

FMEA dan Fuzzy FMEA dalam Penilaian Risiko *Lean Waste* di Industri Manufaktur

Lusia Permata Sari Hartanti^{1*}, Julius Mulyono², Virarrey Mayang³ 

^{1,2,3} Program Studi Teknik Industri, Universitas Katolik Wdya Mandala Surabaya, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received July 21, 2022

Revised July 23, 2022

Accepted August 14, 2022

Available online October 25, 2022

Kata Kunci:

Waste, Lean, Manufacturing, FMEA, Fuzzy FMEA

Keywords:

Waste, Lean, Manufacturing, FMEA, Fuzzy FMEA



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2022 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

ABSTRAK

Salah satu masalah yang terjadi di industri adalah kemungkinan terjadinya permasalahan akibat pemborosan (*waste*) sepanjang *value stream*. Perusahaan yang mengolah kawat dan turunannya berupa paku, mur, baut, dan bendrat yang dalam proses produksi muncul *waste*. Dalam proses produksinya sering terjadi timbulnya *waste* yang dapat mengganggu proses produksi dan menimbulkan kerugian bagi perusahaan. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis *potential cause* yang kritis setiap *waste* pada proses produksi paku dan merumuskan usulan perbaikan. Metode yang digunakan adalah FMEA dan *fuzzy FMEA*. Subjek penelitian adalah proses produksi paku di PT XY. Nilai *occurrence (O)*, *severity (S)*, dan *detection (D)* ditentukan oleh kepala produksi dengan mengisi sejumlah pertanyaan dalam kuesioner FMEA. Nilai S, O, D akan diolah menggunakan FMEA dan *fuzzy FMEA* untuk mendapatkan *Risk Priority Number (RPN)* dan *fuzzy FMEA*. Hasil analisis menggunakan FMEA dan *fuzzy FMEA*, dua *potential cause* dari *waste* yang kritis dan mendesak untuk ditindaklanjuti adalah *skill* penanganan mesin dari operator yang rendah karena kurangnya pelatihan berkala dan penegasan *Standard Operating Procedure (SOP)*, dan mesin digunakan merupakan mesin yang lama. Rumusan usulan perbaikan untuk menangani *potential cause* adalah dengan mengadakan pelatihan dan penegasan pelaksanaan SOP dan perbaikan sistem pemeliharaan mesin.

ABSTRACT

One of the problems that occur in the industry is the possibility of problems due to waste along the value stream. Companies that process wire and their derivatives in the form of nails, nuts, bolts, and bendrats which in the production process waste appears. In the production process, waste often occurs which can disrupt the production process and cause losses for the company. The purpose of this research is to analyze the critical potential cause of each waste in the nail production process and formulate suggestions for improvement. The method used is FMEA and fuzzy FMEA. The research subject is the nail production process at PT XY. The occurrence (O), severity (S), and detection (D) values are determined by the head of production by filling out a number of questions in the FMEA questionnaire. The values of S, O, D will be processed using FMEA and fuzzy FMEA to get the Risk Priority Number (RPN) and fuzzy FMEA. The results of the analysis using FMEA and fuzzy FMEA, two potential causes of waste that are critical and urgent to be followed up are low machine handling skills from operators due to lack of regular training and confirmation of Standard Operating Procedures (SOP), and machines used are old machines. The formulation of the proposed improvement to deal with potential causes is to conduct training and confirm the implementation of SOPs and repair the engine maintenance system.

1. PENDAHULUAN

Perubahan global yang semakin kompetitif membuat setiap industri ditantang untuk menghasilkan produk yang berkualitas dan terus melakukan peningkatan keunggulan secara bertahap. Keunggulan tersebut dapat dicapai dalam segi kualitas (*quality*), harga (*cost*), ketepatan waktu pengiriman (*delivery*), dan fleksibilitas (Armyanto et al., 2020; Nurprihatin et al., 2017). Tercapainya keunggulan maka diharapkan dapat tercipta produk sesuai dengan keinginan pelanggan yang berujung pada terciptanya kepuasan. Kepuasan pelanggan yang semakin tinggi akan mendatangkan keuntungan bagi perusahaan. Oleh karena itu, perusahaan harus memberi perhatian penuh pada produk yang dihasilkan agar dapat meraih kepuasan pelanggan dan tetap unggul dalam persaingan pasar.

