lai, K. H. (2010). Green supply chain management innovation diffusion and its relationship to organizational improvement: An ecological modernization perspective. *Journal of Engineering and Technology Management*, 29(1), 168–185. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2011.09.010>.

LAMPIRAN

- Proses tahapan aktivitas *Prepare Mold*



- Penyimpanan *Mold* pada *Prepare Mold*





- Proses tahapan aktivitas *Prepare Material*



- Proses tahapan aktivitas *Vacuuming*





- Proses tahapan *Fiber Application*





- Proses tahapan *Resin Application*





- Proses tahapan *Initial Finishing*







- Proses tahapan *Final Finishing*



- Proses tahapan *Packaging*

