

Methods Optimization of the Production Process Using Green Value Stream Mapping (GVSM) and System Simulation: A Case Study of PT Campina Ice Cream Industry Tbk

[Optimalisasi Proses Produksi Dengan Metode Green Value Stream Mapping (Gvsm) Dan Simulasi Sistem: Studi Kasus PT. Campina Ice Cream Industry Tbk]

Muhammad Nur Ramadhan¹⁾, Indah Apriliana Sari Wulandari²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: indahapriliana@umsida.ac.id

Abstract.. The production process in the ice cream industry is complex and energy-intensive, leading to potential operational and environmental waste. The primary issue examined in this study is how to enhance the production process at PT Campina Ice Cream Industry Tbk in order to minimize waiting time and improve environmental performance. This research utilizes the Green Value Stream Mapping (GVSM) approach to analyze the current production flow and identify both operational and environmental waste at each stage. Based on the findings, a proposed future state is developed that emphasizes increased efficiency and reduced environmental impact. The effectiveness of the improvement scenarios is evaluated using system simulation through discrete-event simulation implemented in Python. The results indicate that GVSM effectively identifies bottlenecks, non-value-added activities, and processes with high energy consumption. Simulation results of the proposed scenarios show a reduction in waiting time, decreased work in process (WIP), and improved production flow efficiency and environmental performance. In conclusion, the integration of GVSM and system simulation is an effective approach for optimizing production processes while supporting sustainability in the ice cream manufacturing industry.

Keywords - Green Value Stream Mapping (GVSM), system simulation, lean-green manufacturing, ice cream industry.

Abstrak. Proses produksi di industri es krim memiliki sistem yang kompleks secara energi sehingga menyebabkan pemborosan secara operasional dan lingkungan. Kendala pokok pada kajian ini adalah bagaimana cara paling efisien memproduksi es krim di PT Campina Ice Cream Industry Tbk guna menurunkan durasi tunggu dan mengoptimalkan kinerja lingkungan. Kajian ini memanfaatkan metode Green Value Stream Mapping (GVSM) guna menguraikan kondisi aktual serta menganalisis pemborosan operasional dan *green waste* pada setiap proses produksi. Kemudian disusun kondisi perbaikan (*future state*) yang berfokus pada pengoptimalan efisiensi dan pengurangan dampak lingkungan. Guna mengkaji efisiensi usulan perbaikan, dimanfaatkan simulasi sistem berbasis *discrete-event simulation* menggunakan Python. Hasil kajian mengemukakan bahwa penerapan GVSM dapat menganalisis titik *bottleneck*, aktivitas *non-value added*, serta proses dengan konsumsi energi tinggi. Hasil simulasi sistem pada skenario perbaikan mengindikasikan penurunan waktu antre, reduksi *work in process* (WIP), serta efisiensi aliran produksi dan kinerja lingkungan yang lebih optimal. Simpulan kajian ini menunjukkan bahwa integrasi GVSM dan simulasi sistem efektif digunakan sebagai pendekatan optimalisasi proses produksi yang berorientasi pada efisiensi dan keberlanjutan di industri es krim.

Kata Kunci - Green Value Stream Mapping (GVSM), simulasi sistem, lean-green manufacturing, industri es krim.

I. PENDAHULUAN

Industri makanan dan minuman di Indonesia mengalami pertumbuhan yang signifikan dalam beberapa dekade terakhir, seiring dengan meningkatnya permintaan konsumen akan produk berkualitas dan beragam. Saat ini sektor yang memiliki perkembangan signifikan adalah industri es krim, yang berarti produsen diharuskan mempertahankan konsistensi mutu, ketepatan waktu produksi, serta operasional yang sangat efisien supaya dapat bersaing di tingkat nasional. Oleh karena itu, optimalisasi proses produksi merupakan aspek strategis guna menjaga posisi kompetitif entitas serta mendukung prinsip keberlanjutan (*sustainability*). Integrasi strategi diversifikasi yang inovatif terbukti mampu memperluas pangsa pasar sekaligus memenuhi preferensi konsumen yang semakin dinamis[1].

PT Campina Ice Cream Industry Tbk adalah salah satu produsen es krim yang memiliki citra baik di Indonesia dan telah berdiri sejak empat dekade yang lalu. Entitas ini menciptakan *branding* yang sangat baik di pasar domestik melalui aneka produk es krim yang memiliki kualitas tinggi dan telah dikenal luas oleh konsumen dari berbagai usia. Melalui koneksi distribusi di tingkat nasional serta proses produksi dengan skala besar, Campina menciptakan rantai pasok yang kompleks mulai dari hulu hingga hilir. Pada kegiatan operasionalnya, entitas ini bergantung pada sistem pendinginan, pengolahan, serta penyimpanan beku yang membutuhkan konsumsi energi tinggi. Proses produksi yang sangat kompleks serta kebutuhan energi yang tinggi membuat perusahaan ini harus mempunyai sistem produksi yang efisien, bukan sekadar guna menjaga mutu produk supaya tetap konsisten, namun lebih dari itu, yakni guna menekan biaya operasional yang memiliki potensi peningkatan sejalan dengan pertumbuhan skala produksi. Selain itu, efisiensi proses produksi juga berperan krusial guna menangani persaingan industri es krim yang semakin kompetitif, di mana diferensiasi produk, tingkat kecepatan distribusi, serta pengolahan sumber daya menjadi tombak kesuksesan untuk bertahan di pasar. Maka dari itu, proses produksi yang optimal, penekanan biaya produksi, serta penerapan prinsip *lean and green manufacturing* menjadi pedoman dalam menjaga keberlanjutan operasional dan daya saing pada bidang ini. Penerapan model eco-design yang mengintegrasikan efisiensi sumber daya dengan prinsip lean production memungkinkan perusahaan untuk tidak hanya mereduksi limbah operasional, tetapi juga mencapai keunggulan kompetitif yang berkelanjutan.

Dalam operasionalnya, PT Campina Ice Cream Industry Tbk menghadapi durasi tunggu yang panjang, aliran material dan informasi yang belum optimal, serta pemakaian mesin yang intensif sehingga menimbulkan penumpukan WIP, *lead time* panjang, dan konsumsi energi tinggi. Kondisi ini tidak hanya menurunkan efisiensi produksi tetapi juga berdampak negatif terhadap lingkungan, termasuk meningkatnya emisi dan limbah. Beberapa perbaikan internal memang telah dilakukan, tetapi perusahaan belum memiliki pemetaan komprehensif mengenai pemborosan operasional maupun lingkungan secara menyeluruh. Permasalahan tersebut berdampak pada penumpukan WIP, rendahnya *throughput*, peningkatan konsumsi energi pada *cold storage*, serta timbulan limbah produksi yang berpotensi meningkatkan biaya operasional. Oleh karena itu diperlukan analisis lebih dalam untuk melihat titik-titik kritis proses produksi yang berpotensi menimbulkan inefisiensi dan peningkatan biaya[2].

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa permasalahan utama yang dihadapi adalah:

1. Belum adanya pemetaan komprehensif mengenai *waste* operasional maupun *green waste* pada proses produksi PT Campina Ice Cream Industry Tbk.
2. Belum tersedianya evaluasi dinamis terhadap usulan perbaikan melalui simulasi sistem.
3. Kondisi ini menyebabkan perusahaan belum memiliki gambaran yang akurat mengenai titik kritis proses (*bottleneck*), besaran pemborosan, konsumsi energi yang tidak efisien, serta potensi peningkatan performa produksi apabila dilakukan perubahan alur proses.