Lean manufacturing (LM) merupakan filosofi manajemen yang memiliki tujuan untuk meminimasi jumlah semua sumber daya yang digunakan dalam berbagai aktivitas (Palange & Dhatrik, 2021; Touriki et al., 2021). LM bertujuan memperbaiki sistem sehingga *lead time* dapat dikurangi dan *output* dapat ditigkatkan dengan megeliminasi pemborosan yang terjadi (Ristyowati et al., 2017). LM digunakan untuk mengoptimalkan performa dari proses produksi karena mampu mengidentifikasi, mengukur, menganalisis,

*Corresponding author.

E-mail addresses: lusia.hartanti@ukwms.ac.id (Lusia Permata Sari Hartanti)

dan memberikan solusi perbaikan (Armyanto et al., 2020; Buer et al., 2021). LM bertujuan untuk meningkatkan produktivitas, mengurangi *waste*, dan perbaikan secara berkelanjutan. *Waste* tersebut menurunkan tingkat produktivitas perusahaan sehingga merugikan perusahaan. Padahal pada hakikatnya produktivitas merupakan hal yang penting yaitu meningkatkan *output* perusahaan dengan melakukan penghematan *input* (Anosike et al., 2021; Faritsy Al Zaqi & Suseno, 2015). Sehingga perusahaan perlu mengurangi *waste*, karena hal tersebut tidak memiliki nilai tambah bagi produk, yang merupakan hasil dari awal proses produksi hingga produk dikirimkan ke *warehouse* untuk *finished good*. Mendeteksi risiko yang muncul dari *waste* merupakan tindakan preventif dalam mencegah kesalahan prosedur yang dapat mempengaruhi kinerja dan profitabilitas perusahaan.

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) sebagai sarana untuk melakukan analisis manajemen risiko dapat diadopsi untuk mencegah kejadian yang tidak diinginkan untuk menghindari kekecewaan terhadap kepuasan pelanggan (Akula et al., 2022; Filz et al., 2021). FMEA juga dapat digunakan untuk meningkatkan proses dan meningkatkan kualitas produk di setiap tahap produksi (Hayati & Reza Abroshan, 2017). Mode kegagalan yang berbeda diprioritaskan berdasarkan *occurrence* (O), *severity* (S), dan *detection* (D) yang akan menghasilkan *Risk Priority Number* (RPN) (Calache et al., 2021; Liu & Li, 2021). S merupakan tingkat keparahan dampak yang disebabkan oleh *potential cause*, O merupakan kemungkinan terjadinya *potential failure* dengan melihat *potential cause*, dan D adalah tingkat efektivitas prosedur deteksi yang bertujuan untuk mencegah *potential failure* (de Souza & Carpinetti, 2014). FMEA konvensional tidak memiliki fleksibilitas yang cukup untuk mencerminkan pendapat para ahli (Mandal & Maiti, 2014). Kelemahan dari FMEA yaitu pernyataan yang terdapat pada FMEA seringkali dinilai subyektif dan bersifat kualitatif yang diungkapkan dalam bahasa ilmiah. S, O, dan D dinilai memiliki asumsi kepentingan yang sama, tetapi pada kenyataannya dalam praktiknya kepentingan ketiganya tidak sama (Balaraju et al., 2019; Liu & Li, 2021). Terdapat nilai yang sama dari perkalian S, O, dan D dalam menghasilkan RPN, sementara level kepentingan dapat mengartikan representasi risiko yang berbeda. Oleh karena itu, untuk memperbaiki kelemahan tersebut, maka terdapat evaluasi kegagalan lain yang disebut *fuzzy FMEA*. Konsep *fuzzy* pada algoritma FMEA memberi kemungkinan bahwa data yang digunakan, berupa data linguistik maupun data numerik, pada setiap datanya akan mempunyai nilai keanggotaan pada setiap atributnya (Laali, 2021). Pendekatan *fuzzy FMEA* adalah fondasi terbaik untuk mendapatkan tanggapan yang akurat (Calache et al., 2021; Gargama & Chaturvedi, 2011).

