

Artikel Penelitian

Perbaikan Proses Produksi Granule dengan Metode Lean Six-Sigma untuk Mengurangi Pemborosan di PT X

Wawan Kurniawan^{*}, Zulfahmi, Ratna Mira Yojana

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 15 Maret 2026
Revisi Akhir: 06 April 2026
Diterbitkan Online: 24 April 2026

KATA KUNCI

DMAIC
Granule
Lean Six Sigma
VSM

KORESPONDENSI (*)

Phone: +62 812-9105-646
E-mail: wawan.kurniawan@trisakti.ac.id

A B S T R A K

Penelitian ini dilakukan di PT X yang merupakan perusahaan manufaktur pada industri arang. Permasalahan yang dimiliki perusahaan adalah ketidaktercapaian target produksi dan persentase cacat yang tinggi. Tujuan penelitian adalah meminimalkan pemborosan dan meningkatkan kualitas produk. Metode yang digunakan adalah pendekatan Lean Six Sigma. Tahapan penelitian mengikuti tahapan DMAIC (Define, Measure, Analysis, Improve, Control). Tahap define dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan menggunakan diagram SIPOC dan CTQ. Tahapan measure dilakukan untuk mengukur kapabilitas proses menggunakan peta kendali, perhitungan DPMO, dan nilai sigma, kemudian membuat peta VSM. Nilai DPMO yang didapatkan adalah 9992.957 dan tingkat sigma 3,8. Melalui VSM diketahui bahwa MLT untuk proses pembuatan granule adalah 8174.553 detik dan nilai PCE sebesar 36.77%. Tahapan selanjutnya menganalisis menggunakan diagram Ishikawa dan FMEA. Hasil analisis menunjukkan bahwa penyebab permasalahan berupa kualitas bahan baku yang kurang baik, pemeriksaan bahan baku yang buruk, dan kerusakan pada mesin. Sehingga pada tahap improve diusulkan perbaikan berupa lembar kerja pemeriksaan bahan baku, pemeriksaan berkala pada mesin, penambahan alat pemisah logam dan penambahan mesin untuk proses pembakaran. Tahap control dilakukan dengan pengisian lembar pemeriksaan bahan baku dan mesin secara berkala.

PENDAHULUAN

PT X merupakan perusahaan manufaktur yang menjual produk berbahan dasar arang kepada agen atau retail. Perusahaan membeli bahan baku berupa arang, kemudian diproses dengan crushing, ayak, dan sortir hingga menjadi 3 jenis produk, yaitu granule, menir, dan abu. Permasalahan yang ditemui pada PT X adalah tingginya cacat produk yang melebihi target perusahaan. Target cacat perusahaan adalah maksimal 2%. Tabel 1 merupakan persentase cacat produk dari bulan Maret 2023 hingga Juni 2023 yang nilainya masih di atas 2%.

Penelitian ini dilakukan untuk mencari penyebab tingginya cacat produk. Hipotesis awal yang terlihat adalah terdapat permasalahan, yaitu tingginya pemborosan (*waste*). Pemborosan yang ditemui seperti pemborosan waktu tunggu (*waiting*) di mana sering terjadi permasalahan pada mesin sehingga proses produksi harus dihentikan. Pemborosan lainnya yang terjadi adalah akibat adanya produk granul yang cacat karena pemrosesan yang tidak sempurna. Adapun jenis cacat dikategorikan menjadi cacat batu, cacat logam dan cacat hasil pembakaran yang tidak sempurna. Tabel 2 merupakan gambar kategori cacat produk arang. Akibat permasalahan ini, perusahaan tidak mampu mencapai target produksinya, yaitu sebanyak 25 ton setiap bulannya.

Tabel 1. Persentase Cacat Produk Granule

Periode	Jumlah Produksi (ton)	Jumlah Cacat (ton)	Persentase
Maret 2023	23	0.7	3.04%
April 2023	21	0.63	3.00%
Mei 2023	24	0.68	2.83%
Juni 2023	24	0.72	3.00%

Metode yang dapat digunakan untuk mengurangi pemborosan pada sebuah industri manufaktur adalah *Lean Six Sigma* (LSS). LSS merupakan gabungan antara konsep *lean* dan *six sigma* untuk menganalisis dan menghilangkan pemborosan dengan perbaikan secara berkelanjutan [1]. Konsep dasar LSS adalah meminimalkan pemborosan serta mengidentifikasi dan menghilangkan nilai yang tidak ditambahkan dalam suatu proses [2]. Dalam konsep LSS, pendekatan *Lean* yang biasa digunakan adalah *Just-in-Time*, *Value Stream Mapping*, *SMED*, *Kanban*, dan *Poka-Yoke* [3]. Pada penelitian ini, pendekatan *lean* digunakan pada dua tahapan, yaitu pada tahap *Measure* menggunakan *Value Stream Mapping* (VSM) dan pada tahap *Analyze* menggunakan diagram Ishikawa. Sedangkan pendekatan *Six Sigma* yang digunakan adalah tahapan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*) yang memanfaatkan teknik-teknik statistik untuk memaksimalkan proses dan meminimalisasi variasi [2].

Penelitian *Lean Six Sigma* (LSS) telah banyak diterapkan pada berbagai industri manufaktur seperti industri beton dan industri susu, namun terdapat perbedaan karakteristik yang signifikan dibandingkan dengan industri pengolahan arang pada PT X. Industri arang memiliki variabilitas bahan baku yang tinggi karena sangat bergantung pada hasil pembakaran biomassa yang tidak seragam, baik dari segi kadar air, tingkat karbonisasi, maupun potensi kontaminasi seperti batu dan logam. Hal ini berbeda dengan industri beton dan susu yang umumnya memiliki standar bahan baku yang lebih terkontrol dan konsisten. Selain itu, proses produksi pada industri arang masih didominasi oleh proses mekanis dan intervensi manual, seperti *crushing*, pengayakan, dan sortir, sehingga lebih rentan terhadap variasi kualitas dan gangguan mesin. Jenis cacat yang dihasilkan juga bersifat unik, yaitu cacat batu, logam, dan pembakaran tidak sempurna yang tidak hanya dipengaruhi oleh proses produksi internal, tetapi juga proses hulu. Di sisi lain, pemborosan yang dominan terjadi adalah *waste waiting* akibat kerusakan mesin yang menyebabkan *downtime* produksi, berbeda dengan industri lain yang lebih banyak mengalami *waste* berupa *overproduction* atau *inventory*. Oleh karena itu, terdapat gap penelitian dalam penerapan *Lean Six Sigma* yang secara spesifik disesuaikan dengan karakteristik industri berbasis biomassa seperti arang, yang memerlukan integrasi pendekatan *lean* untuk mengurangi pemborosan dan *six sigma* untuk mengendalikan variasi kualitas.