Untuk mengatasi masalah tersebut, digunakan Value Stream Mapping (VSM) untuk memvisualisasikan aliran material dan informasi, mengidentifikasi aktivitas bernilai tambah (*value added*) dan tidak bernilai tambah (*non-value added*), serta mengukur *cycle time*, *waiting time*, dan WIP. Lebih jauh, Green Value Stream Mapping (GVSM) mengembangkan VSM dengan menambahkan indikator kinerja lingkungan, seperti energi, air, dan limbah, sehingga setiap perbaikan dapat menyeimbangkan efisiensi operasional dan keberlanjutan lingkungan[3]. GVSM juga memungkinkan integrasi prinsip *lean* dan *green manufacturing*, mendorong pengurangan *waste*, optimalisasi aliran proses, serta perbaikan durasi tunggu pada proses *Aging* untuk menekan konsumsi energi mesin dan *green waste*. Dengan pendekatan ini, perusahaan dapat merencanakan perbaikan proses secara strategis, efisien, dan berkelanjutan.

Dalam konteks manufaktur yang semakin menekankan aspek keberlanjutan, *lean* tradisional memiliki keterbatasan karena tidak mampu menangkap *green waste* seperti konsumsi energi, emisi gas rumah kaca, dan limbah material. Untuk menjawab kebutuhan tersebut, perusahaan mengintegrasikan konsep *green manufacturing* ke dalam penerapan *lean manufacturing* dengan menambahkan pengukuran konsumsi energi, emisi gas rumah kaca, dan limbah material sebagai indikator kinerja untuk mengurangi *green waste* secara berkelanjutan dan mengembangkan pendekatan *Lean-Green Manufacturing* yang memadukan efisiensi operasional dengan metrik lingkungan melalui alat seperti Green Value Stream Mapping (GVSM)[4].

Penelitian di Indonesia menunjukkan bahwa konsep *lean-green* semakin diterima dan diimplementasikan di industri manufaktur. Vonny Adelia (2023) menerapkan *Lean* dan *Green VSM* di perusahaan manufaktur untuk mengidentifikasi *waste* tradisional dan dampak lingkungan seperti transportasi, *waiting*, dan *defect*. Dalam penelitian mereka, GVSM digunakan bersama *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk memprioritaskan perbaikan berdasarkan risiko operasional dan dampak lingkungan. Studi lain yang relevan datang dari sektor UKM, menerapkan *lean manufacturing* dan *green manufacturing* di UKM tekstil dan berhasil merancang peta lingkungan masa depan (*future environmental stream mapping*) dengan target mengurangi *cycle time* sekaligus mengelola limbah padat dan emisi[5]. Penelitian ini menunjukkan bahwa *lean hijau* (*lean green*) bukan hanya relevan di perusahaan besar tetapi juga berdampak signifikan di skala usaha kecil-menengah. Selain itu, Prabowo & Suryanto (2024) dalam studi mereka di PT. Sekar Lima Pratama menggunakan VSM untuk mengidentifikasi *waste* dan diintegrasikan dengan analisis lingkungan seperti *Life Cycle Assessment* (LCA) dan strategi 6R (*Reduce, Reuse, Recycle, Remanufacture, Recovery, Redesign*). Hasilnya menunjukkan potensi penghematan ekologis yang besar sambil menjaga efisiensi operasional[6].

Untuk memperluas analisis VSM agar mencakup aspek lingkungan, digunakan Green Value Stream Mapping (GVSM), yang menambahkan indikator kinerja lingkungan seperti konsumsi energi, penggunaan air, dan timbulan limbah. GVSM memungkinkan integrasi prinsip *lean* dan *green manufacturing* sehingga fokus tidak hanya pada efisiensi operasional tetapi juga pengurangan dampak lingkungan. Selain itu, simulasi sistem, khususnya *discrete-event simulation* (DES), digunakan untuk mengevaluasi dampak perbaikan secara kuantitatif sebelum implementasi di lapangan. DES memodelkan variasi waktu proses, sistem *batch*, kapasitas *buffer*, dan potensi gangguan mesin, sehingga berbagai alternatif pengaturan waktu, aliran material, dan kapasitas mesin dapat diuji untuk menurunkan *lead time*, menyeimbangkan WIP, dan mengurangi konsumsi energi. Analisis ini menjadi dasar penyusunan GVSM *Future State* dan strategi perbaikan proses yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Integrasi komprehensif ini memungkinkan perusahaan untuk memitigasi potensi *trade-off* antar sumber daya, seperti yang terlihat pada pergeseran teknologi energi di mana efisiensi operasional harus diimbangi dengan analisis jejak emisi karbon yang akurat[7].

Melalui simulasi, berbagai skenario perbaikan seperti pengurangan waktu tunggu, penyesuaian ukuran *batch*, atau peningkatan efisiensi peralatan dapat dievaluasi pengaruhnya terhadap *lead time*, *work in process* (WIP), *throughput*, serta konsumsi energi sebelum implementasi dilakukan di lapangan. Pendekatan terpadu antara GVSM sebagai alat identifikasi *waste* dan DES sebagai alat evaluasi kinerja sistem ini sangat relevan diterapkan pada industri dengan proses kompleks dan intensif energi seperti industri es krim, yang melibatkan tahapan pendinginan, pencampuran, aerasi, pemadatan, dan penyimpanan dingin. Dengan demikian, kombinasi *lean-green* berbasis GVSM yang diperkuat melalui simulasi DES mampu memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai potensi pengurangan *waste* serta peningkatan efisiensi operasional dan lingkungan secara keseluruhan. Selain itu, penerapan metodologi ini memungkinkan perusahaan untuk memetakan konsumsi sumber daya secara lebih presisi, seperti efisiensi penggunaan listrik dan air, yang secara langsung berkontribusi pada pencapaian target produktivitas hijau[8].

II. METODE

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di PT Campina Ice Cream Industry Tbk pada periode April–Mei 2026 dengan tujuan untuk menyusun Green Value Stream Mapping (GVSM) sebagai alat analisis kinerja operasional dan keberlanjutan lingkungan dalam proses produksi es krim. Ruang lingkup penelitian difokuskan pada produk es krim varian cup dengan *batch size* 1.000 unit per *batch* pada lini produksi yang sama. Pemilihan produk ini didasarkan pada volume produksi tertinggi dan kontribusinya terhadap pendapatan perusahaan. Kapasitas mesin pada setiap stasiun kerja adalah: Mixing 4 unit/jam, Aging 6 unit/jam, dan Filling 8 unit/jam.