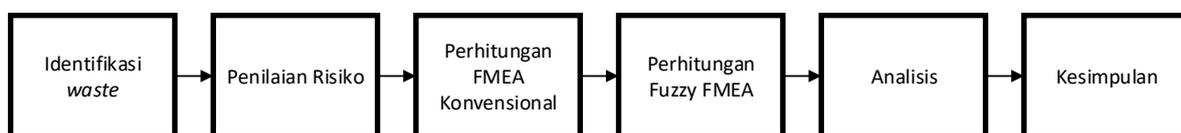
Adanya tren yang berkembang pada literatur FMEA dengan menggunakan istilah *fuzzy linguistik* untuk merepresentasikan tiga faktor risiko yaitu S, O, dan D. Logika *fuzzy* adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis sistem yang sifatnya tidak pasti (Sugandi & Armentaria, 2021). Penggunaan logika *fuzzy*, maka penelitian diharapkan akan mendapatkan hasil yang lebih akurat dibandingkan menggunakan pendekatan FMEA konvensional. Sebagian besar penelitian yang ada mengenai *fuzzy FMEA* berhubungan dengan pendekatan *rule base fuzzy* dengan menggunakan aturan *if-then*. PT XY yang merupakan perusahaan yang mengolah kawat dan turunannya berupa paku, mur, baut, dan bendrat. Dalam proses produksi masih ditemui berbagai macam *waste*. *Waste* yang ditemukan berupa *defect*, *waiting* dan *inappropriate processing*. *Waste* yang terjadi selama proses produksi paku perlu dihilangkan agar dapat meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan efektifitas produksi, sehingga mampu mempertahankan keunggulan dan bersaing dengan kompetitor (Irawan & Putra, 2021). *Defect* merupakan salah satu *waste* yang disebabkan karena produk yang dihasilkan tidak sesuai standar perusahaan. Adanya *defect* menuntut perusahaan untuk melakukan *rework* yang akan berdampak pada penambahan waktu produksi, biaya operasional, dan adanya upaya yang sia-sia. Pada proses produksi paku terdapat beberapa *defect* yang muncul pada setiap prosesnya antara lain kawat putus, beret dan oval, ujung paku tidak sempurna, badan paku bengkok dan kepala paku tidak tengah. Adanya *defect* akan berdampak pada tidak tercapainya target produksi, penambahan biaya operasional, dan adanya penurunan *value* produk.

Waiting adalah salah satu pemborosan yang sering terjadi pada proses produksi. Adanya waktu tunggu antar proses produksi menyebabkan adanya antrian dan *bottleneck* pada salah satu atau lebih stasiun produksi. Aktivitas menunggu yang terjadi di lantai produksi PT XY antara lain menunggu perbaikan mesin produksi, menunggu pengecekan kualitas produk, dan keterlambatan pengiriman barang pada stasiun kerja berikutnya. Adanya *defect* menuntut perusahaan untuk melakukan *rework* yang akan berdampak pada penambahan waktu produksi, biaya operasional, dan adanya upaya yang sia-sia. *Inappropriate processing* terjadi karena adanya kekeliruan dalam memproses komponen atau adanya proses yang tidak efisien. *Waste* ini dapat dikatakan sebagai aktivitas yang dilakukan secara berlebihan, ketidaksesuaian antara prosedur kerja dengan praktik yang terjadi di area produksi, atau ketidakmampuan proses untuk melakukan sesuai dengan target. Bentuk *inappropriate processing* yaitu ketidakmampuan proses produksi untuk memenuhi permintaan, sehingga menimbulkan hutang produksi pada departemen paku. Pada tahun 2021 terdapat hutang produksi sejumlah 426 ton, hal ini menjadi tanda bahwa adanya ketidakmampuan dalam kapabilitas proses produksi.

