

Harnessing Lean and Fmea Techniques to Eliminate Waste and Enhance Performance in Poultry Processing

Memanfaatkan Teknik Lean dan FMEA untuk Menghilangkan Pemborosan dan Meningkatkan Kinerja dalam Pemrosesan Ayam Hidup

Rofiatul Husna¹⁾, Rita Ambarwati Sukmono^{2)*}

¹⁾Program Studi Magister Manajemen, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Magister Manajemen, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Korespondensi: ritaambarwati@umsida.ac.id

Abstract. This study aims to improve efficiency and reduce waste in the live chicken processing industry by applying the Lean Manufacturing method and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). The Lean method was used to identify seven main types of waste, including transportation, inventory, movement, waiting, over-processing, over-production, and defects. Meanwhile, FMEA was applied to prioritize corrective actions based on the highest Risk Priority Number (RPN), which is calculated from severity, frequency of occurrence, and detection. The results showed that after the implementation of Lean and FMEA, there was a significant decrease in labor costs, operating costs, and raw material wastage ratio. Labor costs were reduced by 5.8%, operational costs dropped by 2.3%, and raw material wastage decreased by 1.2%. These decreases reflect increased efficiency in resource utilization and a reduction in non-value-added activities. The conclusion of this study shows that the combination of Lean Manufacturing and FMEA provides an effective solution to overcome waste and improve performance in the production process of the live chicken processing industry. The application of this method is potentially a model that can be adopted by similar industries to streamline operations and improve efficiency.

Keywords - Production Process, Lean Manufacturing, Failure Mode and Effects Analysis, Quality Improvement, Waste Reduction, Operational Efficiency

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi pemborosan dalam industri pengolahan ayam hidup dengan menerapkan metode Lean Manufacturing dan Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Metode Lean digunakan untuk mengidentifikasi tujuh jenis pemborosan utama, termasuk transportasi, inventori, gerakan, menunggu, pemrosesan berlebih, produksi berlebih, dan cacat. Sementara itu, FMEA diterapkan untuk memprioritaskan tindakan perbaikan berdasarkan Risk Priority Number (RPN) tertinggi, yang dihitung dari tingkat keparahan (severity), frekuensi kejadian (occurrence), dan deteksi (detection). Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah implementasi Lean dan FMEA, terjadi penurunan signifikan dalam biaya tenaga kerja, biaya operasional, dan rasio pemborosan bahan baku. Biaya tenaga kerja berkurang 5,8%, biaya operasional turun 2,3%, dan pemborosan bahan baku menurun 1,2%. Penurunan ini mencerminkan peningkatan efisiensi dalam pemanfaatan sumber daya dan pengurangan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi Lean Manufacturing dan FMEA memberikan solusi yang efektif untuk mengatasi pemborosan dan meningkatkan performa dalam proses produksi industri pengolahan ayam hidup. Penerapan metode ini berpotensi menjadi model yang dapat diadopsi oleh industri serupa untuk merampingkan operasional dan meningkatkan efisiensi.

Kata Kunci - Proses Produksi, Manufaktur Ramping, Analisis Modus Kegagalan dan Efek, Peningkatan Kualitas, Pengurangan Limbah, Efisiensi Operasional

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman, tingkat persaingan perusahaan yang bergerak dibidang manufaktur dituntut untuk selalu menyediakan kebutuhan konsumen secara cepat dan tepat, termasuk dalam hal penyediaan bahan baku untuk memenuhi kebutuhan dan menghadapi persaingan yang semakin variatif dan kompetitif dari dalam dan luar negeri [1][2]. Perusahaan manufaktur adalah industri yang mengelolah bahan mentah menjadi produk jadi atau setengah jadi. Produk-produk tersebut memiliki nilai jual karena melibatkan mesin dan tenaga kerja manusia dalam proses produksinya [3][4]. Terdapat beberapa kendala dalam proses produksi, salah satunya adalah munculnya waste [5]. Waste dapat berupa produk cacat, produksi berlebih, dan proses berlebih, yang dapat menurunkan hasil produksi dan menyebabkan kerugian bisnis [6][7]. Dalam hal ini, Lean Manufacturing, penilaian risiko, dan FMEA akan membantu untuk menentukan proses untuk mengurangi pemborosan [8]. Proses analisis Big Picture dan Value Stream Mapping (VSM) mengungkapkan keseluruhan aliran proses produksi perusahaan untuk mendapatkan gambar yang

lebih detail mengenai alirannya [9]. Analisis awal akan menentukan arah kebijakan baru yang dapat meningkatkan efisiensi mesin, tenaga kerja, dan bahan baku serta mengurangi biaya produksi [10][11].

Hasil produksi yang tidak sesuai dengan jumlah perencanaan yang telah ditetapkan oleh departemen Production Planning and Inventory Control (PPIC) akan meningkatkan resiko kerugian perusahaan. Ketidaksesuaian tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu keterlambatan bahan baku, mesin produksi yang bermasalah, dan kurangnya kesiapan dalam proses produksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pemborosan dari berbagai aliran aktivitas produksi untuk meningkatkan efisiensi kinerja perusahaan. Analisis pemborosan memiliki tujuh kategori yaitu transportasi, inventori, motion, waiting, overprocessing, overproduction dan defect [12][13]. Setiap aliran dan alur aktivitas proses produksi akan dikategorikan sesuai dengan ketujuh tabel waste tersebut. Dengan mengenali aktivitas produksi yang diklasifikasikan dalam tujuh pemborosan, analisis diagram tulang ikan dapat ditentukan untuk mengidentifikasi tiga area berisiko tinggi yang saling terkait [14][15]. Lean Manufacturing memaksimalkan efisiensi waktu dalam proses produksi sekaligus mengurangi atau menghilangkan kemungkinan terjadinya pemborosan [16]. Berdasarkan uraian tersebut, maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana mengidentifikasi pemborosan untuk meningkatkan produktivitas pengolahan ayam, mengkategorikan prioritas pemborosan pada proses produksi, dan mengetahui pemetaan aliran informasi dan material pada proses produksi untuk mereduksi pemborosan.

Penelitian berdasarkan paper “Single Minute Exchange Die (SMED): A sustainable and well-timed approach for Bangladeshi garments industry” [17] telah menunjukkan efektivitas SMED dalam mengurangi waktu set-up dan pemborosan di industry garmen, seperti yang dilakukan di Bangladesh. Namun, penerapan metode ini dalam industry pengolahan ayam hidup masih kurang dieksplorasi. Penelitian ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan tersebut dengan menerapkan pendekatan Lean khusus pada industri pengolahan ayam hidup, untuk mengidentifikasi dan mengurangi pemborosan serta meningkatkan efisiensi. Penelitian “The implementation of Lean Six Sigma approach to minimize waste at a food manufacturing industry” [14] juga menunjukkan efektivitas dalam mengurangi limbah di industri manufaktur, meskipun pendekatan Lean Six Sigma dan FMEA telah banyak diterapkan diberbagai industry seperti otomotif dan manufaktur, penelitian yang secara spesifik mengaplikasikan metode ini di industry pemrosesan ayam masih terbatas. Kurangnya penelitian tentang kombinasi Lean dan FMEA karena Lean dan FMEA biasanya digunakan secara terpisah diberbagai industri, oleh karena itu terdapat kesenjangan penelitian dalam penerapan gabungan kedua metode ini di pengolahan ayam hidup untuk secara sistematis mengurangi limbah dan meningkatkan efisiensi. Penelitian yang mengkaji secara mendalam bagaimana identifikasi limbah melalui prinsip Lean dapat dipadukan dengan perhitungan Risk Priority Number (RPN) tertinggi menggunakan FMEA di industri pengolahan ayam hidup yang masih jarang digunakan. Ini membuka peluang untuk mengeksplorasi bagaimana teknik-teknik yang sudah mapan ini bisa disesuaikan untuk mengatasi tantangan unik di industri pengolahan ayam hidup dan juga dapat diisi dengan menganalisis alur produksi, memetakan jenis-jenis limbah, serta menggunakan FMEA untuk memprioritaskan dan mengurangi risiko yang berkaitan dengan nilai RPN yang tinggi.

Dalam hal ini, perusahaan harus berperan aktif dalam melakukan perbaikan dan pengendalian pemborosan secara terus menerus. Perbaikan dan pengendalian secara terus menerus dapat dilakukan dengan melihat analisis data, cara yang sistematis untuk mencegah terjadinya kerusakan peralatan, produk cacat, dan inefisiensi tenaga kerja. Perbaikan dan pengendalian dalam penelitian ini menggunakan lima metode: Big Picture, VSM, Lean Manufacturing, Fishbone Diagram, dan FMEA, yang menjelaskan sebab dan akibat dari risiko pemborosan, pengendalian risiko, dan perbaikan [18]. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pemborosan dan menginvestigasi aktivitas-aktivitas pada aliran proses produksi untuk meningkatkan efisiensi kinerja di perusahaan. Kebaruan dalam penelitian ini adalah penggabungan dua metode lean thinking dan manajemen risiko untuk menganalisa penyebab pemborosan yang mungkin timbul pada proses produksi sehingga dapat segera ditawarkan alternatif perbaikan pada sistem produksi yang akan berdampak pada penurunan pemborosan dan peningkatan kualitas dan kuantitas produksi. Melalui kombinasi kedua metode tersebut, akan diperoleh data mengenai alur proses produksi yang sistematis dan terperinci. Kemudian, alur kerja yang detail tersebut akan dikombinasikan dengan penilaian risiko dari setiap tahapan dalam produksi, yang kemudian dapat menghasilkan data mengenai tingkat keparahan risiko yang mungkin muncul dalam alur produksi dan selanjutnya akan tercipta tindakan yang dapat ditawarkan kepada pihak manajemen mengenai tahapan perbaikan untuk mengurangi pemborosan.

II. LITERATURE REVIEW

Dalam konteks ekonomi global, semua industri harus memiliki produksi yang optimal untuk memenuhi kebutuhan konsumen di berbagai negara. Dalam memenuhi kebutuhan, sebuah industri menghadapi tantangan untuk menghasilkan produk yang berkualitas tinggi. Hal ini tidak terlepas dari persaingan pasar global yang semakin terbuka,

sehingga memudahkan produk luar negeri untuk masuk ke pasar dalam negeri. Salah satu bentuk pertahanan industri dalam negeri untuk melawan produk dari luar negeri adalah berlomba-lomba menghasilkan produk jadi yang berkualitas dengan nilai jual yang lebih rendah [19][20]. Produk dengan kualitas terbaik menjadi pilihan utama bagi konsumen karena kualitas merupakan nilai dari pemenuhan layanan yang diharapkan oleh konsumen. Oleh karena itu, perusahaan perlu mengoptimalkan proses produksi [16]. Salah satu definisi manajemen kualitas adalah suatu cara yang komprehensif untuk meningkatkan kinerja organisasi secara keseluruhan [21], yang bertujuan untuk memperbaiki proses dengan meminimalkan pemborosan, meningkatkan kualitas produk, dan mengurangi biaya produksi [22].