Tingginya tingkat cacat produk yang melebihi target perusahaan sebesar 2% juga menimbulkan dampak finansial yang signifikan. Berdasarkan data periode Maret hingga Juni 2023, rata-rata jumlah cacat mencapai 0,68 ton per bulan. Dengan asumsi harga jual produk granule sebesar Rp4.000.000 per ton, maka perusahaan mengalami kerugian sekitar Rp2.720.000 per bulan atau setara dengan Rp32.640.000 per tahun akibat produk cacat. Selain itu, perusahaan juga tidak mampu mencapai target produksi sebesar 25 ton per bulan, dengan realisasi rata-rata hanya 23 ton per bulan, sehingga terjadi kekurangan produksi sebesar 2 ton per bulan. Kondisi ini berpotensi menyebabkan kehilangan pendapatan sebesar Rp8.000.000 per bulan atau sekitar Rp96.000.000 per tahun. Dampak lainnya meliputi meningkatnya biaya rework, inefisiensi tenaga kerja, serta potensi penurunan kepercayaan pelanggan akibat kualitas produk yang tidak konsisten. Oleh karena itu, diperlukan penerapan metode *Lean Six Sigma* dengan pendekatan DMAIC untuk mengidentifikasi akar penyebab permasalahan, mengurangi pemborosan, serta meningkatkan kualitas dan kinerja produksi secara berkelanjutan.

TINJAUAN PUSTAKA

The principles of Lean

Lean merupakan sebuah usaha untuk mengeliminasi pemborosan (*waste*) dan meningkatkan nilai tambah (*Value Added*) sebuah produk atau jasa dengan menghilangkan komponen yang tidak memiliki nilai tambah demi memberikan kepuasan pelanggan secara berkelanjutan [4]. Salah satu alat yang sering digunakan dalam pendekatan *lean* adalah *Value Stream Mapping* (VSM) untuk mengidentifikasi letak terjadinya pemborosan [5]. VSM juga memberikan keterangan mengenai aktivitas nilai tambah (*Value Added Activity*), aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah (*Non-Value Added Activity*)

dan aktivitas yang perlu dilakukan tetapi tidak memberikan nilai tambah (Necessary Non-Value Added Activity) [6]. Jenis pemborosan dalam *lean* dikategorikan menjadi [7]:

1. *Overproduction*
Pemborosan ini terjadi ketika barang/jasa yang dihasilkan melebihi jumlah yang diperlukan oleh pelanggan.
2. *Waiting*
Pemborosan ini terjadi ketika proses produksi mengalami waktu tunggu, di mana proses produksi tidak dapat berlanjut, seperti kerusakan mesin, bottleneck, delay, atau kehabisan stok.
3. *Transportation*
Pemborosan yang terjadi saat melakukan pemindahan barang dalam proses (WIP) dari satu tempat ke tempat lain dalam proses yang sama, atau memindahkan material, peralatan atau barang jadi ke dalam atau keluar gudang atau di antara proses.
4. *Overprocessing* dan *Incorrect Processing*
Pemborosan yang terjadi ketika adanya tindakan yang diperlukan diambil pada saat proses produksi.
5. *Excess Inventory*
Pemborosan yang terjadi ketika banyaknya bahan baku, WIP atau produk jadi yang menyebabkan *lead time* menjadi lebih panjang, kerusakan barang, transportasi dan bertambahnya biaya penyimpanan.
6. *Unnecessary Movement*
Pemborosan terjadi ketika pekerja melakukan tindakan yang tidak sesuai dengan SOP atau tindakan yang tidak menambahkan nilai pada produk seperti mencari, meraih atau berpindah tempat.
7. *Defects*
Pemborosan yang terjadi ketika adanya produk cacat yang dihasilkan pada proses produksi

Konsep *lean* manufaktur terbukti sukses diterapkan di berbagai bidang industri untuk meningkatkan efisiensi, menurunkan waste dan membangun kebiasaan *continuous improvement*. Penerapan *lean* terbukti mampu meningkatkan efisiensi pencetakan 3D beton untuk pelat ringan prafabrikasi sehingga mengurangi waktu produksi sebesar 58% [8]. Pada penelitian lainnya diketahui juga bahwa penerapan *lean 4.0* dapat meningkatkan kinerja bisnis, namun perlu waktu penyesuaian oleh karyawan untuk beradaptasi dengan sistem yang baru [9]. Penerapan konsep *lean* dalam berbagai bidang seperti pada industri susu (Kumar & Shankar, 2024), industri remanufaktur [9], industri pendidikan [10], bahkan untuk pemrograman komputer [11].

The Principles of Six Sigma

Six Sigma merupakan metode yang berfokus pada peningkatan kinerja dengan mengendalikan faktor kritis yang menjadi penyebab cacat produk [12]. Langkah dalam penerapan metode *Six Sigma* dimulai dari *identifikasi Critical to Quality* terhadap kualitas dari suatu proses hingga menentukan usulan perbaikan sebagai upaya pengendalian kualitas [13]. Peta jalan yang sering digunakan dalam metode *Six Sigma* adalah Define, Measure, Analyze, Improve, Control (DMAIC) [14].

1. Tahap *define* dalam DMAIC merupakan fase untuk menentukan tujuan dan ruang lingkup penelitian [15]. Fase ini juga digunakan untuk mengidentifikasi proses, stakeholders yang terkait, menentukan konsumen prioritas dan membuat *business case for the project* [16]. Alat yang digunakan pada tahap *define* adalah *Control to Quality* (CTQ) yang mampu mengidentifikasi parameter penting untuk memenuhi kebutuhan konsumen [17]. Tools lain yang digunakan dalam fase *define* adalah diagram SIPOC (*Supplier-Input-Process-Output-Customer*). Fungsi diagram SIPOC adalah mendefinisikan elemen-elemen kunci dalam proses [18].
2. Tahap *measure* bertujuan untuk mengukur performansi sistem aktual. Kunci utama keberhasilan dalam tahap ini adalah ketepatan dalam pengumpulan data dan keakuratan data yang digunakan [19]. Pada tahap ini digunakan beberapa alat untuk melakukan pengukuran terhadap performa proses saat ini [5]. Alat yang digunakan pada tahap ini adalah peta kendali X-bar, kemudian dilakukan pengukuran DPMO dan tingkat sigma.
3. Tahap *Analyze* melakukan analisis terhadap penyebab terjadinya permasalahan dengan melihat hasil dari pengolahan data yang dilakukan pada tahap *measure*. Ada beberapa alat yang dapat digunakan dalam tahap ini, di antaranya: diagram Pareto, peta kendali, defect per million opportunities (DPMO), dan *capability analysis* dengan VSM [19].
4. Tahap *Improve* adalah tahap di mana dilakukannya perancangan usulan perbaikan dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas dan menurunkan jumlah cacat berdasarkan hasil analisis pada tahap sebelumnya.

5. Tahap kontrol adalah tahap akhir dari proses DMAIC, di mana pada tahap ini dilakukan evaluasi proses, standarisasi prosedur dan penarikan kesimpulan. Tujuan utama dari tahap ini adalah untuk memastikan bahwa perbaikan yang dilakukan memiliki hasil yang positif terhadap proses [6].