Temuan penelitian sebelumnya menyatakan *waste* yang muncul berupa *defect*, *waiting*, dan *unnecessary motion* akan dikaji lebih dalam lagi dalam penelitian ini menggunakan metode FMEA dan *fuzzy* FMEA untuk menilai risiko dari setiap menganalisis *potential cause* yang kritis dari *waste* selama proses produksi (Mayang et al., 2022). Pendekatan LM telah banyak dilakukan di berbagai penelitian atau industri. Analisis LM untuk mengetahui bahwa jenis *waste* yang dominan PT XYZ, yaitu *defect* dan *waiting* (Hibatullah et al., 2021). Perbaikan *value stream* produksi dengan pendekatan LM dengan mengubah tata letak pabrik dan memperbaiki penjadwalan pemesanan bahan baku, sehingga dapat meningkatkan *process cycle efficiency* sebesar 15,65% (Nugroho et al., 2015). Penerapan LM menggunakan metode *Plan Do Check Action* (PDCA) didapatkan hasil bahwa terjadi pemborosan pada penggunaan bahan baku yang disebabkan oleh kurangnya kemampuan operator, kurangnya proses *quality control* dan alat pemotong yang rusak 5). Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis *potential cause* yang kritis dari *waste* pada proses produksi paku dan merumuskan usulan perbaikan. Metode yang digunakan adalah FMEA dan *fuzzy* FMEA. FMEA merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis kegagalan (*potential failure*) berdasarkan penyebab terjadinya kegagalan (*potential cause*) dan efek yang ditimbulkan dari kegagalan tersebut (*potential effect*). Apabila *waste* dapat dikurangi atau dihilangkan, maka diharapkan dapat meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan efektifitas produksi, sehingga mampu mempertahankan keunggulan dan bersaing dengan kompetitor. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis *potential cause* yang kritis setiap *waste* pada proses produksi paku dan merumuskan usulan perbaikan.

2. METODE

Tahapan penelitian terdiri dari identifikasi *waste*, penilaian risiko, perhitungan FMEA konvensional, perhitungan *fuzzy* FMEA, analisis, dan penarikan kesimpulan disajikan pada Gambar 1. Pengumpulan data dari penelitian ini meliputi studi literatur, pengamatan langsung, wawancara, *brainstorming*, dan pengisian kuesioner. Pada tahap pengumpulan data diawali dengan melakukan identifikasi *waste* berdasarkan data sekunder. *Waste* yang muncul berupa *defect*, *waiting*, dan *unnecessary motion* (Mayang et al., 2022). Berdasarkan hasil identifikasi *waste*, selanjutnya dilakukan penyusunan instrumen penelitian berupa kuesioner yang digunakan sebagai alat untuk penilaian risiko *potential cause* dari setiap *waste*. Kuesioner disusun bersama pihak perusahaan agar setiap pertanyaan valid atau dapat menggambarkan kondisi nyata di perusahaan. Kuesioner yang telah disusun selanjutnya diberikan kepada kepala produksi untuk dapat memberikan penilaian nilai S, O, dan D sebagai langkah untuk penilaian risiko. Adapun kriteria severity pada setiap *waste* disajikan pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5. Pertimbangan pemilihan kepala produksi adalah terkait aspek pemahaman dan keahlian responden mengenai sistem produksi paku dari awal hingga akhir. Ketiga *waste* memiliki perumusan kriteria yang sama pada bagian O dan D, namun berbeda pada bagian S. Rentang skor kriteria dari ketiganya berada pada angka 1 hingga 10. Hasil penilaian kepala produksi kemudian diolah lebih lanjut menggunakan FMEA dan *fuzzy* FMEA. Dengan metode FMEA, Ketiga kriteria (S, O, dan D) akan dikalikan sehingga didapatkan RPN dari semua *potential cause* pada masing-masing *waste*. FMEA digunakan untuk menganalisis *potential failure* berdasarkan *potential cause*, dan efek yang ditimbulkan dari kegagalan tersebut (*potential effect*). Sedangkan dengan metode *fuzzy* FMEA akan dilakukan tiga tahapan yaitu *fuzzification*, *fuzzy rule*, dan *defuzzification*. Setelah melalui ketiga tahapan tersebut maka akan diperoleh *Fuzzy Risk Riority Number* (FRPN). Perhitungan dilakukan menggunakan *software* Matlab. Hasil FMEA dan *Fuzzy* FMEA akan dianalisis untuk menentukan *potential cause* yang paling kritis dan menjadi dasar untuk merumuskan usulan perbaikan ke perusahaan.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Tabel 1. Kriteria Severity pada Waste Defect