a. Lean Manufacturing

Lean Manufacturing adalah kegiatan produksi yang mempertimbangkan semua pengeluaran sumber daya yang ada untuk meningkatkan nilai ekonomi bagi pelanggan tanpa pemborosan [23] [24]. Pemborosan juga dapat diartikan sebagai aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah pada produksi. Dengan menganalisis aktivitas-aktivitas yang tidak bernilai tambah ini, Lean Production merupakan sebuah filosofi bisnis yang memperpendek waktu antara pemesanan dan pengiriman produk dengan cara menghilangkan pemborosan dari aliran nilai produk [25]. Berikut adalah tujuh pemborosan yang memiliki dampak signifikan, antara lain transporting; supply chain atau material handling yang tidak efektif berdampak pada waktu produksi yang lebih lama, inventory; kelebihan produk yang tersimpan di gudang mengakibatkan meningkatnya biaya inventory dan mengurangi kapasitas gudang, motion; pekerja yang melakukan sesuatu yang seharusnya tidak perlu atau waktu menunggu akan membuat pekerja lelah lebih awal, waiting menunggu pekerjaan terlalu lama dapat mengurangi efektifitas waktu pada pekerja, overprocessing; proses yang berlebihan dapat meningkatkan biaya produksi, overproduction; kelebihan persediaan dapat mengakibatkan meningkatnya resiko produk rusak karena terlalu lama disimpan di gudang, defect; produk yang tidak sesuai standar kualitas dapat mengurangi hasil produksi dan pemborosan tenaga kerja [10]. Lean Manufacturing berfokus pada pengurangan limbah dan peningkatan efisiensi; hal ini sangat relevan untuk perusahaan pengolahan ayam yang bertujuan untuk merampingkan operasi mereka [26]. Manufaktur ramping mendorong budaya perbaikan yang berkelanjutan. Ini berarti secara teratur menilai dan menyempurnakan proses pengolahan unggas untuk meningkatkan produktivitas dan mengurangi biaya. Menerapkan alat Lean seperti 5s, Kanban, dan Just-In-Time (JIT) dapat menghasilkan perbaikan yang berkelanjutan [27]. Keberhasilan implementasi Lean sangat bergantung pada komitmen dari manajemen. Memastikan bahwa prinsip-prinsip Lean tertanam dalam budaya perusahaan sangat penting untuk mendapatkan manfaat jangka panjang. Dalam pengolahan daging ayam, hal ini dapat melibatkan pelatihan rutin dan keterlibatan semua karyawan dalam inisiatif Lean. Studi ini melaporkan peningkatan yang signifikan dalam efisiensi produksi dan pengurangan limbah. Untuk pemrosesan daging ayam, penerapan serupa dapat mengurangi waktu pemrosesan, tingkat cacat yang lebih rendah, dan pemanfaatan sumber daya yang lebih baik, yang pada akhirnya menghasilkan profitabilitas dan daya saing yang lebih tinggi [28].

b. Risk Management

Manajemen Risiko adalah proses sistematis yang melibatkan identifikasi, analisis, dan evaluasi risiko yang terkait dengan aktivitas di lingkungan tertentu. Tujuan utamanya adalah untuk memahami dan memitigasi potensi bahaya secara komprehensif untuk memfasilitasi pengambilan keputusan yang tepat dan penerapan tindakan pencegahan yang tepat [29]. Manajemen risiko memiliki alur sistematis yang dimulai dengan identifikasi risiko. Dalam identifikasi tersebut dilakukan proses detail yang dapat menimbulkan bahaya dalam alur kegiatan. Proses tersebut dilakukan dengan melakukan survei, analisis data statis, dan wawancara dengan pihak-pihak yang terkait dengan alur suatu kegiatan. Kemudian, proses yang dilakukan setelah identifikasi risiko adalah proses analisis risiko, mengenali setiap dampak yang mungkin ditimbulkan dalam suatu alur kegiatan. Proses selanjutnya adalah evaluasi risiko, yaitu menentukan ambang batas toleransi risiko yang mungkin timbul. Langkah selanjutnya adalah manajemen risiko, yang menentukan tindakan pencegahan yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak dari bahaya yang ada. Terakhir adalah komunikasi risiko, yaitu penyampaian detail risiko dan alternatif solusi pada alur kegiatan kepada pihak manajemen sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam mengurangi bahaya pada alur kegiatan. Manajemen risiko yang efektif dalam pengolahan unggas melibatkan optimalisasi aliran material untuk meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi penundaan, dan memastikan ketersediaan bahan saat dibutuhkan. Menerapkan desain tata letak yang strategis, teknik optimasi ramping, dan praktik manajemen inventaris yang kuat sangat penting untuk memitigasi risiko yang terkait dengan gangguan aliran material. Langkah-langkah ini meningkatkan efisiensi operasional dan berkontribusi pada pemanfaatan sumber daya yang lebih baik serta meningkatkan profitabilitas dalam operasi pemrosesan unggas [30]. Mengintegrasikan manajemen risiko dengan tata kelola perusahaan secara signifikan meningkatkan kinerja dan ketahanan perusahaan manufaktur secara keseluruhan, termasuk perusahaan pengolahan unggas. Dengan mengadopsi kerangka kerja manajemen risiko yang komprehensif dan menanamkannya ke dalam

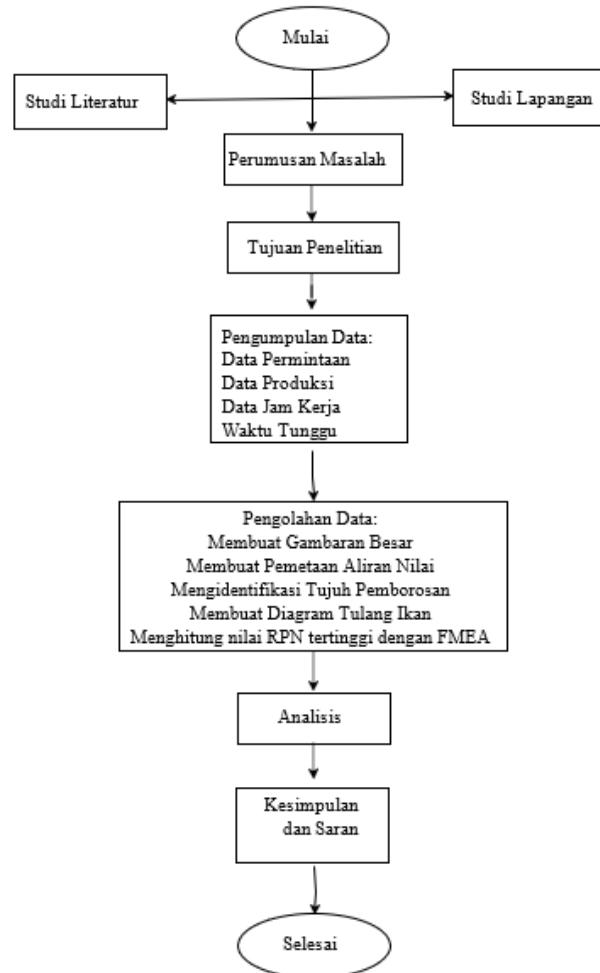
struktur tata kelola, perusahaan dapat menavigasi kompleksitas lingkungan bisnis modern dengan lebih baik, mencapai stabilitas dan kesuksesan yang luar biasa [31].

c. Integration of Lean Manufacturing and Risk Management

Untuk menghadapi persaingan bisnis yang semakin ketat, produsen harus memiliki komitmen yang tinggi untuk secara konsisten memenuhi kebutuhan konsumen. Konsistensi ini meliputi pemenuhan kualitas dan kuantitas produksi. Dengan memenuhi kebutuhan konsumen secara konsisten, diharapkan produsen dapat bersaing dengan produsen lain dan memaksimalkan keuntungan usahanya. Keuntungan yang maksimal dapat diperoleh dengan cara mengurangi biaya-biaya yang tidak perlu. Hal ini dapat berupa pengurangan pemborosan yang telah diidentifikasi atau mengelola penyebab-penyebab bahaya pada suatu proses produksi sehingga proses produksi dapat berjalan dengan optimal tanpa hambatan. Dengan menggabungkan metode lean manufacturing dan manajemen risiko, maka akan didapatkan suatu analisa aliran baru dalam produksi, dimana pendekatan yang dilakukan adalah menganalisa pemborosan utama yang ada kemudian mereduksi pemborosan tersebut sekaligus memberikan alternatif tindakan yang dapat dilakukan untuk mereduksi pemborosan tersebut. Kemudian, dengan menggunakan metode manajemen risiko, kita akan menganalisa data-data risiko yang mungkin muncul pada suatu aliran kegiatan sehingga dapat ditawarkan kegiatan pencegahan untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan risiko bahaya pada aliran kegiatan tersebut.

III. METODE PENELITIAN

Hasil produksi yang maksimal dapat dicapai dengan mengurangi pemborosan dan mengantisipasi potensi risiko. Sebuah metode dengan alur berikut ini dilakukan untuk meminimalkan pemborosan dan risiko.



Gambar 1. Alur Metode Penelitian

Diagram alur pada Gambar 1 menjelaskan bahwa perencanaan setiap langkah dalam penelitian ini sangat penting untuk mencapai hasil yang runtut dan maksimal. Selain itu, diagram alir tersebut juga menjelaskan beberapa langkah terencana yang harus dilakukan dalam penelitian, mulai dari studi literasi, perumusan masalah, hingga analisis data secara rinci sehingga dapat diperoleh kesimpulan yang dapat menjadi acuan dalam pengambilan keputusan.

a. Informants dan Wawancara

Proses ini dilakukan dengan memverifikasi validitas dan kredibilitas data melalui penelitian lapangan. Tahap awal pengumpulan data dilakukan dengan melakukan wawancara. Wawancara dilakukan secara terstruktur dan berjenjang, karena berfokus pada pengumpulan informasi penting selama pengumpulan data melalui wawancara. Peneliti juga menggunakan proses seleksi yang disengaja untuk mengidentifikasi informan kunci yang dapat memberikan informasi yang lebih luas. Informan untuk penelitian ini dipilih dengan menggunakan strategi pengambilan sampel yang disengaja, yang secara eksplisit menargetkan individu-individu yang diakui sebagai ahli dalam profesi mereka masing-masing. Wawancara dilakukan dengan informan yang memenuhi kriteria tertentu untuk memastikan kelengkapan data penelitian. Kriteria tersebut antara lain adalah karyawan tetap dengan masa kerja minimal lima tahun, memiliki pemahaman yang komprehensif mengenai proses kerja, dan memiliki jabatan minimal kepala bagian yang berhubungan langsung dengan proses produksi. Pertemuan dilakukan secara tatap muka untuk mengumpulkan informasi dari semua informan.

Untuk memenuhi kriteria di atas, didapatkan lima informan sebagai acuan penelitian yang dilakukan terhadap proses produksi perusahaan rumah potong ayam, diantaranya Kepala Unit yang menjelaskan alur kerja secara keseluruhan di unit kerja dan alur kerja yang terhubung di setiap departemen. Kepala PPIC Nasional menjelaskan perencanaan kerja perusahaan secara keseluruhan dan strategi untuk mencapai target produksi yang dibutuhkan. Kepala Unit PPIC menjelaskan perencanaan detail yang dibutuhkan dalam proses produksi. Kepala Bagian Produksi menjelaskan alur kerja produksi awal, penyortiran bahan baku dan penyediaan tenaga kerja untuk mengemas produk jadi yang siap dikirim ke konsumen. Kepala Bagian Quality Control menjelaskan alur pengendalian kualitas produk yang beriringan dengan proses produksi agar hasil produk jadi dapat memenuhi standar yang telah ditentukan.

b. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan dalam wawancara adalah data yang berhubungan dengan alur kegiatan dalam produksi. Setiap alur kegiatan dicatat secara detail kemudian dikategorikan berdasarkan tingkat risiko yang dapat terjadi dan diklasifikasikan berdasarkan tingkat pemborosan yang ada. Pengumpulan data juga menggunakan metode observasi lapangan secara langsung pada saat proses produksi berlangsung dalam kurun waktu satu bulan. Observasi lapangan dilakukan untuk mengetahui aktivitas yang dilakukan pada proses pra produksi hingga pasca produksi. Observasi lapangan juga digunakan untuk melihat kecocokan antara data wawancara dengan kenyataan yang ada di lapangan. Proses observasi dimulai dari permintaan konsumen yang dikumpulkan oleh bagian marketing, yang kemudian akan diproses oleh bagian PPIC untuk menghitung kebutuhan bahan baku, tenaga kerja, dan kebutuhan bahan pendukung lainnya. Proses perhitungan di bagian PPIC juga menjadi acuan awal untuk menentukan kualitas dan kuantitas produksi yang akan dicapai oleh bagian produksi. Proses pra-produksi membutuhkan bahan baku dan bahan pendukung yang akan dikumpulkan oleh bagian pembelian. Data yang digunakan oleh peneliti berfokus pada pengumpulan data mengenai detail kegiatan produksi. Pada proses produksi, beberapa kategori aktivitas dapat dianalisis dengan menggunakan metode FMEA dan VSM untuk membantu peneliti menggali penyebab terjadinya risiko, mengidentifikasi risiko, dan menentukan faktor apa saja yang menyebabkan terjadinya waste pada suatu aliran produksi.

c. Analisis Data

Tahap awal dalam analisis data adalah mencatat aktivitas produksi secara rinci dan kemudian mengkategorikan potensi pemborosan dan potensi risikonya. Menetapkan parameter untuk mengukur seberapa besar dampak dari setiap pemborosan. Peneliti menggambarkan aliran proses produksi secara keseluruhan dengan menggunakan metode big picture dan value stream mapping yang dapat merinci setiap aliran informasi, aliran material, dan waktu produksi [10] (Hasanah et al., 2023). Untuk mengkategorikan setiap pemborosan ke dalam tujuh kategori pemborosan. Temuan dari ketujuh kategori waste tersebut mengungkapkan faktor-faktor yang mendasari langkah-langkah pembuatan diagram fishbone. Pada diagram fishbone akan diperoleh gambaran yang lebih jelas mengenai pemborosan yang mempengaruhi hasil produksi [32]. Setiap tahap analisis data akan dihitung melalui RPN pada metode FMEA, dimana sistem dan proses dapat mengalami kegagalan atau masalah, termasuk kerusakan peralatan dan potensi kesalahan tenaga kerja [33]. Kegagalan yang muncul akan dinilai dengan mengalikan severity, occurrence, dan detection (Tabel 1) [34]. Mode kegagalan dengan RPN tertinggi akan menjadi prioritas utama untuk dilakukan tindakan perbaikan atau peningkatan kinerja [35]. Hasil pengolahan data kemudian disajikan dan diinterpretasikan, langkah terakhir adalah memberikan kesimpulan dan saran.