The Relationship Between the Six Sigma And Lean Principles

Six Sigma dan Lean merupakan metode yang sama-sama bertujuan untuk meningkatkan kualitas sebuah produk dengan merancang proses produksi menjadi lebih efisien. *Lean* berfokus pada eliminasi *non-value-added activity*, sedangkan *Six Sigma* menggunakan pendekatan terstruktur untuk mengurangi variabilitas proses, sehingga ketika kedua metode ini digabungkan menjadi *Lean Six Sigma*, terbentuklah sebuah metode yang sistematis untuk merancang sebuah proses produksi yang lebih efektif dan efisien [21].

Tujuan dari metode *Lean Six Sigma* adalah mengurangi waste, variabilitas proses sehingga mampu meningkatkan efisiensi proses serta menghasilkan kualitas produk yang sangat baik [22]. Metode *Lean Six Sigma* sudah banyak digunakan dalam berbagai bidang, seperti pada bidang kesehatan untuk mengoptimalkan proses pada departemen steril sehingga mampu meningkatkan efisiensi proses dari 81.0% to 97.4% dan mengurangi rata-rata produk cacat dari 2.2% to < 0.10% [20]. Selain itu, penerapan metode *Lean Six Sigma* juga mampu meningkatkan efisiensi proses hingga 70% pada kasus *third-party logistics* (3PL) services [5]. Bahkan penerapan *Lean Six Sigma* saat ini dianggap sebagai salah satu kunci keberhasilan sebab mampu mengefisienkan berbagai aspek operasional dan fungsional perusahaan sehingga mampu mengoptimalkan profitabilitas sebuah perusahaan [23]. Konsep *Lean Six Sigma* pada umumnya mengikuti langkah-langkah pada *Six Sigma*, yaitu DMAIC, dan mengadopsi konsep *Lean*, yaitu pengurangan pemborosan [24].

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) merupakan suatu metode analisis yang bersifat sistematis dan terstruktur untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, serta memprioritaskan potensi kegagalan (*failure mode*) dalam suatu sistem, produk, atau proses. Metode ini pertama kali dikembangkan dalam industri militer dan kedirgantaraan, kemudian banyak diadopsi dalam berbagai sektor manufaktur dan jasa sebagai bagian dari manajemen risiko dan peningkatan kualitas. FMEA bertujuan untuk mengantisipasi kegagalan sebelum terjadi dengan cara mengidentifikasi penyebab kegagalan, dampak yang ditimbulkan, serta menentukan tindakan perbaikan yang tepat. Dalam implementasinya, setiap potensi kegagalan dianalisis berdasarkan tiga kriteria utama, yaitu *Severity* (tingkat keparahan dampak kegagalan terhadap sistem atau pelanggan), *Occurrence* (tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan), dan *Detection* (kemampuan sistem dalam mendeteksi kegagalan sebelum mencapai pelanggan). Pendekatan ini memungkinkan organisasi untuk lebih proaktif dalam mengurangi risiko dan meningkatkan keandalan proses [24].

Risk Priority Number (RPN)

Risk Priority Number (RPN) merupakan indikator kuantitatif yang digunakan dalam FMEA untuk menentukan tingkat prioritas risiko dari setiap potensi kegagalan yang telah diidentifikasi. Nilai RPN diperoleh dari hasil perkalian antara nilai *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D), sehingga dirumuskan sebagai $RPN = S \times O \times D$. Masing-masing parameter biasanya dinilai dalam skala tertentu, misalnya 1 hingga 10, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan tingkat risiko yang lebih besar. RPN digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan untuk menentukan prioritas tindakan perbaikan, di mana kegagalan dengan nilai RPN tertinggi akan menjadi fokus utama untuk ditangani terlebih dahulu. Meskipun demikian, dalam praktiknya, analisis tidak hanya berfokus pada nilai RPN semata, tetapi juga mempertimbangkan aspek kritis lainnya, seperti tingkat keparahan yang tinggi meskipun nilai RPN relatif rendah. Dengan demikian, kombinasi antara FMEA dan RPN menjadi alat yang efektif dalam mendukung upaya peningkatan kualitas berkelanjutan, khususnya dalam kerangka *Lean Six Sigma*, karena mampu mengidentifikasi akar permasalahan secara sistematis serta membantu dalam menentukan prioritas perbaikan yang lebih tepat dan terukur [25].

METODOLOGI

Pengumpulan data waktu siklus pada Tabel 3 dilakukan menggunakan metode *stopwatch time study*, yaitu teknik pengukuran waktu kerja secara langsung pada setiap elemen proses produksi. Pengamatan dilakukan terhadap beberapa tahapan utama, seperti proses *crushing*, pengayakan, dan sortir, dengan mencatat waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus kerja pada masing-masing proses. Untuk meningkatkan akurasi dan reliabilitas data, setiap elemen kerja diamati sebanyak 10–15 kali replikasi dalam kondisi operasi normal. Hasil pengamatan kemudian diuji

keseragaman dan kecukupan datanya sebelum dihitung rata-rata waktu siklus yang representatif. Selain itu, penyesuaian waktu (*rating factor*) dan kelonggaran (*allowance*) juga dipertimbangkan untuk memperoleh waktu baku (*standard time*) yang lebih mencerminkan kondisi kerja sebenarnya. Dengan pendekatan ini, data waktu siklus yang diperoleh dapat digunakan secara akurat dalam penyusunan *Value Stream Mapping* (VSM) serta analisis efisiensi proses pada tahap *measure* dalam kerangka *Lean Six Sigma*.

1. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Lean Six Sigma*. Tahapan penelitian mengikuti tahapan pada konsep *Six Sigma*, yaitu *define-measure-analyze-improve-control* (DMAIC). Konsep *lean* digunakan dalam tahapan *measure* dan *analyze* untuk mendesain sistem menjadi lebih efektif dan efisien. Gambar 1 merupakan *flowchart* dari metodologi penelitian yang dilakukan
2. Tahap *Define*: Pada tahap *define*, *tools* yang digunakan adalah *Supplier-Input-Process-Output-Customer* (SIPOC) *diagram* dan *Analisis Critical to Quality* (CTQ).
3. Tahap *Measure*: Setelah diidentifikasi, permasalahan diukur pada tahap *measure* menggunakan *tools* peta kendali, perhitungan *Defects Per Million Opportunities* (DPMO), perhitungan nilai sigma serta pembuatan VSM.
4. Tahap *Analyze*: Hasil pengukuran dianalisis pada tahap *Analyze* menggunakan *tools* diagram Ishikawa dan *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA).
5. Tahap *Improve and Control*: Hasil analisis kemudian menjadi dasar rekomendasi perbaikan pada tahap *improve* dan diukur pada tahap *control*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Define




Tahapan pertama dalam penelitian ini adalah membuat diagram SIPOC. Tujuan dari pembuatan diagram SIPOC adalah untuk menggambarkan sistem secara keseluruhan sehingga dapat dilakukan analisis lebih lanjut mengenai letak permasalahan dalam sistem [2]. Gambar 1 merupakan SIPOC diagram dari PT X. Proses produksi perusahaan dimulai dari material inspection, proses *crushing*, proses *sieving*, sorting, hingga packing.