B. Pendekatan Penelitian

Pendekatan yang digunakan bersifat deskriptif-analitis, di mana GVSM diterapkan untuk memetakan kondisi aktual (*current state*) dan mengidentifikasi pemborosan atau aktivitas yang tidak menambah nilai, sekaligus merancang kondisi usulan perbaikan (*future state*) yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Selain itu, penelitian ini memanfaatkan simulasi sistem berbasis *discrete-event simulation* (DES) menggunakan bahasa pemrograman Python sebagai alat evaluasi dampak perbaikan yang diusulkan secara kuantitatif sebelum implementasi di lapangan. Proses simulasi ini memungkinkan perbandingan kinerja sistem secara sistematis antara model eksisting dan skenario alternatif untuk memastikan efisiensi yang optimal **Invalid source specified..**

C. Data Penelitian

Data penelitian diperoleh melalui:

1. Observasi langsung terhadap aliran proses produksi untuk memahami aliran material dan informasi.
2. Pengukuran waktu proses (*time study*) pada setiap tahapan utama, yaitu Mixing, Aging, dan Filling, untuk memperoleh data *cycle time*, *waiting time*, dan *work in process* (WIP) secara akurat. Pengukuran dilakukan sebanyak empat kali pada setiap proses.
3. Wawancara dengan pihak-pihak terkait untuk memperoleh informasi tambahan mengenai prosedur operasional, kendala produksi, serta praktik perusahaan terkait pengelolaan energi dan limbah.
4. Data sekunder berupa dokumentasi perusahaan, termasuk standar operasional prosedur (SOP), kapasitas produksi, *downtime* mesin, *layout* fasilitas, tingkat cacat produk, serta penggunaan energi, air, dan timbulan limbah.

D. Metode Analisis

Analisis data dilakukan dalam beberapa tahap:

1. Analisis Lean

Pendekatan *Lean* digunakan untuk mengidentifikasi pemborosan (*waste*) yang terjadi pada setiap tahapan proses dengan klasifikasi:

- Value Added (VA): Aktivitas yang secara langsung mengubah karakteristik produk dan memberikan nilai dari perspektif pelanggan.
- Non-Value Added (NVA): Aktivitas yang tidak menambah nilai produk dan sebaiknya dieliminasi.
- Necessary Non-Value Added (NNVA): Aktivitas yang tidak menambah nilai tetapi diperlukan untuk mendukung proses produksi.

2. Green Value Stream Mapping (GVSM)

GVSM dikembangkan dari VSM dengan menambahkan indikator kinerja lingkungan:

- Konsumsi energi (kWh per unit produksi)
- Penggunaan air (liter per unit produksi)
- Timbulan limbah (kg per unit produksi)
- Emisi CO₂ (kg CO₂-eq per unit produksi)

Indikator *lean* yang diukur meliputi:

- *Cycle Time* (CT): Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus proses.
- *Waiting Time* (WT): Waktu tunggu antar proses.
- *Work in Process* (WIP): Jumlah persediaan dalam proses.
- *Lead Time* (LT): Total waktu dari bahan baku hingga produk jadi (CT + WT).

3. Simulasi Sistem

Simulasi *discrete-event* dilakukan menggunakan Python dengan model yang mencakup:

- Entity: Unit produk yang mengalir melalui sistem.
- Resource: Mesin dan operator pada setiap stasiun kerja.
- Queue: Antrian sebelum setiap proses.
- Process Logic: Aliran produk dari Mixing → Aging → Filling.

- Input Distribution: Distribusi waktu proses berdasarkan data aktual.
 - Output Performance Measures: *Lead time*, *throughput*, WIP, dan konsumsi energi.
- Model simulasi divalidasi dengan membandingkan output *current state* dengan data aktual perusahaan. Replikasi dilakukan sebanyak 30 kali untuk memastikan stabilitas hasil dengan *confidence interval* 95%.

E. Alur Penelitian

Alur penelitian dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Alur Penelitian

Gambar 1 menunjukkan alur penelitian mulai dari identifikasi masalah, pengumpulan data, analisis GVSM Current State, identifikasi waste dan green waste, perumusan skenario perbaikan, simulasi sistem, hingga evaluasi dan rekomendasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Proses Produksi

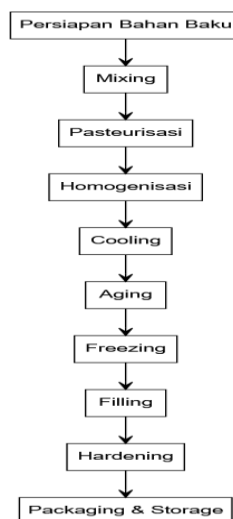
Penelitian ini dilakukan pada proses produksi es krim PT Campina Ice Cream Industry Tbk yang terdiri atas tiga tahapan utama, yaitu *Mixing*, *Aging*, dan *Filling*. Ketiga tahapan tersebut membentuk aliran produksi terintegrasi dari pencampuran bahan baku hingga pengisian produk akhir, dengan karakteristik *cycle time*, *waiting time*, dan *work in process (WIP)* yang berbeda pada setiap proses. Variabel-variabel tersebut menjadi titik fokus dalam identifikasi pemborosan (*waste*) yang menghambat efisiensi operasional dan menurunkan tingkat produktivitas perusahaan **Invalid source specified..**

Tabel 1. Data Waktu Proses Produksi (*Time Study*)

Proses	Obs.1 (detik)	Obs. 2 (detik)	Obs. 3 (detik)	Obs. 4 (detik)	Rata-rata
<i>Mixing</i>	310	295	300	305	302.5
<i>Aging</i>	1650	1600	1620	1630	1625
<i>Filling</i>	45	40	42	43	42.5

Identifikasi Awal Proses Produksi

Uraian Tahapan Proses Produksi

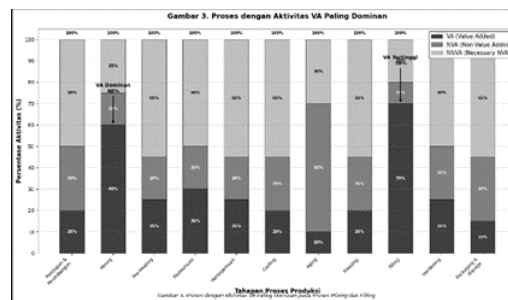


Gambar 2. Uraian Tahapan Proses Produksi

Gambar 2 menunjukkan uraian lengkap tahapan proses produksi es krim mulai dari persiapan bahan baku, *mixing*, *pasteurisasi*, *homogenisasi*, *cooling*, *aging*, *freezing*, *filling*, *hardening*, hingga *packaging* dan *storage*.

2. Klasifikasi Aktivitas Produksi

Proses produksi es krim terdiri dari beberapa tahap: Persiapan & Penimbangan, *Mixing*, *Pre-Heating*, *Pasteurisasi*, *Homogenisasi*, *Cooling*, *Aging*, *Freezing*, *Filling*, *Hardening*, serta *Packaging & Storage*. Tahap *Mixing* dan *Filling* didominasi aktivitas bernilai tambah (*VA*) karena langsung memengaruhi kualitas produk, sedangkan *Aging* lebih banyak aktivitas menunggu (*NVA*) yang meningkatkan *lead time*. Tahapan lain seperti Persiapan, *Pre-Heating*, *Pasteurisasi*, *Homogenisasi*, *Cooling*, *Freezing*, *Hardening*, dan *Packaging & Storage* sebagian besar terdiri dari aktivitas pendukung atau *NNVA*, yang tetap diperlukan guna menjaga kestabilan proses.



Gambar 3. Proses dengan Aktivitas VA Paling Dominan

Gambar 3 menunjukkan distribusi aktivitas VA, NVA, dan NNVA pada setiap tahapan proses produksi, di mana *Mixing* dan *Filling* memiliki dominasi VA tertinggi.