Tabel 1. Skala Dampak – Frekuensi - Deteksi

Dampak (Severity)	
Score	Deskripsi
1-2	Kemungkinan terjadinya sangat rendah
3-4	Kecil kemungkinan untuk terjadi
5-6	Kemungkinan terjadinya atau tidak terjadinya sama besar
7-8	Kemungkinan besar dapat terjadi
9-10	Memang kemungkinan besar akan terjadi
Frekuensi (Occurrence)	
Score	Description
1-2	Tidak pernah terjadi
3-4	Jarang (dengan frekuensi kejadian 10x dalam 1 bulan)
5-6	Sering (dengan frekuensi kejadian 15x dalam 1 bulan)
7-8	Lebih sering (dengan frekuensi kejadian 20x dalam 1 bulan)
9-10	Sangat sering (dengan frekuensi kejadian 25x dalam 1 bulan)
Deteksi	
Score	Description
1-2	Probabilitas pengontrol mendeteksi kegagalan sangat tinggi
3-4	Kemungkinan pengontrol mendeteksi kegagalan agak tinggi
5-6	Kemungkinan pengontrol mendeteksi kegagalan adalah rendah
7-8	Jarang sekali kemungkinan pengontrol akan menemukan potensi kegagalan
9-10	Ada kemungkinan yang sangat kecil bahwa pengontrol akan menemukan potensi kegagalan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Aliran informasi mengacu pada komunikasi dan pertukaran data dalam proses produksi. Aliran informasi yang efisien memastikan bahwa semua data, instruksi, dan umpan balik yang diperlukan disampaikan secara akurat dan cepat kepada para pemangku kepentingan yang relevan. Penerapan Lean dan FMEA memerlukan budaya kerja yang mendukung perbaikan berkelanjutan dan kolaborasi antar departemen. Jika perusahaan memiliki budaya kerja yang tidak mendukung perubahan maka akan menjadi hambatan besar. Proses pengolahan ayam hidup memiliki tantangan teknis yang unik, termasuk variabilitas dalam kualitas dan kebutuhan bahan baku dan kebutuhan untuk mematuhi standar keamanan pangan yang ketat. Implementasi Lean dan FMEA memerlukan penyesuaian yang signifikan pada prosedur operasional yang ada. Beberapa fasilitas tidak memiliki teknologi yang memadai untuk mendukung penerapan penuh Lean dan FMEA. Ini bisa termasuk kurangnya sistem monitoring otomatis atau software manajemen yang canggih. Industri pengolahan daging ayam dihadapkan pada berbagai regulasi terkait keamanan pangan, lingkungan, dan kesejahteraan hewan. Implementasi perubahan dalam proses harus selalu mematuhi regulasi ini, yang dapat membatasi fleksibilitas dalam menerapkan teknik baru. Tantangan yang dihadapi termasuk keterlambatan dalam komunikasi antar departemen, entri data yang tidak akurat yang menyebabkan kesalahan produksi, dan kurangnya pemantauan dan pelaporan waktu nyata. Memanfaatkan sistem eksekusi manufaktur untuk menyediakan data dan pembaruan waktu nyata diseluruh lantai produksi, mengembangkan protokol standar untuk komunikasi guna memastikan konsistensi dan akurasi, serta memperkenalkan sistem entri data untuk meminimalkan kesalahan manusia dan meningkatkan akurasi data.

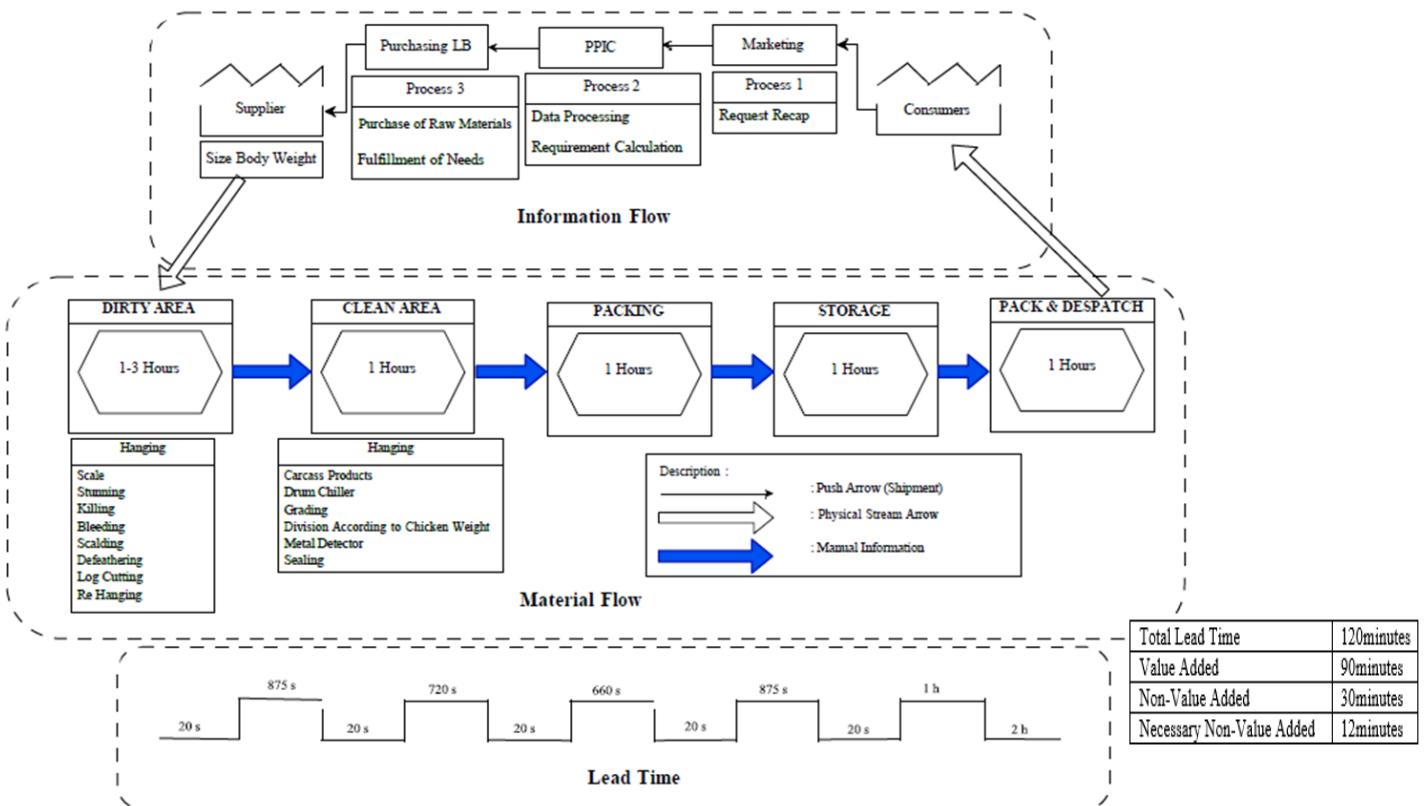
Pada Gambar 2 menunjukkan keseluruhan proses produksi yang dimulai dari kebutuhan yang dipesan oleh konsumen kemudian dicatat oleh bagian pemasaran untuk diolah menjadi data yang dapat digunakan sebagai data penjualan. Data peramalan dari bagian marketing diolah lagi oleh bagian *production planning and inventory control* (PPIC) untuk dihitung kembali, mulai dari kebutuhan bahan baku, ketepatan pemenuhan, dan jumlah tenaga kerja hingga kebutuhan pendukung seperti es batu, listrik, dan air. Jika bagian PPIC telah merumuskan perhitungan semua komponen, data perencanaan tersebut akan dikirim ke bagian pembelian untuk proses pemesanan bahan baku. Bagian pembelian juga bertugas untuk memastikan bahan baku datang sesuai dengan jadwal proses produksi, dimana seluruh proses tersebut terintegrasi dengan ketepatan pemenuhan tenaga kerja dalam proses produksi. Aliran material melibatkan pergerakan bahan baku, komponen, dan produk jadi melalui proses produksi. Aliran material yang efisien mengurangi penundaan dan memastikan material tersedia di tempat dan waktu yang tepat. Tantangan yang dihadapi termasuk tata letak yang tidak efisien, yang menyebabkan transportasi yang berlebihan, kemacetan pada tahap produksi tertentu, dan manajemen inventaris yang buruk, yang mengakibatkan kelebihan persediaan atau kehabisan stok [36].

Gambar 2 peta aliran proses produksi dengan menggunakan teknik Value Stream Mapping (VSM) berfungsi untuk mengidentifikasi pemborosan dan meningkatkan efisiensi dalam proses produksi. Pada gambar ini, beberapa pemborosan diidentifikasi dan dibagi menjadi tiga proses utama, yaitu aliran informasi, aliran material, dan lead time produksi. Aliran informasi ini mencakup komunikasi dan pertukaran data selama proses produksi. Aliran informasi yang efisien memastikan bahwa semua data, instruksi, dan umpan balik disampaikan dengan cepat dan akurat kepada para pemangku kepentingan yang relevan. Tantangan yang dihadapi antara lain keterlambatan dalam komunikasi antar departemen, entri data yang tidak akurat yang dapat menyebabkan kesalahan produksi, dan kurangnya pemantauan serta pelaporan secara real-time. Aliran material melibatkan pergerakan bahan baku, komponen, dan produk jadi melalui seluruh proses produksi. Aliran material yang efisien mengurangi keterlambatan dan memastikan bahwa bahan tersedia di tempat dan waktu yang tepat. Tantangan yang dihadapi termasuk tata letak yang tidak efisien, yang menyebabkan transportasi yang berlebihan, serta manajemen inventaris yang buruk yang dapat menyebabkan kelebihan persediaan atau kekurangan stok. Sedangkan Lead Time Produksi merupakan total waktu yang dibutuhkan dari awal hingga akhir proses produksi. Salah satu pemborosan terjadi pada Lead Time Produksi dimana waktu yang digunakan dalam kegiatan proses produksi tidak memberikan nilai tambah bagi produk, yang berdampak langsung pada efisien dan biaya produksi.

Dalam proses produksi sehari-hari perusahaan menggunakan dua shift kerja, melibatkan 300 pekerja dan 15 mesin, dengan total cycle time 72.000 detik, sedangkan waktu yang tersedia hanya 64.800 detik. Untuk mengurangi pemborosan, identifikasi dan pengelolaan terhadap aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah sangat penting. Beberapa tantangan lainnya termasuk ketergantungan yang tinggi pada proses manual serta mesin yang sudah usang, yang memerlukan peningkatan efisiensi melalui penerapan Lean Manufacturing dan penggunaan teknologi otomatis. Peta aliran ini digunakan untuk membantu perusahaan dalam mengidentifikasi pemborosan, termasuk pemborosan pada transportasi, inventori, gerakan, menunggu, pemrosesan berlebih, produksi berlebih, dan cacat, sehingga dapat dilakukan perbaikan yang diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dan menekan biaya produksi.