Supplier	Input	Process	Output	Customer
Charcoal Supplier	Charcoal	Material Inspection	Inspected Charcoal	Crushing Machine
Crushing Machine	Inspected Charcoal	Charcoal Crushing Process	Crushed Charcoal	Sieving Machine
Sieving Machine	Crushed Charcoal	Sieving Process	Sieved Charcoal	Sorting Area
Sorting Area	Sieved Charcoal	Sorting Process	Sorted Granules	Finished Goods Warehouse
Finished Goods Warehouse	Inspected Granule	Packing	Packed Granule	Customer

Gambar 1. SIPOC Diagram PT Aliza Pacific Nusantara.

Tahap *define* dilanjutkan dengan mengidentifikasi CTQ pada produk arang. Tujuan identifikasi menggunakan CTQ adalah untuk bagian paling penting yang dapat memengaruhi kepuasan konsumen karena berhubungan dengan kebutuhan dan keinginan konsumen [26]. Pada tahap ini diidentifikasi jenis cacat produk yang menyebabkan turunnya nilai kepuasan konsumen. Tabel 2 merupakan jenis cacat produk yang teridentifikasi.

Tabel 2. *Critical to Quality* Jenis Cacat Produk

<i>Defect type</i>	<i>Explanation</i>	<i>Picture</i>
<i>Metal Defect</i>	<i>Charcoal mixed with metal</i>	
<i>Stone Defect</i>	<i>Charcoal mixed with stones</i>	
<i>Charcoal does not burn completely</i>	<i>The charcoal is not completely burnt, so its shape is still large</i>	

Tahapan Measure

Pada tahapan ini dilakukan pengukuran *Lean* dan *Six Sigma*, dimulai dari perhitungan waktu baku, kemudian dilakukan identifikasi terhadap kegiatan *value added*, *necessary non-value added*, dan *non-value added* pada data aktivitas proses produksi produk Granule.

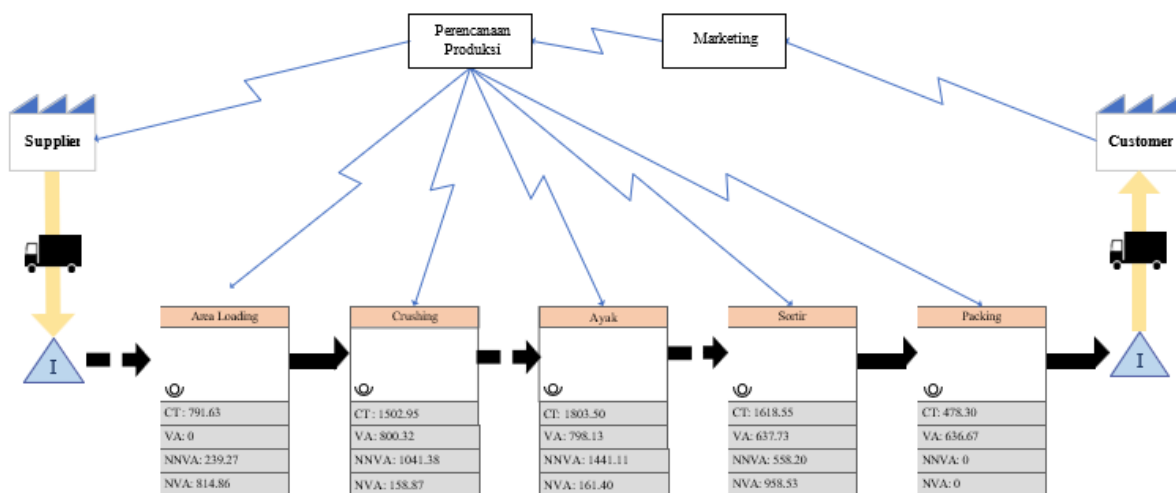
Diketahui bahwa total MLT untuk pembuatan produk granul adalah 8174.58 detik. Kemudian, untuk melakukan perhitungan PCE (Process Cycle Efficiency), diperlukan identifikasi kegiatan *Value Added (VA)*, *Necessary Non-Value Added (NNVA)*, dan *Non-Value Added (NVA)*. Nilai PCE untuk proses produksi Granule adalah sebesar 36,77%. Nilai ini didapat dengan cara membagi total VA dengan MLT. Tabel 3 merupakan hasil perhitungan waktu baku.

Tabel 3. Waktu Baku Proses Produksi

No	Aktifitas	Waktu siklus	Penyesuaian	Waktu Normal	Kelonggaran (%)	Waktu baku
1	Penurunan bahan baku ke area loading	253.13	0.02	258.19	30.5	336.93
2	Perpindahan bahan baku ke inventory	118.30	0.02	120.67	30.5	157.47
3	Inspeksi barang cacat	179.75	0.02	183.35	30.5	239.27
4	Pemindahan bahan baku ke area crushing	240.45	0.02	245.26	30.5	320.06
5	Setup mesin	602.45	0.02	614.50	30.5	801.92

6	Proses crushing	601.25	0.02	613.28	30.5	800.32
7	Inspeksi manual	179.90	0.02	183.50	30.5	239.46
8	Barang pindah ke area proses ayak	119.35	0.02	121.74	30.5	158.87
9	Setup mesin	900.85	0.02	918.87	30.5	1199.12
10	Proses ayak	599.60	0.02	611.59	30.5	798.13
11	Inspeksi manual	181.80	0.02	185.44	30.5	241.99
12	Barang pindah ke area sortir	121.25	0.02	123.68	30.5	161.40
13	Proses pemisahan	419.35	0.02	427.74	30.5	558.20
14	Inspeksi sampah produk	600.00	0.02	612.00	30.5	798.66
15	Inspeksi ukuran granul	479.10	0.02	488.68	30.5	637.73
16	Pemindaham produk ke area packing	120.10	0.02	122.50	30.5	159.87
17	Proses penimbangan	181.00	0.02	184.62	30.5	240.93
18	Proses packing	297.30	0.02	303.25	30.5	395.74

Kemudian, setelah melakukan identifikasi kegiatan, langkah selanjutnya adalah membuat Value Stream Mapping. VSM untuk proses produksi granulat dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Value Stream Mapping Proses Produksi PT X

Pengukuran lainnya yang dilakukan pada tahapan measure adalah mengukur DPMO (*Defects Per Million Opportunities*) dan Tingkat Sigma. Data yang digunakan adalah data produk granule yang cacat dalam satu bulan. Dengan jumlah produksi 24.046 kg dan total cacatnya 720,181 kg sehingga nilai DPMO yang didapat dengan perhitungan berikut:

1. Menghitung nilai cacat perunit:

$$DPU = \frac{Defect}{Unit} = \frac{720,181}{24046} = 0,0299 \tag{1}$$

2. Menghitung cacat per *opportunities*:

$$DPO = \frac{DPU}{c} = \frac{0,0299}{3} = 0,0099834 \tag{2}$$

3. Menghitung *Defect per Million Opportunitie* (DPMO)

$$DPMO = DPO \times 1.000.000 = 0,0099833 \times 1.000.000 = 9.983,4 \tag{3}$$

4. Konversi hasil DPMO ke tingkat sigma:

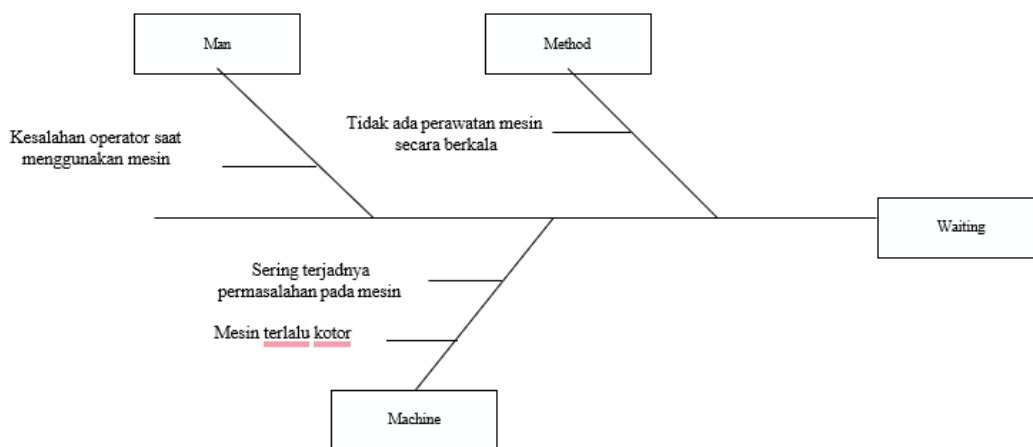
$$Tingkat\ Sigma = norm.\ s.\ inv\left(1 - \frac{DPMO}{1.000.000}\right) + 1,5 = 3,83\ sigma \tag{4}$$

Hasil yang didapatkan dari perhitungan nilai sigma adalah 3,83, yang artinya belum cukup baik dan masih membutuhkan perbaikan proses sehingga mendapatkan nilai sigma yang lebih tinggi.

Tahapan Analyze

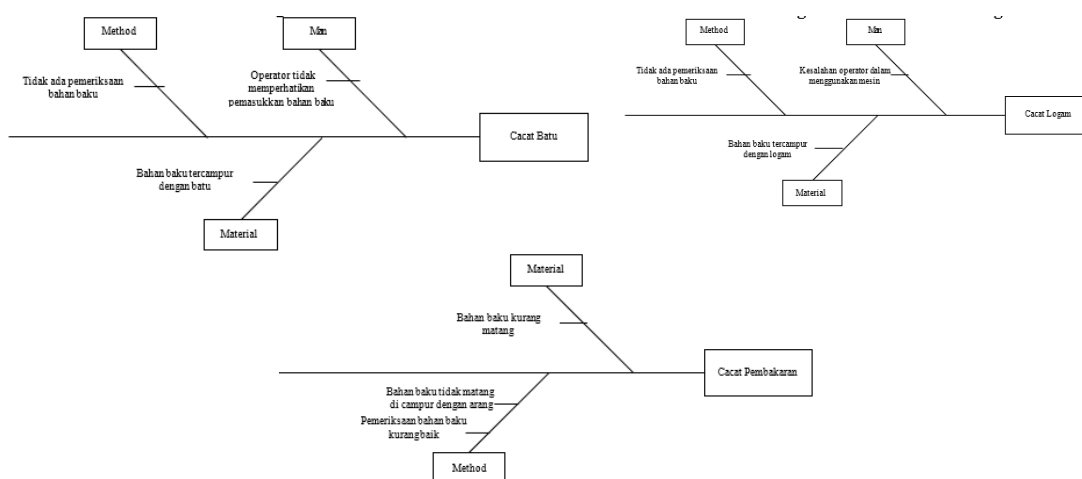
Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap penyebab terjadinya cacat pada proses produksi produk granul. Tahapan analisis yang dilakukan adalah dengan menggunakan 2 metode, yaitu diagram Ishikawa dan FEMA (*Failure Mode and Effects Analysis*).

Terdapat 2 jenis pemborosan yang terjadi pada proses produksi Granule, yaitu pemborosan waiting dan defect. Pemborosan waiting terjadi akibat mesin rusak yang menyebabkan downtime sehingga operator tidak bisa melanjutkan proses produksi. Pemborosan berikutnya adalah pemborosan yang diakibatkan oleh produk cacat. Pemborosan ini menyebabkan produk harus diproses ulang atau bahkan tidak bisa digunakan sama sekali. Gambar 3 merupakan analisa menggunakan diagram ishikawa.



Gambar 3. Diagram Isikawa Pemborosan Waiting

Berdasarkan Gambar 4, diketahui bahwa pemborosan waiting terjadi akibat faktor *method*, *machine*, dan *man*. Saat ini perusahaan tidak memiliki jadwal tetap untuk melakukan perawatan mesin. Hal ini menyebabkan mesin menjadi tidak terawat dan Perusahaan juga tidak dapat mengetahui kondisi secara pasti mesin-mesin yang digunakan pada saat proses produksi.



Gambar 4. Diagram Cacat Produk

Cacat batu adalah cacat di mana arang hasil proses crushing tidak hancur secara sempurna. Hal ini dikarenakan kualitas arang yang digunakan kurang baik, mulai dari kadar air yang terlalu rendah dan tingkat kematangan yang kurang. Ini menyebabkan ukuran granule lebih besar dan keras dibandingkan biasanya, sehingga tidak dapat digunakan [27].

Cacat logam ini terjadi pada saat proses *crushing*, di mana arang tercampur dengan logam. Hal ini menyebabkan granule tidak dapat digunakan dan tidak dapat dijual. Secara visual, perbedaan tidak terlalu jauh sehingga operator kesulitan dalam memisahkan antara logam dengan arang. Hasil dari kesalahan ini adalah granulat yang tercampur dengan logam.

Cacat pembakaran adalah cacat pada bahan baku arang yang kurang matang. Saat ini bahan baku yang kurang matang masih dimasukkan ke dalam proses *crushing* sehingga tercampur dengan granule yang sudah matang. Cacat ini dapat dideteksi pada saat proses ayak, di mana granule yang matang dan yang tidak matang akan dipisahkan. Cacat ini menyebabkan produk granule tidak bisa digunakan dan tidak bisa dijual.

Metode berikutnya yang digunakan untuk proses analisis terhadap cacat pada produk granule adalah FMEA. Ada 3 faktor yang diperhatikan yaitu Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D). Berikut ini adalah hasil analisis penyebab terjadinya cacat pada produk granule menggunakan FMEA.