Analisis *Lean* pada Proses Produksi

Pendekatan *Lean* digunakan untuk mengidentifikasi pemborosan (*waste*) pada setiap tahapan produksi. Fokus utamanya adalah meningkatkan efisiensi dengan mengurangi aktivitas *Non-Value Added (NVA)* dan mempertahankan aktivitas *Value Added (VA)* yang memberi nilai bagi produk. Selain itu, penerapan prinsip *pull system* memungkinkan perusahaan untuk menyelaraskan aliran material dan informasi secara lebih presisi guna menekan pemborosan sumber daya secara berkelanjutan **Invalid source specified..**

Aktivitas dikategorikan sebagai *Value Added (VA)* apabila aktivitas tersebut secara langsung memberikan perubahan atau nilai pada produk, sedangkan aktivitas yang tidak menambah nilai (*Non-Value Added/NVA*) mencakup kegiatan yang hanya mengonsumsi waktu, tenaga, atau sumber daya tanpa menambah kualitas atau nilai produk. Selain itu, aktivitas yang dikategorikan sebagai *Necessary Non-Value Added* juga diidentifikasi sebagai kegiatan pendukung yang tetap diperlukan untuk menjaga kelangsungan operasional meskipun tidak memberikan kontribusi langsung terhadap peningkatan nilai produk bagi konsumen **Invalid source specified..**

Tabel 2. Klasifikasi Aktivitas VA dan NVA

Proses	Aktivitas	Kategori
<i>Mixing</i>	Pencampuran bahan	VA
<i>Aging</i>	Menunggu reaksi	NVA
<i>Filling</i>	Pengisian produk	VA

Berdasarkan Tabel 2, analisis *Lean* menunjukkan bahwa proses *Mixing* termasuk VA karena mengubah bahan baku menjadi adonan homogen, meskipun masih terdapat *waiting time*. Proses *Aging* lebih tepat dikategorikan sebagai *Necessary Non-Value Added (NNVA)* karena diperlukan untuk menjaga kualitas es krim, tetapi tetap menimbulkan *waiting waste* dan potensi penumpukan *WIP*. Sementara itu, proses *Filling* termasuk VA karena pengisian produk ke kemasan menambah nilai akhir, namun penggunaan mesin intensif dan waktu tunggu berpotensi menimbulkan *green waste*.

Tabel 3. Identifikasi *Waste* dan *Green Waste*

Proses	Jenis Waste	Kategori	Keterangan
<i>Mixing</i>	<i>Overprocessing</i>	Waste operasional	Waktu proses relatif lama (rata-rata 302.5 detik) dibandingkan standar proses 250 detik
<i>Aging</i>	<i>Waiting</i>	Waste waktu	Waktu tunggu tinggi (rata-rata 300 detik)
<i>Filling</i>	<i>Energy Waste</i>	Green waste	Konsumsi energi mesin 2.5 kWh per batch pada waktu idle

Proses produksi menunjukkan pemborosan utama berupa *overprocessing* pada *Mixing*, *waiting waste* pada *Aging*, serta *green waste* pada *Filling* akibat konsumsi energi saat mesin *idle*. Identifikasi *waste* dan *green waste* ini menjadi dasar perbaikan melalui pengurangan *overprocessing*, penurunan *waiting waste*, dan optimalisasi energi untuk meningkatkan *Process Cycle Efficiency* secara keseluruhan

Value Stream Mapping (VSM) Current State

Analisis ini mencakup tiga indikator utama: *cycle time* (waktu proses tiap tahapan), *waiting time* (waktu tunggu antarproses), dan *work in process (WIP)* atau persediaan dalam proses.

Tabel 4. Rekapitulasi VSM Current State

Proses	Cycle Time (detik)	Waiting Time (detik)	WIP (unit)	VA/NVA
<i>Mixing</i>	310	120	10	VA
<i>Aging</i>	1650	300	20	NNVA
<i>Filling</i>	45	90	8	VA
Total	2005	510	38	—

Dari Tabel 4 terlihat bahwa proses *Aging* memiliki *cycle time* dan *waiting time* tertinggi, yaitu 1.650 detik dan 300 detik. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses *Aging* berpotensi menjadi *bottleneck*, yang dapat memperlambat aliran produksi secara keseluruhan dan menumpuk *WIP* di stasiun tersebut. Sebaliknya, proses *Mixing* dan *Filling* memiliki waktu proses lebih singkat, namun tetap menyumbang akumulasi *WIP* akibat ketidakseimbangan aliran antarstasiun.

Tabel 5. Perhitungan Lead Time VSM Current State

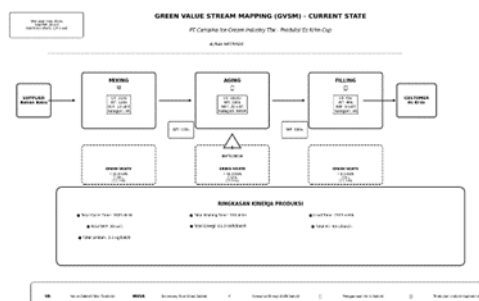
Keterangan	Waktu (detik)
Total Cycle Time	2005
Total Waiting Time	510
Lead Time	2515

Berdasarkan Tabel 5, total *lead time* produksi mencapai 2.515 detik, yang merupakan akumulasi dari total *cycle time* sebesar 2.005 detik dan total *waiting time* 510 detik. Nilai *lead time* yang cukup tinggi ini menandakan bahwa aliran proses masih didominasi oleh aktivitas *non-value added*, khususnya pada proses *Aging*.

Green Value Stream Mapping (GVSM) Current State

Green Value Stream Mapping (GVSM) Current State disusun untuk memetakan kondisi aktual proses produksi PT Campina Ice Cream Industry Tbk berdasarkan observasi lapangan dan perhitungan waktu baku (*standard time*). Pemetaan ini menggambarkan aliran proses dari *Mixing*, *Aging*, hingga *Filling*, sekaligus mengidentifikasi aktivitas bernilai tambah (*value added/VA*), tidak bernilai tambah (*non-value added/NVA*), waktu tunggu (*waiting time*), jumlah *work in process (WIP)*, serta potensi pemborosan (*waste*) yang memengaruhi efisiensi operasional dan lingkungan. Integrasi aspek keberlanjutan ini memungkinkan identifikasi hambatan kritis yang menghambat produktivitas sekaligus meminimalkan dampak ekologis melalui optimalisasi sumber daya[9].

Oleh karena itu, seluruh proses dianalisis untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai aliran material, waktu proses, *work in process (WIP)*, serta potensi pemborosan operasional dan lingkungan pada setiap tahapan produksi. Selanjutnya, data yang terkumpul dari seluruh tahapan tersebut diolah untuk menghitung rasio aktivitas bernilai tambah serta beban lingkungan spesifik, yang kemudian dijadikan basis dalam perancangan peta kondisi masa depan (*future state*)[10].



Gambar 4. GVSM Current State

Gambar 4 menunjukkan pemetaan *Green Value Stream Mapping (GVSM) Current State* yang menggambarkan aliran material dan informasi pada proses produksi es krim di PT Campina Ice Cream Industry Tbk. Pemetaan ini mencakup data *cycle time*, *waiting time*, *WIP*, konsumsi energi, penggunaan air, dan timbulan limbah pada setiap tahapan proses.