Pada diagram VSM tersebut juga menunjukkan keseluruhan proses produksi yang dimulai dari kebutuhan yang dipesan oleh konsumen kemudian dicatat oleh bagian pemasaran untuk diolah menjadi data yang dapat digunakan sebagai data penjualan. Data peramalan dari bagian marketing diolah lagi oleh bagian *production planning and inventory control* (PPIC) untuk dihitung kembali, mulai dari kebutuhan bahan baku, ketepatan pemenuhan, dan jumlah tenaga kerja hingga kebutuhan pendukung seperti es batu, listrik, dan air. Jika bagian PPIC telah merumuskan perhitungan semua komponen, data perencanaan tersebut akan dikirim ke bagian pembelian untuk proses pemesanan bahan baku. Bagian pembelian juga bertugas untuk memastikan bahan baku datang sesuai dengan jadwal proses produksi, dimana seluruh proses tersebut terintegrasi dengan ketepatan pemenuhan tenaga kerja dalam proses produksi. Aliran material melibatkan pergerakan bahan baku, komponen, dan produk jadi melalui proses produksi. Aliran material yang efisien mengurangi penundaan dan memastikan material tersedia di tempat dan waktu yang tepat. Tantangan yang dihadapi termasuk tata letak yang tidak efisien, yang menyebabkan transportasi yang berlebihan, kemacetan pada tahap produksi tertentu, dan manajemen inventaris yang buruk, yang mengakibatkan kelebihan persediaan atau kehabisan stok [36]. Pemasok akan mengirimkan bahan baku sesuai dengan jumlah dan jadwal yang dipesan oleh bagian pembelian (purchasing lb). Bahan baku tersebut akan diterima oleh bagian produksi dirty area, yang akan diproses mulai dari penyembelihan, pencabutan bulu, pengambilan jeroan, pemotongan ceker, dan kepala ayam. Setelah itu, bahan baku setengah jadi akan masuk kebagian produksi clean area, dimana bahan baku akan disortir dan dipotong sesuai dengan permintaan konsumen. Bahan baku yang sudah dikelompokkan akan dimasukkan kedalam area packing. Pada area packing, semua hasil produksi akan diberi label agar dapat dipisahkan antara produk segar yang dapat langsung dikirim kekonsumen dan produk yang harus melalui proses pembekuan dibagian cold

storage. Mendesain ulang tata letak pabrik untuk meminimalkan jarak transportasi, merampingkan aliran bahan, dan mengadopsi praktik manajemen persediaan yang ramping untuk mengurangi kelebihan persediaan dan memastikan pengisian ulang yang tepat waktu. Pengadaan ayam hidup diperoleh dari peternakan internal. Kemudian, proses seleksi dan pengangkutan ayam dilakukan dengan hati-hati untuk memastikan kualitas dan kesehatan ayam sebelum disembelih. Setiap ayam yang tiba di rumah potong melalui pemeriksaan kesehatan oleh tim dokter hewan untuk memastikan tidak ada penyakit atau kondisi yang dapat mempengaruhi kualitas daging. Ayam yang lolos dari pemeriksaan kesehatan kemudian memasuki proses penyembelihan yang diawasi secara ketat sesuai dengan standar keamanan pangan dan kesehatan hewan; proses ini meliputi beberapa tahap, seperti pemingsinan, penyembelihan, pencabutan bulu, dan pembersihan. Daging ayam yang telah disembelih akan diproses lebih lanjut sesuai dengan permintaan pasar, termasuk di dalamnya adalah pemotongan (dada, paha, dan sayap), pengasinan, dan pengemasan. Produk olahan yang dihasilkan meliputi produk siap masak dan produk siap saji yang memerlukan proses lebih lanjut, seperti pemberian bumbu. Produk olahan ayam dikemas dengan teknologi pengemasan yang menjamin kesegaran dan kehigienisan. Produk tersebut kemudian disimpan di cold storage dengan kondisi yang terkendali untuk menjaga kualitas hingga pendistribusian. Produk siap dipasarkan ke berbagai segmen konsumen, yaitu pasar tradisional, supermarket dan hypermarket, restoran dan industri hooka (hotel, restoran, katering), industri makanan, penjualan langsung dan e-commerce, serta ekspor ke Malaysia dan Timor Leste. Pengolahan limbah dari proses penyembelihan dan pengolahan dilakukan sesuai dengan standar Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL); limbah organik dapat diolah menjadi produk lain seperti pakan ternak atau kompos. Seluruh proses yang dilakukan dari hulu ke hilir diawasi oleh sistem manajemen mutu yang ketat untuk memastikan produk yang dihasilkan memenuhi standar keamanan pangan internasional [37], sertifikasi dan audit secara berkala dilakukan untuk menjaga kepatuhan terhadap peraturan dan standar industri. Inovasi dan pengembangan produk baru berdasarkan tren pasar dan kebutuhan konsumen juga dilakukan untuk meningkatkan efisiensi proses dan mengurangi pemborosan.



Gambar 2. Alur Proses Produksi – Pemetaan Aliran Nilai

Pada gambaran Big Picture atau pemetaan aliran dalam proses produksi pada Gambar 2, dapat diidentifikasi beberapa pemborosan yang terbagi menjadi tiga proses. Ketiga proses tersebut adalah aliran informasi, aliran material,

dan lead time produksi. Salah satu pemborosan terjadi pada production lead time, dimana waktu yang digunakan dalam kegiatan proses produksi tidak memberikan nilai tambah pada produk. Hal ini dapat diartikan sebagai pemborosan yang berdampak pada proses produksi. Dalam proses produksi, satu hari, dua shift membutuhkan kurang lebih 300 pekerja dan 15 mesin dengan total cycle time 72000s sedangkan waktu yang tersedia hanya 64800s. Untuk mengurangi pemborosan, maka perlu dilakukan identifikasi pemborosan. Production lead time adalah total waktu yang dibutuhkan dari awal hingga selesainya proses produksi. Mengurangi waktu tunggu produksi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi secara keseluruhan dan mengurangi biaya. Tantangan yang dihadapi oleh aktivitas yang tidak bernilai tambah yang menghabiskan waktu yang signifikan, total waktu siklus 72000 detik dengan hanya 64800 detik waktu yang tersedia, dan ketergantungan yang berlebihan pada proses manual dan mesin yang sudah ketinggalan zaman. Gunakan VSM untuk mengidentifikasi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah pada pengembangan produk, kembangkan strategi untuk menghilangkan atau meminimalkannya secara proaktif, lakukan pelatihan, dan kembangkan prosedur operasi standar untuk meningkatkan efisiensi tenaga kerja. Penghapusan pemborosan menggunakan analisis VSM untuk melakukan analisis terperinci untuk menentukan area pemborosan dan mengembangkan perbaikan yang ditargetkan.

Tabel 2. Rekapitulasi Wawancara 7 Pemborosan

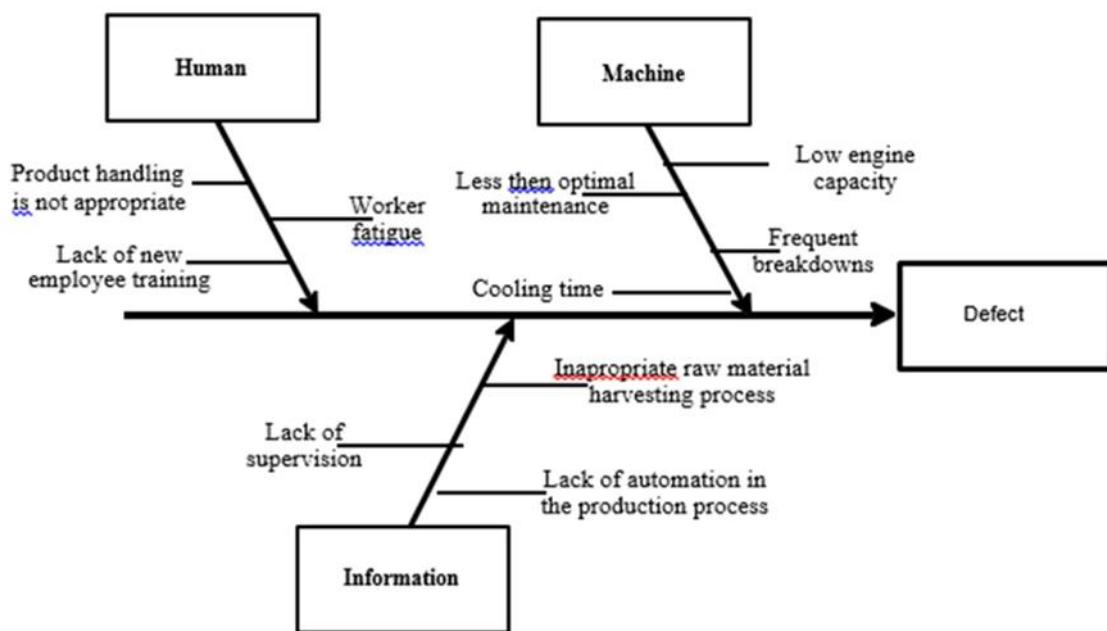
No.	Tipe Pemborosan	Deskripsi
1	Transportasi (<i>Transporting</i>)	Tidak ada pemborosan dalam proses pengiriman produk, dan prosedur untuk setiap langkah transportasi dalam proses produksi menjadi efisien dan bernilai tambah
2	Persediaan yang berlebihan (<i>Inventory</i>)	Pemborosan terjadi dalam proses produksi saat produk jadi menumpuk. Pemborosan ini terkait dengan bahan baku yang tidak memenuhi standar kualitas dan bahan baku yang tidak memenuhi permintaan konsumen.
3	Gerakan yang tidak perlu (<i>Motion</i>)	Beberapa gerakan dalam proses produksi harus dihindari, seperti mencari peti kosong untuk menempatkan setiap produk.
4	Menunggu (<i>Waiting</i>)	Waktu tunggu yang dihabiskan relatif jarang. Hal ini dapat dilihat pada peta value stream, di mana waktu tunggu yang paling besar terjadi pada 180 menit untuk mengurangi jumlah produksi. Waktu terbuang untuk bahan baku yang tidak dapat segera diproses di ruang produksi karena suhu (dingin) harus memenuhi standar yang ditentukan.
5	Produksi berlebih (<i>Overproduction</i>)	Proses produksi menggunakan sistem make-to-order, tetapi 7% dari output produk tidak sesuai dengan permintaan, melebihi toleransi perusahaan sebesar 6,5%
6	Pemrosesan yang berlebihan (<i>Overprocessing</i>)	Dalam proses produksi yang ada, proses yang dianggap kurang kritis atau pemborosan yang tidak menghasilkan nilai tambah tidak diulang
7	Produk cacat (<i>Defect</i>)	Beberapa jenis produk cacat yang dihasilkan dalam proses produksi, termasuk memar atau patah tulang, potongan dan produk yang tidak sesuai permintaan, gelembung pada kaki, dan daging memar.