Tabel 4. FMEA Analisis Penyebab Cacat Produk

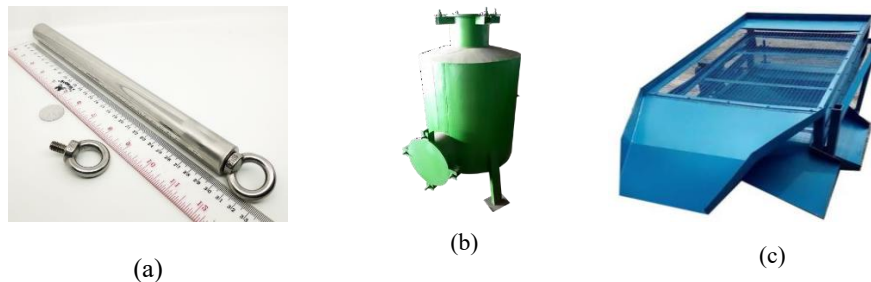
<i>Process Function</i>	<i>Potential Failure Mode</i>	<i>Potential Effect Of Failure</i>	<i>S</i>	<i>Potential Cause of Failure</i>	<i>O</i>	<i>Current Process Control</i>	<i>D</i>	<i>RPN</i>
Crushing	Cacat batu	Turunnya harga jual	7	Tidak ada SOP penerimaan dari supplier	7	Pemeriksaan setelah proses crushing	7	343
				Operator kurang teliti pada proses inspeksi	6		6	175
				Bahan baku tercampur batu	4		4	112
	Cacat Logam	Turunnya harga jual	7	Logam tercampur arang	6	Pemeriksaan setelah proses ayak	6	252
				Tidak ada SOP penerimaan dari supplier	7		7	343
				Operator kurang teliti pada proses inspeksi	5		4	140
Ayak	Cacat pembakaran	Menambah jumlah cacat	7	Bahan baku kurang matang	6	Pengumpulan bahan deffect	7	294
				Tidak ada mesin pembakaran	5	Barang di jual sebagai reject	6	210
				Tidak ada SOP penerimaan dari supplier	7	Pemeriksaan sebelum proses pengukuran produk	7	343

Setelah dilakukannya analisis penyebab cacat menggunakan FMEA, diketahui bahwa terdapat 3 penyebab terjadinya kecacatan dengan nilai RPN tertinggi, yaitu tidak ada SOP penerimaan dari supplier, bahan baku tercampur logam inspeksi, dan bahan baku kurang matang .

Tahapan Improve

Usulan perbaikan diberikan pada tahap ini. Usulan perbaikan diberikan berdasarkan permasalahan yang ditemukan pada tahap sebelumnya. Beberapa usulan diberikan seperti:

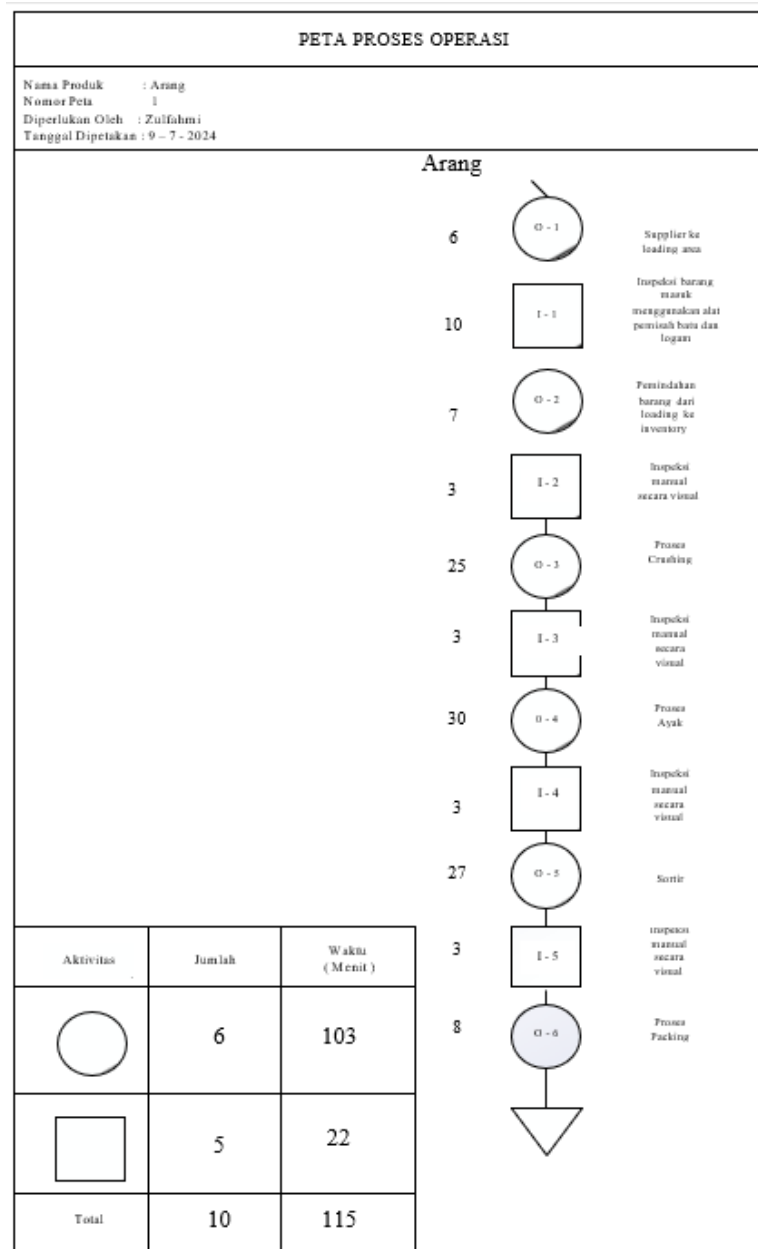
1. Pembelian alat berupa tongkat magnet (Gambar 5) untuk proses inspeksi granule sehingga bisa terhindar dari cacat logam
2. Pembelian alat pembakaran (Gambar 5) dan penambahan proses pembakaran sehingga granula yang didapatkan lebih baik karena dapat terbakar dengan sempurna.
3. Usulan penambahan alat mesin ayak sehingga terhindar dari cacat batu.



Gambar 5. Usulan Penambahan Alat (a) Tongkat Magnet, (b) Mesin Pembakaran, (c) mesin ayak
 4. Penambahan proses inspeksi saat bahan baku dikirim dari supplier. Sehingga proses produksi granule di PT X dapat digambarkan dengan peta proses produksi pada Gambar 6.

Tahap Kontrol

Tahap kontrol dilakukan untuk memastikan seluruh proses produksi granule di PT X dapat berjalan dengan baik sesuai dengan usulan yang diberikan sehingga dapat meningkatkan kualitas produk dan mengurangi pemborosan. Proses kontrol dilakukan dengan perancangan Lembar Instruksi Kerja Operator, Lembar Inspeksi Bahan Baku dan Lembar Pemeriksaan mesin.