Proses	<i>Cycle Time</i> (detik)	<i>Waiting Time</i> (detik)	<i>WIP</i> (unit)	Energi (kWh/batch)	Air (L/batch)	Limbah (kg/batch)	VA/NVA
<i>Mixing</i>	310	120	10	15.5	50	2.0	VA
<i>Aging</i>	1650	300	20	42.0	10	0.5	NNVA
<i>Filling</i>	45	90	8	8.5	5	1.0	VA
Total	2005	510	38	66.0	65	3.5	—
<i>Lead Time</i>	2515						

Tabel 6. *GVSM Current State* Proses Produksi

Berdasarkan Tabel 6, total *lead time* proses produksi pada kondisi aktual mencapai 2.515 detik, terdiri dari 2.005 detik *cycle time* dan 510 detik *waiting time*. Nilai ini menunjukkan bahwa aliran proses masih didominasi aktivitas *non-value added (NVA)*, khususnya pada proses *Aging*, yang menimbulkan waktu tunggu tinggi, menumpuk *WIP*, dan menurunkan kapasitas produksi. Analisis ini menjadi dasar untuk mengidentifikasi *bottleneck* dan merancang strategi perbaikan guna meningkatkan efisiensi sistem produksi. Temuan ini sejalan dengan penelitian [2] dan [7] yang menyatakan bahwa *waiting waste* merupakan salah satu pemborosan dominan pada proses produksi pangan, sehingga pengendalian waktu tunggu menjadi fokus utama dalam upaya optimalisasi produksi.

Dari perspektif lingkungan, *GVSM Current State* menunjukkan konsumsi energi tertinggi pada proses *Aging* sebesar 42 kWh/batch akibat operasi mesin pendingin selama waktu tunggu panjang. Proses *Mixing* juga mengonsumsi energi 15,5 kWh/batch karena durasi operasi *mixer* yang lama. Selain itu, penggunaan air tertinggi terjadi pada *Mixing* sebesar 50 L/batch, sedangkan limbah padat berasal dari *Mixing* sebesar 2,0 kg/batch dan *Filling* sebesar 1,0 kg/batch akibat kemasan rusak dan sisa bahan. Fenomena ini bertentangan dengan prinsip *lean and green manufacturing*, yang menekankan pengurangan pemborosan dan optimalisasi sumber daya untuk mencapai produksi yang efisien sekaligus ramah lingkungan [8].

Secara keseluruhan, temuan pada *GVSM Current State* menunjukkan bahwa permasalahan utama dalam proses produksi terletak pada Tingginya aktivitas *non-value added (NVA)*, khususnya *waiting waste* yang dominan terjadi pada proses *Aging*. Pemborosan energi yang signifikan pada proses *Aging* (42 kWh/batch) dan *Mixing* (15.5 kWh/batch), Penggunaan air yang tinggi pada proses *Mixing* (50 L/batch), Timbulan limbah pada proses *Mixing* (2.0 kg/batch) dan *Filling* (1.0 kg/batch). Temuan ini sejalan dan konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penerapan integrasi pendekatan *lean* dan *green* mampu mengidentifikasi pemborosan operasional sekaligus menilai dampak lingkungan secara sistematis [9].

Identifikasi Waste dan Green Waste

Waste yang dianalisis mencakup aktivitas *non-value added (NVA)* seperti *waiting time*, *overprocessing*, *excess motion*, dan akumulasi *WIP*, serta *green waste* berupa konsumsi energi berlebihan, pemanfaatan air tidak efisien, atau timbulan limbah.

Tabel 7. Identifikasi Waste dan Green Waste Proses Produksi

Proses	Jenis Waste	Kategori	Keterangan	Kuantitas	Satuan
<i>Mixing</i>	<i>Overprocessing</i>	Waste Operasional	Waktu proses 302.5 detik > standar 250 detik	52.5	detik/batch
<i>Aging</i>	<i>Waiting</i>	Waste Waktu	Waktu tunggu 300 detik	300	detik/batch
<i>Aging</i>	<i>Energy Waste</i>	<i>Green Waste</i>	Konsumsi energi 42 kWh/batch	42	kWh/batch
<i>Filling</i>	<i>Energy Waste</i>	<i>Green Waste</i>	Konsumsi energi idle 2.5 kWh/batch	2.5	kWh/batch
<i>Mixing</i>	<i>Water Waste</i>	<i>Green Waste</i>	Penggunaan air 50 L/batch	50	L/batch
<i>Mixing</i>	<i>Material Waste</i>	<i>Green Waste</i>	Limbah padat 2.0 kg/batch	2.0	kg/batch

Berdasarkan Tabel 7, jenis pemborosan yang terjadi pada proses produksi di PT Campina Ice Cream Industry Tbk terdiri dari pemborosan operasional, pemborosan waktu, dan pemborosan lingkungan. Pemborosan operasional ditemukan dalam bentuk *overprocessing* pada proses *Mixing*, yang ditandai dengan waktu proses yang relatif panjang (302.5 detik) dibandingkan standar proses yang seharusnya 250 detik. Kondisi ini menunjukkan bahwa beberapa aktivitas dilakukan secara berlebihan, melebihi spesifikasi atau standar yang diperlukan, sehingga tidak memberikan kontribusi nilai tambah yang seimbang terhadap produk akhir. Konsep *lean manufacturing*, *overprocessing* termasuk jenis *waste* yang penting untuk dikurangi karena selain memperpanjang *cycle time*, juga meningkatkan penggunaan sumber daya seperti bahan baku, tenaga kerja, dan energi, tanpa memberikan peningkatan kualitas produk yang signifikan (Utomo & Pudji, 2025).

Pemborosan waktu atau *waiting waste* pada proses *Aging* ditunjukkan oleh waktu tunggu 300 detik. Aktivitas ini termasuk *non-value added activity (NVA)* karena tidak mengubah produk secara langsung, tetapi memperpanjang *lead time*, meningkatkan *work in process (WIP)*, dan berisiko menimbulkan *bottleneck*. Kondisi ini sejalan dengan temuan [10] bahwa *waiting waste* merupakan pemborosan dominan pada industri manufaktur berbasis proses, khususnya industri pangan. Selain itu, proses *Aging* dan *Filling* mengalami *energy waste* sebagai bagian dari *green waste*, yaitu 42 kWh/batch pada *Aging* dan 2,5 kWh/batch pada *Filling*. Penggunaan air pada *Mixing* sebesar 50 L/batch serta limbah padat dari *Mixing* dan *Filling* juga termasuk *green waste*. Secara keseluruhan, *waiting waste*, *overprocessing*, energi, dan air menjadi pemborosan utama yang menurunkan efisiensi proses, produktivitas, serta kinerja lingkungan.

Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penerapan integrasi *lean* dan *green manufacturing* mampu mengidentifikasi pemborosan secara komprehensif, baik dari sisi operasional maupun lingkungan, sehingga dapat menjadi dasar perumusan strategi perbaikan yang lebih efektif [9].

Usulan Perbaikan Proses

Usulan perbaikan proses dirumuskan secara sistematis berdasarkan hasil identifikasi *waste* dan *green waste* yang diperoleh dari pemetaan GVSM *Current State*.