Tabel 2 menjelaskan analisis tujuh pemborosan dalam proses transportasi dalam produksi yang efisien dan bernilai tambah, tanpa adanya pemborosan yang teridentifikasi; terus memantau proses transportasi untuk memastikannya tetap efisien dan beradaptasi dengan perubahan kebutuhan produksi. Analisis persediaan yang berlebihan Terdapat penumpukan produk jadi akibat bahan baku yang harus sesuai dengan standar kualitas dan permintaan konsumen. Menerapkan langkah-langkah kontrol kualitas yang lebih ketat untuk bahan baku untuk memastikan bahan baku memenuhi standar sebelum produksi, meningkatkan akurasi peramalan permintaan untuk menyelaraskan pengadaan bahan baku dengan permintaan konsumen yang sebenarnya, dan menerapkan praktik manajemen inventaris yang ramping seperti just-in-time untuk meminimalkan kelebihan persediaan. Gerakan (motion) yang tidak perlu, seperti mencari peti kosong, tidak menambah nilai pada proses produksi. Mendesain ulang stasiun kerja untuk memastikan semua alat dan bahan yang diperlukan mudah dijangkau dan menerapkan prosedur standar untuk mengurangi gerakan yang tidak perlu. Waktu tunggu yang signifikan terbuang percuma, terutama ketika bahan baku tidak dapat diproses

karena standar suhu yang harus dipenuhi. Optimalkan aliran proses untuk mengurangi waktu tunggu dengan memastikan bahwa bahan baku diproses segera setelah tiba dan menerapkan kontrol lingkungan yang lebih baik untuk mempertahankan standar suhu yang diperlukan untuk bahan baku. Sistem make-to-order menghasilkan 7% lebih banyak dari permintaan, melebihi toleransi perusahaan sebesar 6,5% untuk kelebihan produksi. Meningkatkan perencanaan dan penjadwalan produksi agar lebih selaras dengan permintaan aktual dan menerapkan sistem produksi yang fleksibel yang dapat dengan cepat beradaptasi dengan perubahan permintaan untuk mencegah kelebihan produksi. Dalam proses yang berlebihan, proses tertentu tidak memberikan nilai tambah dan dianggap sebagai pemborosan. Lakukan analisis terperinci pada setiap langkah produksi untuk mengidentifikasi dan menghilangkan overprocessing, fokus pada aktivitas yang menambah nilai pada produk, dan hilangkan atau kurangi aktivitas yang tidak menambah nilai. Produk cacat adalah proses produksi yang menghasilkan berbagai produk cacat, antara lain memar atau patah tulang, terpotong, produk yang tidak diinginkan, gelembung pada kaki, dan daging memar. Analisis akar masalah dilakukan secara menyeluruh dengan menggunakan FMEA untuk mengidentifikasi penyebab cacat, menerapkan inisiatif peningkatan kualitas seperti pemikiran ramping untuk mengurangi tingkat cacat, dan melatih karyawan dalam penanganan kertas dan teknik pemrosesan untuk meminimalkan cacat [18]. Menerapkan metodologi ramping dan pemantauan berkelanjutan akan membantu mempertahankan peningkatan ini dan beradaptasi dengan perubahan kebutuhan produksi.

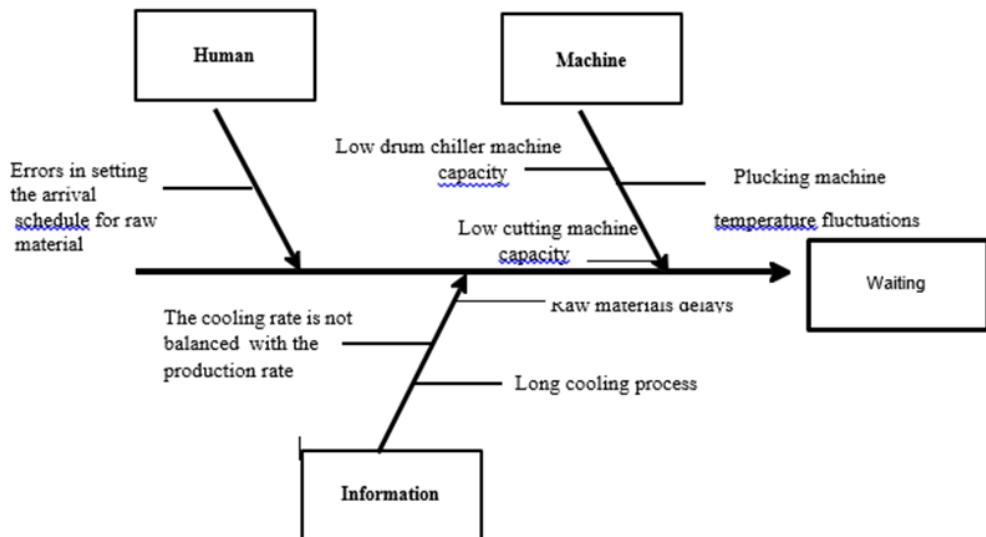
Pada kategori pemborosan transportasi, tidak ditemukan adanya pemborosan pada proses pengiriman produk. Proses dan prosedur pengiriman dinilai sudah efisien dan memberikan nilai tambah karena sudah menggunakan Transportation Management System (TMS), yaitu perangkat lunak yang dirancang untuk membantu perusahaan merencanakan, mengeksekusi, dan mengoptimalkan pengiriman barang, dengan fitur-fitur utama yang mencakup perencanaan dan optimasi rute, manajemen operator, pelacakan dan visibilitas, manajemen biaya, dan layanan pelanggan. Inventory waste mendapatkan nilai 25% karena pemborosan yang terjadi berupa penumpukan produk jadi yang berkaitan dengan bahan baku yang tidak memenuhi standar kualitas atau tidak sesuai dengan permintaan konsumen. Motion waste sebesar 15%, dimana beberapa gerakan dalam proses produksi harus dihindari seperti mencari peti kosong untuk meletakkan produk dan aliran tenaga kerja yang tidak efisien karena ruang produksi yang terbatas. Waiting sebesar 30%, dimana waktu tunggu yang terbuang relatif banyak dan sering terjadi, terlihat dari peta aliran bahan baku yang terhenti dengan berbagai alasan, dengan waktu tunggu yang paling signifikan terjadi selama 180 menit. Pemborosan overproduction sebesar 7%, dan proses produksi menggunakan sistem make-to-order. Namun, 7% dari output produk tidak sesuai dengan permintaan, melebihi toleransi perusahaan sebesar 6,5%, sehingga menghasilkan produk jadi yang tidak dapat diserap sepenuhnya oleh pasar. Pemborosan overprocessing, 5%, adalah proses yang ada dianggap kurang kritis atau pemborosan yang tidak memberikan nilai tambah dan tidak diulang. Pemborosan cacat sebesar 18%; beberapa jenis produk cacat yang dihasilkan dalam proses produksi, termasuk memar atau patah tulang, potongan yang tidak sesuai, gelembung pada kaki, dan daging ayam yang memar.

Dapat disimpulkan bahwa tiga dari tujuh pemborosan yang teridentifikasi memiliki dampak yang cukup besar. Ketiga waste tersebut adalah waiting, defect dan inventory. Untuk mengetahui penyebab dari ketiga waste tersebut, selain menggunakan tools pada Gambar 3, perlu juga dilakukan analisa menggunakan fishbone diagram untuk mengetahui akar permasalahan dan memberikan rekomendasi perbaikan terhadap waste yang terjadi. Tujuan dari penggunaan tools ini adalah untuk mencegah terjadinya cacat produk dan menambah kualitas dari suatu produk. Pembuatan diagram fishbone mengacu pada hasil dari ketujuh analisa waste pada metode sebelumnya. Dari metode ini akan diketahui hasil yang memiliki nilai waste paling besar yang harus segera diperbaiki atau dihilangkan. Fishbone diagram memiliki bentuk bagan yang menyerupai ikan, dimana tulang-tulang ikan akan menunjukkan potensi penyebab pemborosan sedangkan kepala ikan menunjukkan pemborosan. Gambar 4 menunjukkan diagram tulang ikan untuk pemborosan yang berhubungan dengan menunggu (waiting). Diagram ini membantu mengidentifikasi akar penyebab keterlambatan dalam proses produksi. Penyebab utama pemborosan menunggu (waste waiting) yang diidentifikasi pada Gambar 4 adalah keterlambatan penerimaan bahan baku dari pemasok yang mengganggu jadwal produksi, proses pendinginan bahan baku yang memakan waktu lebih lama dari yang diharapkan, menyebabkan keterlambatan pada tahap produksi berikutnya, dan kapasitas pendinginan tidak cukup untuk meimbangi laju produksi, yang menyebabkan kemacetan (harusnya penumpukan bahan baku). Penyebabnya secara visual diwakili dalam diagram tulang ikan, dengan setiap tulang ikan mewakili kategori akar penyebab yang berbeda, seperti masalah mesin, ketidakefisienan proses, dan faktor eksternal seperti keterlambatan pemasok. Diagram tulang ikan sangat membantu untuk menganalisis secara sistematis penyebab pemborosan menunggu dan mengembangkan strategi untuk mengatasinya, sehingga meningkatkan efisiensi produksi secara keseluruhan.



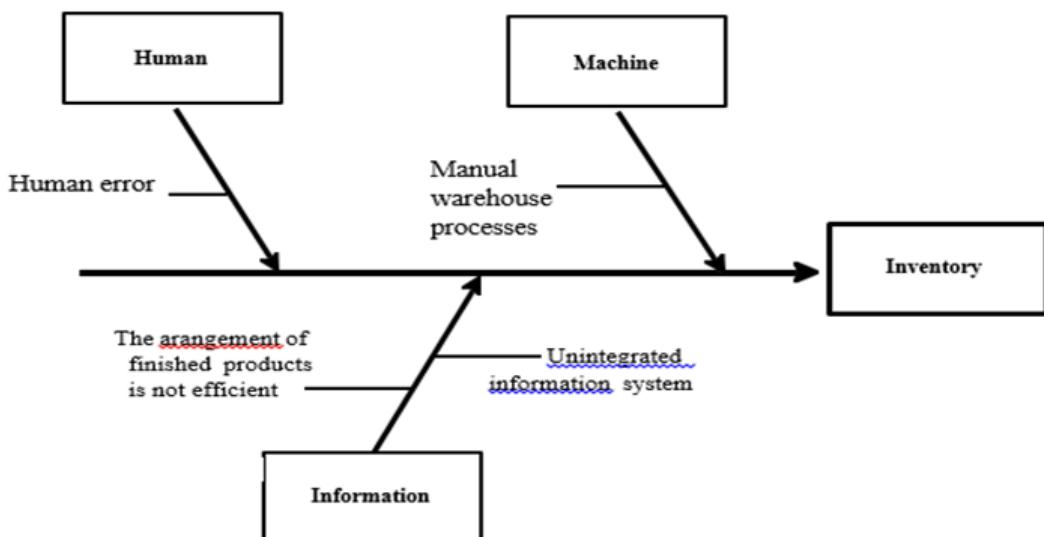
Gambar 3. Diagram Tulang Ikan untuk Cacat Pemborosan

Pada Gambar 3 menunjukkan diagram fishbone yang merupakan alat visual untuk secara sistematis mengidentifikasi dan menganalisis penyebab utama terjadinya cacat dalam proses produksi. Dalam kasus ini, diagram tersebut berfokus pada mengidentifikasi penyebab cacat dalam pengolahan daging ayam. Diagram fishbone juga dikenal sebagai diagram Ishikawa yang menyerupai bentuk ikan dengan kepala ikan mewakili masalah (cacat dalam proses produksi) dan tulang-tulang ikan mewakili berbagai kategori penyebab potensial. Setiap tulang utama pada diagram ini mewakili kategori luas yang dapat menyebabkan cacat. Pada diagram ini penyebab cacat terdiri faktor manusia, faktor-faktor terkait tenaga kerja seperti kurangnya kemampuan pekerja, pelatihan yang tidak memadai, dan kurangnya pengawasan. Penanganan yang buruk oleh pekerja selama proses produksi dapat menyebabkan cacat, seperti bagian ayam yang patah atau memar. Faktor metode ini mengacu pada ketidakefisienan atau prosedur yang salah dalam proses produksi yaitu teknik pemanenan yang tidak tepat dapat menghasilkan ayam berkualitas rendah dan menyebabkan peningkatan limbah. Faktor material, masalah yang berkaitan dengan kualitas bahan baku, seperti penerimaan ayam yang tidak memenuhi standart, dapat berkontribusi pada terjadinya cacat. Hal ini juga mencakup penggunaan atau penanganan material yang tidak efisien. Pada faktor mesin, cacat dapat disebabkan oleh peralatan yang sudah usang atau tidak berfungsi dengan baik. Jika mesin tidak dirawat dengan baik atau tidak mampu menangani kapasitas yang diperlukan, hal ini dapat menyebabkan produk cacat. Faktor lingkungan (faktor eksternal) suhu di area produksi turut berperan dalam menjaga kualitas produk. Kondisi lingkungan yang tidak sesuai dapat menyebabkan kontaminasi dan pembusukan. Pada faktor manajemen yang mempunyai kekurangan dalam pengawasan, penjadwalan, atau perencanaan operasional dapat memperburuk tingkat cacat. Jika manajemen tidak memberikan dukungan yang memadai untuk pemeliharaan preventif atau pelatihan staf, produk cacat lebih mungkin terjadi.