Gambar 6. Peta Proses Produksi Usulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan metode *Lean Six Sigma* dalam mengidentifikasi pemborosan di proses produksi granulat PT X Dapat Diterapkan. Implementasi Value Stream Mapping (VSM) menunjukkan bahwa Manufacturing Lead Time (MLT) untuk proses produksi granule adalah 8174.58 detik dengan nilai Process Cycle Efficiency (PCE) sebesar 36.77%. Angka ini menunjukkan bahwa masih terdapat potensi perbaikan dalam efisiensi proses produksi. Selain itu, analisis Defect Per Million Opportunities (DPMO) menghasilkan nilai 9992.957, yang setara dengan tingkat sigma 3.8. Meskipun nilai ini sudah cukup baik, masih ada peluang untuk meningkatkan kualitas proses guna mencapai tingkat sigma yang lebih tinggi. Nilai sigma yang diperoleh sebesar 3,83 menunjukkan bahwa proses produksi granule pada PT X masih berada pada tingkat kinerja yang belum optimal jika dibandingkan dengan target perusahaan. Target perusahaan menetapkan batas cacat maksimum sebesar 2%, sedangkan hasil aktual menunjukkan tingkat cacat masih berada pada kisaran 2,83%–3,04%. Secara konseptual dalam Six Sigma, nilai sigma 3,83 setara dengan sekitar 9.900 cacat per satu juta peluang (DPMO), yang mengindikasikan bahwa proses masih menghasilkan variasi yang cukup tinggi. Dalam standar industri manufaktur secara umum, tingkat sigma sebesar 3–4 dikategorikan sebagai rata-rata industri (*industry average*), sedangkan perusahaan dengan kinerja kelas dunia (*world-class manufacturing*) umumnya berada pada level 5–6 sigma. Dengan demikian, posisi PT X masih berada pada level menengah dan memerlukan upaya perbaikan berkelanjutan untuk dapat mencapai standar kualitas yang lebih kompetitif, khususnya untuk mendekati target internal perusahaan maupun praktik terbaik industri.

Hasil analisis FMEA pada Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi sebesar 343 disebabkan oleh ketiadaan Standar Operasional Prosedur (SOP) penerimaan bahan baku dari supplier. Faktor ini menjadi sangat krusial dibandingkan dengan kerusakan mesin karena bersifat hulu (*upstream*) dan berdampak sistemik terhadap seluruh proses produksi. Ketiadaan SOP penerimaan menyebabkan bahan baku dengan kualitas rendah—seperti arang yang belum matang, tercampur batu, maupun logam—tetap masuk ke dalam proses produksi tanpa penyaringan awal yang memadai. Akibatnya, potensi cacat sudah “tertanam” sejak awal proses dan akan terus terbawa hingga tahap akhir, sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya defect pada berbagai tahapan seperti crushing, ayak, hingga sortir. Sebaliknya, permasalahan kerusakan mesin meskipun berdampak pada *downtime* dan pemborosan waktu (*waiting*), umumnya bersifat lebih lokal dan dapat segera diidentifikasi serta diperbaiki melalui tindakan teknis seperti perawatan atau penggantian komponen. Dampaknya cenderung terbatas pada efisiensi waktu, bukan langsung pada kualitas produk secara menyeluruh. Sementara itu, ketiadaan SOP penerimaan tidak hanya meningkatkan nilai *occurrence* karena bahan baku cacat terus masuk, tetapi juga menurunkan kemampuan detection karena tidak adanya standar inspeksi yang jelas di awal proses. Hal ini menjelaskan mengapa nilai RPN untuk faktor tersebut menjadi paling tinggi, karena kombinasi antara tingkat kejadian yang sering, dampak yang signifikan terhadap kualitas produk, serta rendahnya kemampuan deteksi dini. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perbaikan pada aspek sistem, khususnya melalui penyusunan dan implementasi SOP penerimaan bahan baku, merupakan prioritas utama dibandingkan perbaikan teknis mesin [28]. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip *Lean Six Sigma* yang menekankan pentingnya pengendalian kualitas sejak sumbernya (*quality at the source*) untuk mencegah terjadinya cacat secara berulang di sepanjang aliran proses produksi.

Perbaikan yang diusulkan dalam penelitian ini adalah penambahan alat pemisah loham, mesin pemakar tambahan, serta inspeksi bahan baku yang ketat, yang diharapkan mampu mengurangi jumlah cacat produk dan meningkatkan kualitas produk. Namun, efektivitas dari perbaikan ini sangat bergantung pada implementasi dan kepatuhan dalam menjalankan prosedur yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, pelatihan bagi karyawan terkait standar operasional prosedur (sop) serta monitoring berkala menjadi langkah penting yang harus diterapkan untuk memastikan keberlanjutan perbaikan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pemborosan *waiting* terjadi akibat kerusakan mesin pada saat proses produksi. Mesin sering rusak karena mesin yang digunakan tidak dirawat dengan baik. Pemborosan defect terjadi karena kualitas bahan baku yang kurang baik dan pemeriksaan bahan baku yang tidak terstandar. Nilai DPMO yang dimiliki untuk proses produksi Granule adalah 9992.957 unit dengan tingkat sigma 3.8. Nilai Value Added Time untuk proses produksi Granule adalah sebesar 3005.51 detik, untuk nilai Manufacturing Lead Time adalah sebesar 8174.087 dan nilai Process Cycle Efficiency adalah 36.77%. Usulan perbaikan untuk cacat batu adalah dengan menggunakan lembar pemeriksaan bahan baku, usulan perbaikan untuk cacat logam adalah menggunakan alat bantu tongkat magnet. Usulan perbaikan untuk cacat pembakaran adalah dengan menambah mesin pembakaran. Kemudian, untuk pemborosan *waiting* adalah dengan melakukan penjadwalan maintenance mesin secara berkala dan pemeriksaan mesin oleh operator secara harian dengan bantuan checklist.

Terdapat beberapa keterbatasan dalam penelitian ini, diantaranya:

1. Keterbatasan Data
Penelitian ini hanya mengandalkan data produksi dalam jangka waktu tertentu (Maret–Juni 2023). Hasil analisis mungkin tidak sepenuhnya mencerminkan fluktuasi produksi dalam jangka waktu yang lebih panjang atau kondisi yang lebih ekstrem.
2. Faktor Eksternal
Penelitian ini tidak mempertimbangkan faktor eksternal seperti fluktuasi harga bahan baku, kondisi pasar, atau kebijakan pemerintah yang dapat memengaruhi hasil produksi dan efisiensi operasional.
3. Keterbatasan Implementasi
Rekomendasi perbaikan yang diberikan, seperti penambahan alat dan prosedur inspeksi baru, belum diuji dalam implementasi jangka panjang. Oleh karena itu, dampak sebenarnya terhadap peningkatan kualitas dan efisiensi produksi masih perlu divalidasi melalui studi lanjutan.
4. Variasi Kualitas Bahan Baku
Kualitas bahan baku yang bervariasi dari pemasok dapat memengaruhi efektivitas perbaikan yang diusulkan. Standardisasi bahan baku atau kerja sama lebih lanjut dengan pemasok perlu diperhatikan dalam implementasi ke depan.
5. Resistensi terhadap Perubahan
Perubahan dalam sistem produksi sering kali menghadapi tantangan dalam hal resistensi karyawan terhadap metode baru. Oleh karena itu, pendekatan manajemen perubahan diperlukan untuk memastikan penerapan yang efektif.
6. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada pengujian efektivitas implementasi perbaikan yang telah diusulkan serta pengembangan model prediktif untuk mengoptimalkan proses produksi secara lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pongboonchai-Empl, T., Antony, J., Garza-Reyes, J. A., Komkowski, T., & Tortorella, G. L. (2024). Integration of Industry 4.0 technologies into Lean Six Sigma DMAIC: a systematic review. *Production Planning and Control*, 35(12), 1403–1428. <https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2188496>
- [2] Amjad, M. H. H., Shovon, M. S. S., & Hasan, A. S. M. M. (2024). Analyzing Lean Six Sigma Practices In Engineering Project Management: A Comparative Analysis. *Innovatech Engineering Journal*, 1(01), 245–255. <https://doi.org/10.70937/itej.v1i01.27>
- [3] Patel, A. S., & Patel, K. M. (2020). Critical review of literature on Lean Six Sigma methodology. In *International Journal of Lean Six Sigma* (Vol. 12, Issue 3, pp. 627–674). Emerald Group Holdings Ltd. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-04-2020-0043>
- [4] Tampubolon, S., & Purba, H. H. (2021). Lean six sigma implementation, a systematic literature review. In *International Journal of Production Management and Engineering* (Vol. 9, Issue 2, pp. 125–139). Universidad Politecnica de Valencia. <https://doi.org/10.4995/IJPME.2021.14561>
- [5] Dinesh, S. N., Shalini, M., Vijay, M., Vijey Mohan, R. C., Saminathan, R., & Subbiah, R. (2022). Improving the productivity in carton manufacturing industry using value stream mapping (VSM). *Materials Today: Proceedings*, 66, 1221–1227. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.015>
- [6] Rathi, R., Jagadeeswaran, M., Imran, G. M., Kumar, K. V., Eswar, K. V. R., & Sameerpasha, S. (2021). Investigation and implementation of VSM in water distillation plant. *Materials Today: Proceedings*, 50, 751–758. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.274>
- [7] Prakoso, E. R., & Bakhtiar, A. (2023). PERBAIKAN PROSES PRODUKSI COCONUT SHELL BRIQUETE CHARCOAL DENGAN METODE COST INTEGRATED VALUE STREAM MAPPING. *Industrial Engineering Online Journal*, 12(3).
- [8] Grace Tetteh, M., Gupta, S., Kumar, M., Trollman, H., Salonitis, K., & Jagtap, S. (2024). Pharma 4.0: A deep dive top management commitment to successful Lean 4.0 implementation in Ghanaian pharma manufacturing sector. *Heliyon*, 10(17). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36677>
- [9] Ramirez-Rodriguez, F., Pancho, P., Sanchez, D., Poudel, S., Bhavsar, D., & Ahmad, R. (2025). Design and Development of a Lean Robotic Cell for Concrete 3D Printing. *Procedia Computer Science*, 253, 475–484. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.109>

- [10] Zhang, C., Liu, C., Mao, H., Tian, G., Jiang, Z., Cai, W., & Wang, W. (2024). Integration of lean production and low-carbon optimization in remanufacturing assembly. *Advanced Engineering Informatics*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.102789>
- [11] Hariyani, D., Hariyani, P., Mishra, S., & Sharma, M. K. (2025). A literature review on lean tools for enhancing the quality in the outcome-based education system. *Thinking Skills and Creativity*, 57, 101793. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2025.101793>
- [12] Rubio, R., & Riesco, A. (2025). Maude2Lean: Theorem proving for Maude specifications using Lean. *Journal of Logical and Algebraic Methods in Programming*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.jlamp.2024.101005>
- [13] Muneeb Kanaan, B., Algohary, A. M., & Ibrahim, A. M. (2024). Optimized reversed phase liquid chromatography methodology for the determination of vonoprazan fumarate impurities: Towards Six Sigma quality standards and sustainability assessment. *Microchemical Journal*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2024.111535>
- [14] Watson, G. H., & DeYong, C. F. (2010). Design for six sigma: Caveat emptor. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(1), 66–84. <https://doi.org/10.1108/20401461011033176>
- [15] Francisco, M. G., Canciglieri Junior, O., & Sant'Anna, Â. M. O. (2020). Design for six sigma integrated product development reference model through systematic review. In *International Journal of Lean Six Sigma* (Vol. 11, Issue 4, pp. 767–795). Emerald Group Holdings Ltd. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2019-0052>
- [16] Adeodu, A., Maladzhi, R., Kana-Kana Katumba, M. G., & Daniyan, I. (2023). Development of an improvement framework for warehouse processes using lean six sigma (DMAIC) approach. A case of third party logistics (3PL) services. *Heliyon*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14915>
- [17] De Mast, J., & Lokkerbol, J. (2012). An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. *International Journal of Production Economics*, 139(2), 604–614. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.05.035>
- [18] Pranavi, V., & Umasankar, V. (2021). Application of Six Sigma approach on hood outer panel to reduce the defect in painting peel off. *Materials Today: Proceedings*, 46, 1269–1276. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.125>
- [19] Utama, D. M., & Abirfatin, M. (2023). Sustainable Lean Six-sigma: A new framework for improve sustainable manufacturing performance. *Cleaner Engineering and Technology*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100700>
- [20] Wang, C. N., Nguyen, T. D., Thi Nguyen, T. T., & Do, N. H. (2024). The performance analysis using Six Sigma DMAIC and integrated MCDM approach: A case study for microlens process in Vietnam. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.04.013>
- [21] Widiwati, I. T. B., Liman, S. D., & Nurprihatin, F. (2024). The implementation of Lean Six Sigma approach to minimize waste at a food manufacturing industry. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.01.022>
- [22] Natarus, M. E., Shaw, A., Studer, A., Williams, C., Dominguez, C., Mangual, H., Olmstead, J., Westmoreland, K., Gill, T., Wellington, W. Z., Wheeler, D. S., & Ida, J. B. (2024). Optimization of a Sterile Processing Department Using Lean Six Sigma Methodology, Staffing Enhancement, and Capital Investment. *Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety*. <https://doi.org/10.1016/j.jcjq.2024.10.006>
- [23] Maheshwari, P., & Devi, Y. (2024). Investigating the relationship between Lean Six Sigma performance strategy with digital twin modeling: Practices and factors. *Journal of Cleaner Production*, 436. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140449>
- [24] Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution* (2nd ed.). Milwaukee: ASQ Quality Press.
- [25] Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2014). *The Six Sigma Handbook* (4th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- [26] Aytakin, A., Okoth, B. O., Korucuk, S., Mishra, A. R., Memiş, S., Karamaşa, Ç., & Tirkolae, E. B. (2023). Critical success factors of lean six sigma to select the most ideal critical business process using q-ROF CRITIC-ARAS technique: Case study of food business. *Expert Systems with Applications*, 224. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120057>
- [27] Vicente, I., Godina, R., & Teresa Gabriel, A. (2024). Applications and future perspectives of integrating Lean Six Sigma and Ergonomics. In *Safety Science* (Vol. 172). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106418>
- [28] Zubaira, R. D., Kurniawan, W., & Yojana, R. M. (2024). Product Quality Improvement Of Stainless Steel Round Trash Bin With Six Sigma And Fuzzy Analytical Hierarchy Process Method At PTXYZ. *Ekombis Review: Jurnal Ilmiah Ekonomi Dan Bisnis*, 12(1), 435–450. <https://doi.org/10.37676/ekombis.v12i1>