Tabel 8. Usulan Perbaikan Proses Produksi

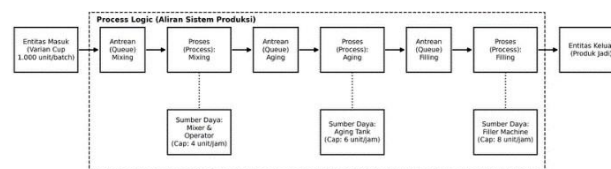
Proses	Masalah	Usulan Perbaikan	Target Penurunan
<i>Mixing</i>	Waktu proses lama (302.5 detik)	Mengurangi waktu tunggu dan standarisasi proses	<i>Cycle time</i> turun 10.7%
<i>Aging</i>	<i>Waiting</i> tinggi (300 detik)	Standarisasi waktu dan penjadwalan batch	<i>Waiting time</i> turun 33.3%
<i>Aging</i>	Konsumsi energi tinggi (42 kWh/batch)	Optimalisasi operasi mesin pendingin	Energi turun 20-25%
<i>Filling</i>	Konsumsi energi idle (2.5 kWh/batch)	Penjadwalan batch dan penjadwalan operasi	Energi turun 30%
<i>Mixing</i>	Penggunaan air tinggi (50 L/batch)	Optimasi proses pencucian	Air turun 20%
<i>Mixing & Filling</i>	Limbah padat (3.0 kg/batch)	Pengurangan kemasan dan daur ulang	Limbah turun 30%

Usulan perbaikan pada proses *Mixing* difokuskan pada pengurangan *waiting time* dan aktivitas *non-value added*. Perbaikan dilakukan melalui penyesuaian jadwal operasi, penataan alur kerja, dan koordinasi antarproses untuk menstabilkan aliran produksi, mengoptimalkan *cycle time*, menekan *overprocessing*, serta menjaga kualitas *output*. Dengan demikian, usulan perbaikan pada proses *Mixing* tidak hanya berdampak pada efisiensi waktu, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan kinerja proses secara keseluruhan[11]. Pada proses *Aging*, perbaikan difokuskan pada standarisasi waktu proses dan optimalisasi mesin pendingin untuk menurunkan *waiting waste* serta konsumsi energi. Pada proses *Filling*, perbaikan dilakukan melalui penjadwalan *batch* untuk mengurangi energi saat mesin *idle*. Perbaikan ini bertujuan mengurangi aktivitas *non-value added*, memperpendek *lead time*, meningkatkan responsivitas produksi, dan menekan *green waste* sebagai dasar *GVSM Future State*.

Simulasi Sistem dengan Python

Simulasi sistem dilakukan menggunakan bahasa pemrograman *Python* untuk mengevaluasi efektivitas usulan perbaikan sebelum implementasi di lapangan. Model simulasi *discrete-event* dibangun dengan struktur sebagai berikut:

1. Struktur Model Simulasi



Gambar 5. Struktur Model Simulasi

Gambar 5 menunjukkan struktur model simulasi yang mencakup *entity* (unit produk), *resource* (mesin dan operator), *queue* (antrian), dan *process logic* (aliran *Mixing* → *Aging* → *Filling*). Model simulasi terdiri dari *Entity* yakni Unit produk es krim yang mengalir melalui sistem, *Resource* yakni Mesin pada setiap stasiun kerja (*Mixer*, *Aging Tank*, *Filler*), *Queue* yakni Antrian sebelum setiap proses dengan kapasitas tak terbatas. *Process Logic* yakni Aliran produk *Mixing* → *Aging* → *Filling*, *Input Distribution* yakni Distribusi waktu proses berdasarkan data aktual (*normal distribution* dengan mean dan standar deviasi dari Tabel 1), *Simulation Time* yakni 8 jam operasi per hari (28.800 detik).

2. Validasi Model Simulasi

Model simulasi divalidasi dengan membandingkan *output* simulasi *current state* dengan data aktual perusahaan.

Tabel 9. Validasi Model Simulasi *Current State*

Indikator	Data Aktual	Output Simulasi	Selisih	Akurasi
<i>Lead Time</i> (detik)	2515	2523 ± 15	8	99.7%
<i>Throughput</i> (unit/hari)	45	44.7 ± 1.2	0.3	99.3%
<i>WIP</i> (unit)	38	38.5 ± 2.0	0.5	98.7%

Berdasarkan Tabel 9, model simulasi menunjukkan akurasi di atas 98% untuk semua indikator, sehingga model dapat dikatakan valid dan merepresentasikan sistem nyata dengan baik. Replikasi dilakukan sebanyak 30 kali untuk memastikan stabilitas hasil dengan *confidence interval* 95%.

3. Skenario Simulasi

Tabel 10. Skenario Simulasi

Skenario	Deskripsi	Parameter Perubahan
Skenario 0	<i>Current State (Baseline)</i>	Kondisi aktual
Skenario 1	Pengurangan <i>Waiting Time Aging</i>	<i>WT Aging</i> : 300 → 200 detik
Skenario 2	Penjadwalan <i>Batch Filling</i>	<i>CT Filling</i> : 45 → 40 detik
Skenario 3	Pengurangan <i>Overprocessing Mixing</i>	<i>CT Mixing</i> : 310 → 280 detik
Skenario 4	Kombinasi Skenario 1, 2, dan 3	Semua perbaikan simultan

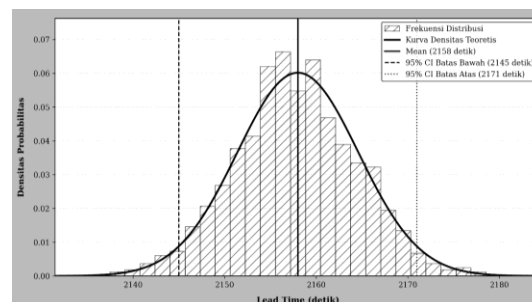
4. Hasil Simulasi

Tabel 11. Hasil Simulasi Semua Skenario (Rata-rata ± Std Dev)

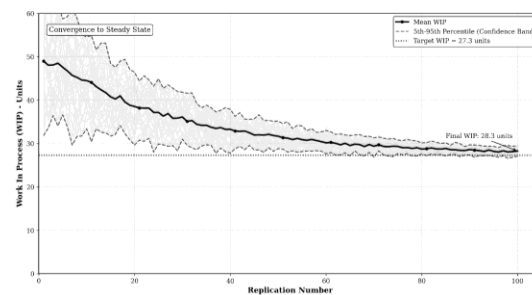
Skenario	<i>Lead Time</i> (detik)	<i>Throughput</i> (unit/hari)	<i>WIP</i> (unit)	Energi (kWh/batch)
0 (Baseline)	2523 ± 15	44.7 ± 1.2	38.5 ± 2.0	66.0
1	2418 ± 14	49.3 ± 1.1	34.2 ± 1.8	58.5
2	2480 ± 15	46.8 ± 1.2	36.8 ± 1.9	63.2
3	2495 ± 14	47.5 ± 1.2	37.5 ± 2.0	62.8
4	2158 ± 13	60.2 ± 1.0	27.3 ± 1.5	51.2

Berdasarkan Tabel 11, hasil simulasi menunjukkan bahwa Skenario 4 memberikan hasil terbaik dibandingkan skenario lainnya. Kombinasi pengurangan *waiting time Aging*, penjadwalan *batch Filling*, dan pengurangan *overprocessing Mixing* mampu menurunkan *lead time* sebesar 14,5% dari 2.523 menjadi 2.158 detik, meningkatkan *throughput* sebesar 34,7% dari 44,7 menjadi 60,2 unit/hari, serta menurunkan konsumsi energi sebesar 22,4% dari 66,0 menjadi 51,2 kWh/batch. Sementara itu, Skenario 1, 2, dan 3 hanya memberikan perbaikan parsial dengan dampak lebih kecil terhadap *lead time*, *throughput*, dan konsumsi energi.

5. Analisis Statistik Hasil Simulasi

**Gambar 6.** Distribusi *Lead Time* pada Skenario 4

Gambar 6 menunjukkan histogram distribusi *lead time* pada Skenario 4 dengan *confidence interval* 95% (2.158 ± 13 detik).