Gambar 4. Diagram Tulang Ikan untuk Pemborosan Menunggu

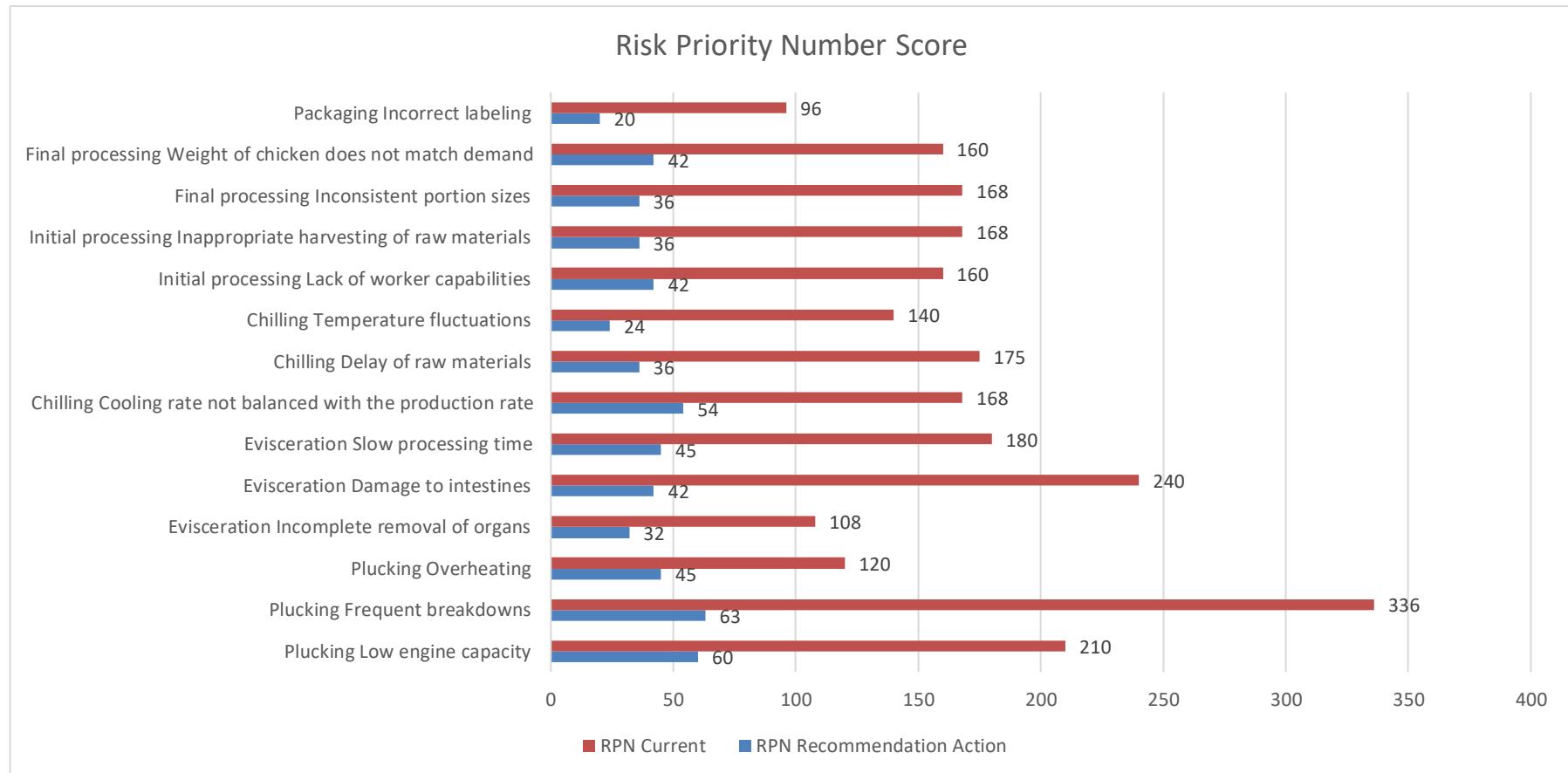
Pada Gambar 4 menunjukkan diagram fishbone yang digunakan untuk menganalisis penyebab utama dari pemborosan waktu tunggu dalam proses produksi. Ada beberapa penyebab utama yaitu, keterlambatan penerimaan bahan baku dari farm, ketika bahan baku tidak tiba tepat waktu hal ini mengganggu jadwal produksi yang telah direncanakan dan menyebabkan penundaan dalam memulai proses produksi. Proses pendinginan yang memakan waktu lebih lama dari perkiraan akan berdampak langsung pada penundaan tahap produksi selanjutnya. Kapasitas pendinginan yang tidak mencukupi yaitu ketidakseimbangan antara kapasitas pendinginan dan laju produksi mengakibatkan bottleneck dalam aliran produksi, karena bahan baku tidak dapat diproses lebih lanjut sebelum didinginkan pada suhu yang benar. Setiap tulang pada diagram ini mewakili kategori penyebab yang berbeda, ini sangat bermanfaat dalam menganalisis secara sistematis penyebab dari pemborosan waktu tunggu sehingga perusahaan dapat mengembangkan strategi untuk mengatasi masalah tersebut dan meningkatkan efisiensi produksi secara keseluruhan.



Gambar 5. Diagram Tulang Ikan untuk Pemborosan Inventori

Pada Gambar 5 menunjukkan diagram fishbone yang digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab dari pemborosan inventori dalam proses produksi. Penyebab dari pemborosan tersebut mencakup bahan baku yang tidak sesuai dengan permintaan menyebabkan penumpukan inventori. Ketidakseimbangan antara pemesanan dan permintaan sering kali terjadi karena kesalahan dalam pemenuhan oleh pemasok. Pengelolaan inventori yang tidak efisien menyebabkan kesulitan dalam mengelola stok. Produk jadi yang tidak tersusun dengan baik di gudang mengakibatkan penumpukan dan kesulitan dalam pengiriman tepat waktu. Penyebab lainnya merupakan strategi pemasaran yang tidak sesuai dengan permintaan actual konsumen menyebabkan overproduksi dan akhirnya menumpuknya stok barang jadi di gudang. Hal ini menunjukkan ketidaksesuaian antara produksi dengan permintaan pasar yang sesungguhnya. Dengan menggunakan diagram fishbone ini, perusahaan dapat lebih mudah mengidentifikasi akar penyebab utama dari pemborosan inventori dan langkah-langkah perbaikan dapat dirancang untuk mengurangi atau menghilangkan pemborosan tersebut. Pemborosan inventori yang diidentifikasi ini dapat dikurangi dengan merancang strategi pemasaran yang lebih akurat, meningkatkan praktik penyimpanan, dan mengelola rantai pasokan secara lebih efisien.

Penyebab terjadinya *waste defect* adalah kurangnya otomatisasi pada proses produksi, kurangnya pengawasan, dan proses pemanenan bahan baku yang tidak diminati. Akar penyebab dari *waste inventory* adalah bahan baku yang tidak laris, penataan produk jadi yang tidak efisien, dan strategi pemasaran yang kurang tepat sehingga terjadi penumpukan stok di gudang. *Waste waiting* terjadi karena keterlambatan kedatangan bahan baku, proses pendinginan suhu yang lama, dan laju pendinginan yang perlu diseimbangkan dengan laju proses produksi. Diagram tulang ikan menunjukkan potensi penyebab pemborosan. Gambar 5, diagram tulang ikan untuk inventaris pemborosan, mengidentifikasi akar penyebab pemborosan inventaris, yang meliputi bahan baku yang tidak diminati dan mengacu pada bahan baku yang tidak dibutuhkan atau digunakan secara efisien, yang menyebabkan kelebihan inventaris. Praktik organisasi dan penyimpanan yang buruk mengakibatkan kesulitan dalam mengelola persediaan (penataan produk jadi yang tidak efisien) dan strategi pemasaran yang tidak tepat yang tidak sesuai dengan permintaan aktual, yang menyebabkan kelebihan produksi dan kelebihan stok. Kemudian, pada Gambar 6, melakukan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) diperlukan untuk menganalisa faktor-faktor risiko yang menyebabkan suatu proses produksi mengalami kegagalan. Metode ini digunakan untuk mendapatkan *nilai RPN* (*Risk Potential Number*), yaitu dengan mengalikan nilai indikator *severity* (yang merupakan tingkat keseriusan dari waste yang terjadi), *occurrence* (yang merupakan tingkat seberapa seringnya waste tersebut terjadi), dan *detection* (indikator yang memperingatkan *mudahnya* waste tersebut terdeteksi). Dari hasil perkalian variabel-variabel tersebut akan didapatkan skala sudut tertinggi yang kemudian akan dijadikan dasar rekomendasi tindakan yang dapat dilakukan untuk mengurangi terjadinya pemborosan dalam proses produksi. Kapasitas mesin yang rendah dalam pemotongan memiliki RPN awal yang tinggi yaitu 210, mengindikasikan masalah yang signifikan karena peralatan yang sudah ketinggalan zaman atau kurang besar sehingga perlu dilakukan upgrade ke peralatan yang berkapasitas lebih tinggi. Kerusakan yang sering terjadi pada pemotongan dengan RPN tertinggi sebesar 336 merupakan hal yang kritis, yang disebabkan oleh pemeliharaan preventif yang tidak memadai, sehingga memerlukan penerapan jadwal pemeliharaan preventif. Laju pendinginan tidak seimbang dalam pendinginan; ini memiliki RPN 168, yang disebabkan oleh kapasitas drum chiller yang tidak memadai, dan menyarankan untuk meningkatkan kapasitas chiller atau menambah unit untuk menyeimbangkan laju pendinginan. Nilai RPN [29].



Gambar 6. Diagram Skor Angka Prioritas Risiko

No.	Process Step	Potential Failure Mode	Potential Effect of Failure	S	Potential Cause of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommended Actions	Action Taken	S	O	D	RPN
Waiting															
1	Plucking	Low engine capacity	Slow processing, bottlenecks	7	Outdated or undersized equipment	6	Scheduled maintenance	5	210	Upgrade to higher capacity equipment	Upgrade equipment	5	4	3	60
2	Plucking	Frequent breakdowns	Production delay, increased downtime	8	Inadequate preventive maintenance	7	Reactive maintenance	6	336	Implement a preventive maintenance schedule	Preventive maintenance plant	7	3	3	63
3	Plucking	Overheating	Equipment damage, increased repair costs	6	Continuous operation without cooldown	5	Manual monitoring	4	120	Install an automated cooling system	Automated cooling systems	5	3	3	45
4	Evisceration	Incomplete removal of organs	Contamination of meat, health risk	9	Equipment malfunction	4	Regular equipment maintenance	3	108	Upgrade maintenance schedule	Implemented new schedule	8	2	2	32
5	Evisceration	Damage to intestines	Fecal contamination, spoilage	8	Improper handling	5	Worker training programs	6	240	Enhance worker training programs	Enhanced training	7	3	2	42
6	Evisceration	Slow processing time	Bottlenecks reduced throughput	6	Manual process	5	None	6	180	Introduce automation or process improvement	Process improvement	5	3	3	45
7	Chilling	The cooling rate is not balanced with the production rate	Insufficient cooling, spoilage risk	7	Inadequate drum chiller capacity	6	Periodic capacity checks	4	168	Increase chiller capacity or add units	Added chiller units	6	3	3	54
8	Chilling	Delay of raw materials	Production delays, workflow disruption	7	Late arrival of chickens from the farm	5	Coordination with suppliers	5	175	Improve logistics coordination	Enhanced coordination	6	3	2	36

9	Chilling	Temperature fluctuations	Product spoilage, safety issues	7	Inadequate temperature control system	5	Manual temperature monitoring	4	140	Install an automated temperature control system	Automated control system	6	2	2	24
---	----------	--------------------------	---------------------------------	---	---------------------------------------	---	-------------------------------	---	-----	---	--------------------------	---	---	---	----