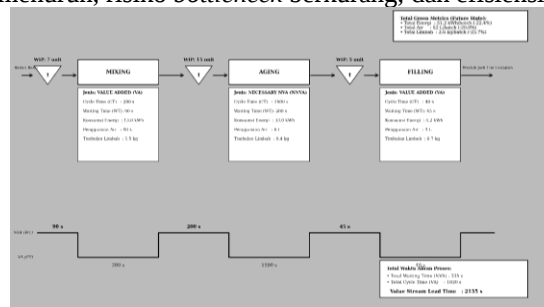


Gambar 7. Grafik Konvergensi WIP

Gambar 7 menunjukkan grafik konvergensi *WIP* pada Skenario 4 yang stabil pada nilai 27.3 unit.

Green Value Stream Mapping (GVSM) Future State

Pemetaan ini menggambarkan kondisi produksi setelah perbaikan dan membandingkannya dengan *GVSM Current State*. Penyeimbangan kapasitas dan pengurangan *waiting time*, terutama pada proses *Aging*, membuat aliran produksi lebih stabil, *lead time* menurun, risiko *bottleneck* berkurang, dan efisiensi operasional meningkat.



Gambar 8. GVSM Future State

Gambar 8 menunjukkan pemetaan *Green Value Stream Mapping (GVSM) Future State* yang menggambarkan aliran proses produksi setelah penerapan perbaikan. Pemetaan ini mencakup data *cycle time*, *waiting time*, *WIP*, konsumsi energi, penggunaan air, dan timbulan limbah yang telah dioptimalkan.

Proses	Cycle (detik)	Time	Waiting (detik)	Time	WIP (unit)	Energi (kWh/batch)	Air (L/batch)	Limbah (kg/batch)	VA/NVA
Mixing	280		90		7	13.0	40	1.5	VA
Aging	1500		200		15	33.0	8	0.4	NNVA
Filling	40		45		5	5.2	4	0.7	VA
Total	1820		335		27	51.2	52	2.6	—
Lead Time	2155								

Tabel 12. GVSM Future State Proses Produksi

Berdasarkan Tabel 12, kondisi *Future State* menunjukkan penurunan *cycle time* dari 2.005 menjadi 1.820 detik dan *waiting time* dari 510 menjadi 335 detik. Penurunan ini membuat *lead time* berkurang dari 2.515 menjadi 2.155 detik, sehingga aliran proses lebih efisien, aktivitas *non-value added* menurun, dan *work in process* (WIP) lebih terkendali. Peningkatan efisiensi tersebut tercermin dari kenaikan nilai *Process Cycle Efficiency*, yang menandakan bahwa sistem produksi telah bergerak menuju standar operasional yang lebih ramping dan kompetitif. Penurunan *lead time* menunjukkan berkurangnya aktivitas *non-value added*, terutama *waiting waste* pada proses *Aging*. Waktu tunggu *Aging* turun dari 300 menjadi 200 detik, sedangkan pada *Mixing*, *waiting time* turun dari 120 menjadi 90 detik, *cycle time* dari 310 menjadi 280 detik, dan *WIP* dari 10 menjadi 7 unit. Perbaikan ini membuat aliran material lebih lancar, risiko *bottleneck* berkurang, serta produktivitas dan kualitas *output* lebih terjaga. Selain itu, optimasi tata letak fasilitas yang diusulkan diharapkan mampu meminimalkan jarak perpindahan material antar stasiun kerja guna menekan angka *transportation waste* yang masih ditemukan pada lini produksi.

Perbaikan pada proses *Filling* melalui penjadwalan *batch* produksi menurunkan *waiting time* (dari 90 detik menjadi 45 detik) dan *WIP* (dari 8 unit menjadi 5 unit), sekaligus mengurangi konsumsi energi mesin (dari 8.5 kWh/*batch* menjadi 5.2 kWh/*batch*). Bersamaan dengan perbaikan di *Mixing* dan *Aging*, aliran produksi menjadi lebih lancar, *WIP* berkurang, *lead time* menurun, dan kapasitas tambahan dapat dimanfaatkan tanpa risiko pemborosan. Hal ini sejalan dengan temuan bahwa reduksi terhadap *waiting waste* secara sistematis mampu menekan durasi *non-value added time* secara signifikan, yang pada akhirnya mendongkrak persentase *Process Cycle Efficiency* secara keseluruhan[12]. Dari perspektif lingkungan, penurunan *green waste* juga terlihat signifikan yakni Konsumsi energi total turun 22.4% dari 66.0 kWh/*batch* menjadi 51.2 kWh/*batch*, Penggunaan air turun 20.0% dari 65 L/*batch* menjadi 52 L/*batch*, Timbulan limbah turun 25.7% dari 3.5 kg/*batch* menjadi 2.6 kg/*batch*. Pengurangan *waiting time* dan *overprocessing* berdampak positif terhadap penurunan *green waste*, terutama pada efisiensi energi dan keberlanjutan produksi. Integrasi *Lean* dan *Green Manufacturing* memberikan manfaat ganda, yaitu mengurangi pemborosan operasional sekaligus meningkatkan kinerja lingkungan. Secara keseluruhan, *GVSM Future State* menunjukkan bahwa usulan perbaikan mampu menurunkan *lead time*, mengurangi *WIP*, serta meminimalkan pemborosan waktu dan energi.

Temuan ini mendukung penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa integrasi pendekatan *lean* dan *green manufacturing* efektif dalam meningkatkan efisiensi operasional sekaligus mendukung aspek keberlanjutan[13],[14], [15]. Dengan demikian, *GVSM Future State* menggambarkan kondisi proses produksi yang lebih efisien dan ramah lingkungan dibandingkan kondisi aktual.

Perbandingan Kinerja Proses Produksi *Current State* dan *Future State*

Penurunan *lead time* menunjukkan aliran proses lebih lancar dan aktivitas *non-value added* berkurang, sementara peningkatan *throughput* mencerminkan produktivitas dan kapasitas yang lebih baik. Utilisasi yang seimbang menunjukkan proses lebih stabil dan efisien dengan *lead time* minimal.

Tabel 13. Perbandingan Kinerja Proses Produksi

Indikator Kinerja	<i>Current State</i>	<i>Future State</i>	Perubahan	Satuan
<i>Lead Time</i>	2.515	2.155	-14.3%	detik
<i>Throughput</i>	45	60	+33.3%	unit/hari
Utilisasi Mesin	82%	70%	-14.6%	%
<i>WIP</i>	38	27	-28.9%	unit
Konsumsi Energi	66.0	51.2	-22.4%	kWh/ <i>batch</i>
Penggunaan Air	65	52	-20.0%	L/ <i>batch</i>
Timbulan Limbah	3.5	2.6	-25.7%	kg/ <i>batch</i>

Berdasarkan Tabel 13:

Lead time turun dari 2.515 menjadi 2.155 detik atau sebesar 14,3%, yang menunjukkan berkurangnya aktivitas *non-value added*, terutama *waiting time* pada proses *Aging*. *Throughput* meningkat dari 45 menjadi 60 unit/hari atau sebesar 33,3%, sehingga kapasitas sistem menjadi lebih efektif dan risiko *bottleneck* berkurang. Utilisasi mesin turun dari 82% menjadi 70%, menunjukkan beban kerja mesin dan operator lebih seimbang. Selain itu, *WIP* menurun dari 38 menjadi 27 unit, konsumsi energi turun dari 66,0 menjadi 51,2 kWh/*batch*, penggunaan air turun dari 65 menjadi 52 L/*batch*, dan timbulan limbah turun dari 3,5 menjadi 2,6 kg/*batch*. Secara keseluruhan, *green waste* menurun 36%, sehingga usulan perbaikan terbukti mampu meningkatkan efisiensi operasional dan kinerja lingkungan.

VII. REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian, PT Campina Ice Cream Industry Tbk disarankan menerapkan skenario perbaikan kombinasi, yaitu pengurangan *waiting time Aging*, standarisasi waktu *Mixing*, dan penjadwalan *batch Filling* untuk meningkatkan efisiensi produksi serta menekan dampak lingkungan. Perusahaan juga perlu memantau konsumsi energi, penggunaan air, dan limbah secara berkala. Penelitian selanjutnya dapat memperluas objek kajian pada seluruh lini produk serta mengintegrasikan *GVSM* dengan pendekatan *Industry 4.0*.

VIII. SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa *GVSM* mampu mengidentifikasi pemborosan utama pada proses produksi es krim PT Campina Ice Cream Industry Tbk, yaitu *overprocessing* pada *Mixing*, *waiting waste* pada *Aging*, serta *green waste* berupa konsumsi energi, air, dan limbah. Hasil simulasi *Python* menunjukkan bahwa Skenario 4 memberikan perbaikan terbaik dengan penurunan *lead time* 14,3%, peningkatan *throughput* 33,3%, penurunan *WIP* 28,9%, dan penurunan *green waste* 36%. Dengan demikian, integrasi *GVSM* dan simulasi sistem terbukti efektif untuk meningkatkan efisiensi operasional dan keberlanjutan lingkungan.

Ucapan Terima Kasih

Alhamdulillah, penulis mengucapkan syukur kepada Allah SWT atas kelancaran penelitian ini. Terima kasih kepada PT Campina Ice Cream Industry Tbk atas kesempatan dan data yang diberikan, serta kepada semua pihak yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] M. I. Amal and N. A. Mahbubah, "Integrating Lean Implementation and Relayot Design for Efficiency Improvement," *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 21, no. 2, pp. 240–252, Dec. 2022, doi: 10.23917/jiti.v21i2.19748.
- [2] A. Nurwahidah, M. Mulyadi, and N. Nilda, "Penerapan Lean And Green Value Stream Mapping Untuk Mengidentifikasi Waste Dan Dampak Lingkungan Pada Industri Manufaktur," *ARIKA*, vol. 16, no. 2, pp. 64–71, Aug. 2022, doi: 10.30598/arika.2022.16.2.64.
- [3] D. Chandrahadinata and R. Nur Fadilah, "Minimalisasi pemborosan menggunakan metode lean manufacturing dan green manufacturing di UKM. Asela," *J. Kalibr.*, vol. 23, no. 1, pp. 49–59, May 2025, doi: 10.33364/kalibrasi/v.23-1.1600.
- [4] M. Daulay, A. Amri, and S. Syukriah, "Analisis Waste Pada Proses Pembongkaran Peti Kemas Dengan Pendekatan Lean Service Di Pt Pelindo I Cabang Lhokseumawe," *Ind. Eng. J.*, vol. 10, no. 2, Oct. 2021, doi: 10.53912/iej.v10i2.681.
- [5] M. Dieste, R. Panizzolo, J. A. Garza-Reyes, and A. Anosike, "The relationship between lean and environmental performance: Practices and measures," *J. Clean. Prod.*, vol. 224, pp. 120–131, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.243.
- [6] dkk Dzulfian Syafrian, "Integrasi Pendekatan Lean Warehousing dan Line Balancing dalam Optimalisasi Kinerja Logistik untuk Reduksi Pemborosan dan Peningkatan Efisiensi Proses Inbound-Outbound Coil pada Sistem Pergudangan HRC," *Sustain.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–14, 2025, [Online]. Available: http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_Sistem_Pembetulan_Terpusat_Strategi_Mel_estari
- [7] I. Elemure, H. N. Dhakal, M. Leseure, and J. Radulovic, "Integration of Lean Green and Sustainability in Manufacturing: A Review on Current State and Future Perspectives," *Sustainability*, vol. 15, no. 13, p. 10261, Jun. 2023, doi: 10.3390/su151310261.
- [8] N. N. Suwandi, K. Suhada, P. Sarjana, T. Industri, F. Teknologi, and U. Kristen, "Penerapan Lean Manufacturing dengan Metode Value Stream Mapping untuk Mengurangi Cycle Time pada Bagian Perakitan Spring Mattress di PT X Application of Lean Manufacturing with Value Stream Mapping Method to Reduce Cycle Time in Spring Mattress Assembly a," vol. 7, no. 2, pp. 111–133, 2024.
- [9] M. Istikomah, Endang Prasetyaningsih, and Chaznin R. Muhammad, "Usulan Perbaikan Lintasan Produksi untuk Mereduksi Waste pada Departemen Kerja Produksi dengan Kombinasi Lean Manufacturing dan Theory of Constraints," *J. Ris. Tek. Ind.*, vol. 1, no. 1, pp. 77–87, Oct. 2021, doi: 10.29313/jrti.v1i1.233.
- [10] R. Khoeruddin and D. Indrasti, "Analisis Lean Manufacturing Produksi Saus Gulai dengan Metode Value Stream Mapping," *J. Mutu Pangan Indones. J. Food Qual.*, vol. 10, no. 1, pp. 15–23, Apr. 2023, doi: 10.29244/jmpi.2023.10.1.15.
- [11] A. Ly, "Kajian Teoritis: Meningkatkan Efektivitas Proyek Konstruksi Menggunakan Lean, Green, dan Six Sigma," *J. Kridatama Sains dan Teknol.*, vol. 7, no. 01, pp. 426–440, Jun. 2025, doi: 10.53863/kst.v7i01.1628.
- [12] R. Nowescophor, L. L. Salomon, and C. O. Doaly, "Analisis Waste Pada Produksi Es Krim Dengan Metode Lean Six Sigma," *J. Mitra Tek. Ind.*, vol. 3, no. 2, pp. 181–191, Aug. 2024, doi: 10.24912/jmti.v3i2.32013.
- [13] Nurhijriani Kasim, "Tinjauan Literatur: Implementasi Manajemen Rantai Pasok Lean dan Green," *J. Teknol. dan Manaj. Ind. Terap.*, vol. 2, no. 3, pp. 835–841, Aug. 2025, doi: 10.55826/jtmit.v4i3.755.
- [14] A. Syafi'i, S. Shobichah, and M. Mulyani, "Pengaruh Diversifikasi Produk Terhadap Pertumbuhan Dan

- Keunggulan Bersaing: Studi Kasus Pada Industri Makanan Dan Minuman,” *J. Impresi Indones.*, vol. 2, no. 6, pp. 592–599, Jul. 2023, doi: 10.58344/jii.v2i6.3140.
- [15] D. Rosarina, S. Lestari, and J. C. Dinata, “Eliminasi Waste Pada Proses Produksi Malt Powder Dengan Metode VSM dan VALSAT (Studi Kasus PT. XYZ),” *J. Tek.*, vol. 11, no. 1, Mar. 2022, doi: 10.31000/jt.v11i1.5593.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.