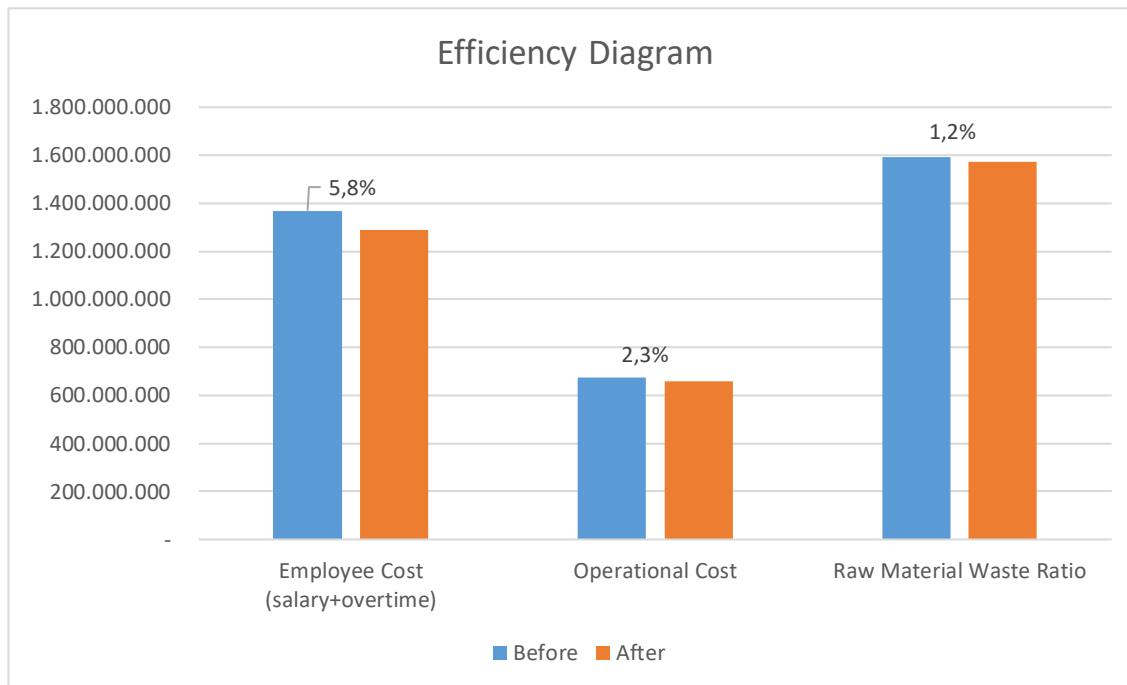
	Process Step	Potential Failure Mode	Potential Effect of Failure	S	Potential Cause of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommended Actions	Action Taken	S	O	D	RPN
Defect															
10	Initial processing	Lack of worker capabilities	High error rate, inconsistent quality	8	Insufficient training and experience	5	Basic training programs	4	160	Enhance training programs and regular assessments	Enhanced training programs	7	3	2	42
11	Initial processing	Inappropriate harvesting of raw materials	Poor quality chickens, increased waste	7	Improper handling during harvesting	6	Supplier quality checks	4	168	Train suppliers on proper harvesting techniques	Supplier training program	6	3	2	36
12	Final processing	Inconsistent portion sizes	Waste, increased costs	7	Manual cutting processes	6	Visual inspection	4	168	Standardize portion sizes using automated cutting machines	Automated cutting machines	6	3	2	36
Inventory															
13	Final processing	The weight of chicken does not match the demand	Customer dissatisfaction, repurchase of finished materials	8	Variability in chicken sizes	5	Weight checks and adjustments	4	160	Implement a precise weighing system and adjust the sourcing	Improved weighing systems	7	3	2	42
14	Packaging	Incorrect labelling	Regulatory non-compliance	6	Human error during labelling	4	Double-checking labels	4	96	Implement automated labelling systems	Automated labelling systems	5	2	2	20

Tabel 3. FMEA Matrix

Pada Tabel 3 FMEA Matrix dapat dilihat bahwa pada kategori pemborosan waktu tunggu terdapat beberapa penyebab pemborosan, antara lain penanganan produk yang kurang tepat, kelelahan pekerja, dan perawatan mesin yang kurang optimal sehingga menyebabkan rendahnya kualitas produk yang dihasilkan. Nilai RPN tertinggi menunjukkan area yang paling kritis yang perlu diperbaiki. Sebagai contoh, kerusakan yang sering terjadi pada proses pengambilan memiliki RPN awal sebesar 336, yang mengindikasikan prioritas tinggi untuk jadwal pemeliharaan preventif. Nilai keparahan, kejadian, dan deteksi membantu dalam memahami masalah yang paling berdampak dan sering terjadi serta seberapa baik masalah tersebut dapat dikendalikan. Tindakan yang disarankan sering kali melibatkan peningkatan peralatan, jadwal pemeliharaan yang lebih baik, dan pelatihan pekerja yang lebih baik untuk mengatasi akar penyebab masalah dan mengurangi kemungkinan dan dampak kegagalan. Menerapkan tindakan yang disarankan menghasilkan penurunan skor RPN yang signifikan, yang mengindikasikan efektivitas perbaikan yang ditargetkan. Pemantauan dan penyesuaian proses yang berkelanjutan berdasarkan analisis FMEA dapat meningkatkan efisiensi produksi dan kualitas produk. Pendekatan ini memastikan pengurangan risiko yang sistematis dan peningkatan berkelanjutan dalam alur kerja produksi.

Penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian ini dilakukan oleh Yuni Pratiwi dkk. (2020), berfokus pada pengurangan pemborosan pada produksi manufaktur dengan memberikan pelatihan pada level operator untuk meningkatkan kualitas hasil produksi, menggunakan metode Value Stream Mapping (VSM) untuk mengidentifikasi dan mengurangi pemborosan [38]. Sementara itu, penelitian Félix Jácquez dkk. (2021) berfokus pada penerapan Lean Manufacturing pada pengenalan proses baru di perusahaan kereta api dengan menggunakan berbagai alat Lean seperti 5S, Kanban, dan Just-In-Time (JIT) untuk meningkatkan efisiensi operasional. Hasilnya adalah peningkatan efisiensi produksi, penurunan tingkat cacat, dan pemanfaatan sumber daya yang lebih baik [39]. Penelitian Aan Khunaifi dkk. (2022) berfokus pada meminimasi pemborosan pada produksi dengan melakukan perawatan rutin pada mesin produksi dengan menggunakan metode Lean Manufacturing dan penggunaan FMEA untuk mengidentifikasi dan menganalisa penyebab utama pemborosan. Hasil dari perawatan rutin pada mesin produksi meningkatkan hasil produksi dan mengurangi kerusakan mesin yang sering terjadi [40]. Ada juga penelitian yang dilakukan oleh Hasanah dkk. (2023) yang berfokus pada pemetaan value creation pada aktivitas pengadaan dan penjualan kaleng bekas dengan menggunakan VSM untuk mengurangi pemborosan dengan menggunakan metode Lean Manufacturing dan VSM untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi aktivitas-aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah hasilnya terjadi peningkatan efisiensi dan berkurangnya pemborosan pada proses pengadaan dan penjualan [26]. Dari beberapa penelitian sebelumnya, peneliti melakukan penelitian ini dengan kebaruan yang menggabungkan metode Lean Manufacturing dan FMEA untuk memberikan pendekatan yang tepat, efektif, dan komprehensif dalam mengidentifikasi dan menghilangkan pemborosan serta mengelola risiko dalam proses produksi. Hal ini menghasilkan sebuah penelitian yang dapat membantu dalam mengembangkan alur kerja yang lebih efisien dan lebih aman. Metode Lean Manufacturing dan FMEA menggunakan Big Picture Mapping, Value Stream Mapping (VSM), seven waste analysis, dan fishbone diagram untuk mengidentifikasi dan menganalisa penyebab pemborosan secara detail.

Akar penyebab utamanya adalah kurangnya jadwal pemeliharaan preventif yang kuat. Hal ini menyebabkan peralatan perlu diservis secara teratur, yang menyebabkan seringnya terjadi kerusakan. Praktik pemeliharaan reaktif semakin memperburuk masalah ini, karena mereka hanya menangani masalah setelah terjadi, menyebabkan waktu henti yang tidak terencana dan gangguan dalam produksi. Peralatan yang digunakan dalam proses pemetikan mungkin perlu diperbarui atau ukurannya perlu disesuaikan untuk memenuhi permintaan produksi saat ini. Hal ini dapat menyebabkan kelebihan beban dan tekanan pada mesin, sehingga meningkatkan kemungkinan kerusakan. Pemantauan manual dan kebutuhan akan sistem otomatis untuk mendeteksi tanda-tanda awal keausan berkontribusi pada sulitnya memprediksi dan mencegah kerusakan peralatan.



Gambar 7. Diagram Efisiensi

Pada Gambar 7 menunjukkan Diagram Efisiensi yang berisi perbandingan biaya dan rasio pemborosan sebelum dan sesudah implementasi Lean dan FMEA. Diagram ini mencakup tiga kategori utama yang dipantau untuk menilai dampak perbaikan. Perbandingan biaya yang muncul merupakan dampak dari perbaikan jadwal perbaikan mesin produksi secara berkala, sehingga frekuensi kerusakan pada mesin produksi dapat direduksi dan berdampak langsung terhadap efisiensi biaya yang ada. Efisiensi yang dihasilkan yaitu efisiensi biaya karyawan yang sebelum penerapan sebesar Rp 1.369.728.000,- menjadi Rp 1.290.968.640,- implementasi Lean dan FMEA membantu mengurangi biaya karyawan, termasuk pengeluaran lembur dengan meningkatkan efisiensi tenaga kerja. Biaya operasional sebelum penerapan sebesar Rp 674.566.000,- dan sesudah Rp 658.910.000,-, terdapat sedikit pengurangan biaya operasional, yang menunjukkan bahwa perbaikan pada proses dan penjadwalan kerja juga memengaruhi biaya operasional secara keseluruhan. Rasio pemborosan bahan baku yang sebelum penerapan Rp 1.591.758.886,- menjadi Rp 1.572.657.779,-, rasio pemborosan bahan baku menurun setelah penerapan metode Lean dan FMEA, menunjukkan bahwa ada peningkatan dalam pemanfaatan bahan baku, yang berarti lebih sedikit limbah yang dihasilkan.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa penerapan metode Lean Manufacturing dan Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) secara sinergis di industri pengolahan ayam hidup berhasil meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi pemborosan di berbagai tahap proses produksi. Penerapan Lean Manufacturing membantu mengidentifikasi tujuh jenis pemborosan utama (transportasi, inventori, gerakan, menunggu, pemrosesan berlebih, produksi berlebih, dan cacat), sedangkan FMEA digunakan untuk memprioritaskan tindakan perbaikan berdasarkan tingkat risiko tertinggi. Hasil penelitian menunjukkan penurunan signifikan dalam biaya tenaga kerja, biaya operasional, dan rasio pemborosan bahan baku. Setelah penerapan Lean dan FMEA; biaya tenaga kerja berkurang 5,8% dari Rp1.369.728.000 menjadi Rp1.290.968.640. Biaya operasional berkurang 2,3% dari Rp674.566.000 menjadi Rp658.910.000. Pemborosan bahan baku turun 1,2% dari Rp1.591.758.886 menjadi Rp1.572.657.779. Penelitian ini menyoroti pentingnya pemeliharaan preventif, peningkatan efisiensi tenaga kerja, dan penggunaan teknologi otomatisasi untuk mendukung proses produksi yang lebih ramping dan efektif. Dengan identifikasi dan pengurangan pemborosan serta risiko yang tepat, perusahaan dapat meningkatkan produktivitas dan mengurangi biaya secara berkelanjutan. Dampak dari penelitian ini merupakan integrasi Lean dan FMEA di industri pengolahan ayam hidup dapat menjadi model yang efektif untuk diterapkan di industri sejenis yang ingin merampingkan operasional, meningkatkan efisiensi, dan mengurangi pemborosan.

Terlepas dari penerapan Lean Manufacturing yang luas diberbagai sector, integrasi Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) dalam industri pengolahan ayam hidup masih belum banyak diteliti. Sebagian besar penelitian yang ada berfokus pada Lean atau FMEA secara terpisah, terutama dalam lingkungan manufaktur berskala besar seperti industri otomotif atau elektronik. Namun, tantangan unik yang ditimbulkan oleh sector pengolahan ayam hidup, seperti variabilitas yang tinggi dalam kualitas bahan baku dan standar keamanan oangan yang ketat, membutuhkan pendekatan yang lebih bermuansa yang menggabungkan kedua metodologi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan ini dengan memberikan analisis komprehensif tentang bagaimana Lean dan FMEA dapat diterapkan secara sinergis untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi pemborosan dalam pemrosesan ayam hidup.

REFERENSI

- [1] D. Ary Setyo Prabowo, "Pengendalian Persediaan Bahan Baku Untuk Menunjang Kelancaran Proses Produksi Filter A-5828 (Studi Kasus di Industri Komponen Otomotif) Inventory Control Of Raw Material To Support The Smoothness Of Production Process Filter A-5828 (Case Study at Automotive Component Industry)," *J. Ind. Manuf.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–14, 2023.
- [2] R. Ambarwati, Dedy, R. Dijaya, and I. Anshory, "A multi-method study of risk assessment and human risk control for power plant business continuity in Indonesia," *Results Eng.*, vol. 21, no. September 2023, 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.101863.
- [3] R. Ambarwati Sukmono Supardi, J. Mojopahit, and B. Sidoarjo, *Buku Ajar Supply Chain Management Theory and Practice UMSIDA PRESS*. 2021.
- [4] S. Karch *et al.*, "Lean Engineering - Identifying waste in engineering chains," *Procedia CIRP*, vol. 120, pp. 463–468, 2023, doi: 10.1016/j.procir.2023.09.020.
- [5] A. J. Naeemah and K. Y. Wong, "Selection methods of lean management tools: a review," *Int. J. Product. Perform. Manag.*, vol. 72, no. 4, pp. 1077–1110, 2023, doi: 10.1108/IJPPM-04-2021-0198.
- [6] P. A. G. Aguirre, L. Pérez-Domínguez, D. Luviano-Cruz, J. J. S. Noriega, E. M. Gómez, and M. Callejas-Cuervo, "PFDA-FMEA, an integrated method improving FMEA assessment in product design," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 4, pp. 1–15, 2021, doi: 10.3390/app11041406.
- [7] N. Zaky, M. Z. Ahmed, A. Alarjani, and E.-A. Attia, "Lean manufacturing implementation in iron and steel industries: effect of wastes management on the production costs," *J. Eng. Des. Technol.*, 2023, doi: 10.1108/jedt-01-2023-0012.
- [8] A. Napoleone, A. Andersen, T. D. Brunoe, and K. Nielsen, "Jurnal Sistem Manufaktur manusia : Literatur tinjauan pemungkinkan konfigurasi ulang untuk mengurangi upaya konfigurasi ulang dan kerangka kerja klasifikasi," vol. 67, no. November 2022, pp. 23–34, 2023.
- [9] M. A. Habib, R. Rizvan, and S. Ahmed, "Implementing lean manufacturing for improvement of operational performance in a labeling and packaging plant: A case study in Bangladesh," *Results Eng.*, vol. 17, no. November 2022, p. 100818, 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2022.100818.
- [10] S. Suradi, D. Lantara, and A. Padhil, "Waste analysis of tapioca unloading process with lean supply chain approach in Makassar Port," *Acta Logist.*, vol. 10, no. 1, pp. 71–77, 2023, doi: 10.22306/al.v10i1.353.
- [11] R. Azadnia, S. Fouladi, and A. Jahanbakhshi, "Intelligent detection and waste control of hawthorn fruit based on ripening level using machine vision system and deep learning techniques," *Results Eng.*, vol. 17, no. November 2022, p. 100891, 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.100891.
- [12] A. Rahmawan and C.-C. Chen, "Aplikasi Teknik Quality Function Deployment Dan Lean Manufacturing Untuk Minimasi Waste," *JEMIS*, vol. 2, no. 1, 2014, [Online]. Available: <http://jemis.ub.ac.id>
- [13] H. D. Armyanto, D. Djumharyanto, and S. Mulyadi, "Penerapan Lean Manufacturing dengan Metode VSM dan FMEA untuk Mereduksi Pemborosan Produksi Sarden," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 13, no. 1, Apr. 2020, doi: 10.24843/jem.2020.v13.i01.p07.
- [14] I. T. B. Widiwati, S. D. Liman, and F. Nurprahatin, "The implementation of Lean Six Sigma approach to minimize waste at a food manufacturing industry," *J. Eng. Res.*, no. February, 2024, doi: 10.1016/j.jer.2024.01.022.
- [15] F. E. Zanatta and J. C. E. Ferreira, "Deploying Strategies with Integrated Events in a Home Appliance Manufacturer: Application of FMEA Through Toyota Kata," *Product Lifecycle Management. Green and Blue Technologies to Support Smart and Sustainable Organizations*. Springer International Publishing, pp. 438–455, 2022. doi: 10.1007/978-3-030-94399-8_32.
- [16] R. Z. Firdaus and W. Wahyudin, "Penerapan Konsep Lean Manufacturing untuk Meminimasi Waste pada PT

- Anugerah Damai Mandiri (ADM)," *J. Integr. Syst.*, vol. 6, no. 1, pp. 21–31, Jul. 2023, doi: 10.28932/jis.v6i1.5632.
- [17] G. F. I. Toki *et al.*, "Single Minute Exchange Die (SMED): A sustainable and well-timed approach for Bangladeshi garments industry," *Clean. Eng. Technol.*, vol. 12, no. November 2022, p. 100592, 2023, doi: 10.1016/j.clet.2022.100592.
- [18] S. Ahmad, J. Khan, Z. A. Khan, and M. Asjad, "A comparative assessment of Conventional and Rough-Based Multi-Criteria methods for failure mode and effects analysis of Root canal treatment," *Decis. Anal. J.*, vol. 6, no. January, p. 100170, 2023, doi: 10.1016/j.dajour.2023.100170.
- [19] C. Weckenborg, P. Schumacher, C. Thies, and T. S. Spengler, "Flexibility in manufacturing system design: A review of recent approaches from Operations Research," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 315, no. 2, pp. 413–441, 2024, doi: 10.1016/j.ejor.2023.08.050.
- [20] I. VLACHOS *et al.*, "Smart and flexible manufacturing systems using Autonomous Guided Vehicles (AGVs) and the Internet of Things (IoT) To cite this version: HAL Id: hal-03825237 Smart and Flexible Manufacturing Systems using Autonomous Excelia group, Excelia Business S," 2022.
- [21] R. Clancy, D. O'Sullivan, and K. Bruton, "Data-driven quality improvement approach to reducing waste in manufacturing," *TQM J.*, vol. 35, no. 1, pp. 51–72, 2023, doi: 10.1108/TQM-02-2021-0061.
- [22] H. Dyah Susanti, "Risk prevention of plywood product defects using Failure Mode Effect Analysis (FMEA) in the Indonesian plywood processing industry," *Wood Mater. Sci. & Eng.*, vol. 18, no. 6, pp. 2049–2059, 2023, doi: 10.1080/17480272.2023.2214527.
- [23] W. Eko Prasetyo and R. Ambarwati, "Analysis of Supply Chain Management System Using Lean Six Sigma with Performance Indicator Measurement Control," 2022, doi: 10.35917/tb.v22i2.313.
- [24] A. Johan and D. Soediantono, "Literature Review of the Benefits of Lean Manufacturing on Industrial Performance and Proposed Applications in the Defense Industries," 2022. [Online]. Available: <http://www.jiemar.org>
- [25] R. Čiarnienė and M. Vienižindienė, "Lean Manufacturing: Theory And Practice," *Econ. Manag.*, vol. 17, no. 2, Aug. 2012, doi: 10.5755/j01.em.17.2.2205.
- [26] S. Z. N. Hasanah, D. S. Oetomo, and A. F. I. Fata, "Pemetaan Penciptaan Nilai Pada Aktivitas Pengadaan Dan Penjualan Skrap Logam Kaleng Menggunakan Value Stream Mapping Untuk Mengurangi Waste Di Pt Anisa Jaya Utama," *J. Ilm. Tek.*, vol. 2, no. 3, pp. 1–14, 2023.
- [27] B. Salah, M. Alnahhal, and M. Ali, "Risk prioritization using a modified FMEA analysis in industry 4.0," *J. Eng. Res.*, vol. 11, no. 4, pp. 460–468, 2023, doi: 10.1016/j.jer.2023.07.001.
- [28] C. Maware, M. O. Okwu, and O. Adetunji, "A systematic literature review of lean manufacturing implementation in manufacturing-based sectors of the developing and developed countries," *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 13, no. 3, pp. 521–556, Jan. 2022, doi: 10.1108/IJLSS-12-2020-0223.
- [29] R. Ambarwati, D. Yuliastri, and W. Sulistiowati, "Human resource risk control through COVID-19 risk assessment in Indonesian manufacturing," *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 74, no. February 2021, p. 104665, 2022, doi: 10.1016/j.jlp.2021.104665.
- [30] Z. Zhang, X. Wang, X. Wang, F. Cui, and H. Cheng, "A simulation-based approach for plant layout design and production planning," *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, vol. 10, no. 3, pp. 1217–1230, 2019, doi: 10.1007/s12652-018-0687-5.
- [31] H. Can, A. Razman, and B. Abdul, "Integrating Risk Management and Corporate Governance: Implications for Performance in China's Manufacturing Sector," vol. 03, no. 04, pp. 41–51, 2024, doi: 10.56982/dream.v3i04.229.
- [32] Suhadak and T. Sukmono, "Improving Product Quality With Production Quality Control," *PROZIMA (Productivity, Optim. Manuf. Syst. Eng.)*, vol. 4, no. 2, pp. 41–50, 2021, doi: 10.21070/prozima.v4i2.1306.
- [33] J. Juliani and C. B. Nawangpalupi, "Peningkatan Kualitas Pelayanan Publik Bidang Verifikasi Standar Ukuran dan Kalibrasi Alat Ukur Metrologi Teknis dengan Pendekatan Lean Six Sigma," *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 6, no. 2, pp. 141–154, Dec. 2020, doi: 10.30656/intech.v6i2.2519.
- [34] A. P. Subriadi and N. F. Najwa, "The consistency analysis of failure mode and effect analysis (FMEA) in information technology risk assessment," *Heliyon*, vol. 6, no. 1, p. e03161, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03161.
- [35] U. Ragadini, "Proposal Skripsi Rancangan Kinerja Technical Staff Sebagai Productivity Improvement Pada Line Produksi Garmen Lingerie Dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (Fmea)," vol. 2, no. 1, 2024.

- [36] A. P. Proença and P. D. Gaspar, “Lean Optimization Techniques for Improvement of Production Flows and Logistics Management : The Case Study of a Fruits Distribution Center,” 2022.
- [37] C. G. Awuchi, “HACCP, quality, and food safety management in food and agricultural systems,” *Cogent Food Agric.*, vol. 9, no. 1, 2023, doi: 10.1080/23311932.2023.2176280.
- [38] Y. Pratiwi, N. H. Djanggu, and P. Anggela, “Penerapan Lean Manufacturing Untuk Meminimasi Pemborosan (Waste) Dengan Menggunakan Metode Value Stream Mapping (Vsm) Pada Pt. X,” *J. TIN Univ. Tanjungpura*, vol. 4, no. 2, pp. 8–15, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jtinUNTAN/article/view/42196>
- [39] R. H. Félix Jácquez, M. M. Cruz Rentería, M. D. Delgado Celis, A. A. Lara Negrete, D. Torres Ramírez, and C. L. Dávila Martínez, “Case Study of Lean Manufacturing Application in a New Process Introduction into a Rail Company,” *Techniques, Tools and Methodologies Applied to Quality Assurance in Manufacturing*. Springer International Publishing, pp. 397–418, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-69314-5_18.
- [40] A. Khunaifi, Rangga Primadasa, and Sugoro Bhakti Sutono, “Implementasi Lean Manufacturing untuk Meminimasi Pemborosan (Waste) Menggunakan Metode Value Stream Mapping di PT. Pura Barutama,” *J. Rekayasa Ind.*, vol. 4, no. 2, pp. 87–93, 2022, doi: 10.37631/jri.v4i2.560.

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.