Effect	Severity	Skor
Tidak ada	Tidak mempengaruhi proses produksi	1
Sangat kecil	Dapat mempengaruhi proses produksi, tetapi dampaknya sangat kecil atau hampir tidak ada	2
Kecil atau Minor	Dapat mempengaruhi proses produksi, dampak yang ditimbulkan kecil, dan berpotensi terhadap kecacatan produk	3

Effect	Severity	Skor
Cukup rendah	Dapat mempengaruhi proses produksi dan terjadi kecacatan pada produk Dalam satu bulan produksi, terjadi <1% dari hasil produksi mengalami rework	4
Rendah	Dapat mempengaruhi proses produksi dan terjadi kecacatan pada produk Dalam satu bulan produksi, terjadi 1%-5% dari hasil produksi mengalami rework	5
Sedang	Dapat mempengaruhi proses produksi dan terjadi kecacatan pada produk Dalam satu bulan produksi, terjadi 5%-10% dari hasil produksi mengalami rework	6
Tinggi	Dapat mempengaruhi proses produksi dan terjadi kecacatan pada produk Dalam satu bulan produksi, terjadi 10%-20% dari hasil produksi mengalami rework	7
Sangat tinggi	Dapat mempengaruhi proses produksi dan terjadi kecacatan pada produk Dalam satu bulan produksi, terjadi 20%-50% dari hasil produksi mengalami rework	8
Berbahaya	Dapat mempengaruhi proses produksi dan terjadi kecacatan pada produk Dalam satu bulan produksi, terjadi >50% dari hasil produksi mengalami rework	9
Sangat berbahaya	Dapat mempengaruhi proses produksi dan terjadi kecacatan pada produk Dalam satu bulan produksi, seluruh produk mengalami rework	10

Tabel 2. Kriteria Severity pada Waste Waiting

Effect	Severity	Skor
Tidak ada	Tidak mempengaruhi proses produksi	1
Sangat kecil	Dapat mempengaruhi proses produksi, tetapi dapat diabaikan	2
Kecil atau Minor	Dapat mempengaruhi proses produksi namun tidak berpotensi menyebabkan keterlambatan produksi	3
Cukup rendah	Mempengaruhi proses produksi dan menyebabkan keterlambatan <15 menit	4
Rendah	Menyebabkan keterlambatan produksi 15-30 menit	5
Sedang	Menyebabkan keterlambatan produksi 30-60 menit	6
Tinggi	Menyebabkan keterlambatan produksi 1-2 jam	7
Sangat tinggi	Menyebabkan keterlambatan produksi 2-6 jam	8
Berbahaya	Menyebabkan keterlambatan produksi 6-12 jam	9
Sangat berbahaya	Menunda proses produksi <12 jam	10

Tabel 3. Kriteria Severity pada Waste Unnecessary Motion

Effect	Severity	Skor
Tidak ada	Tidak mempengaruhi proses produksi	1
Sangat kecil	Dapat mempengaruhi proses produksi, tetapi dapat diabaikan	2
Kecil atau Minor	Dapat mempengaruhi proses produksi namun tidak berpotensi menyebabkan keterlambatan produksi	3
Cukup rendah	Mempengaruhi proses produksi dan menyebabkan keterlambatan <5 menit	4
Rendah	Menyebabkan keterlambatan produksi 5-10 menit	5
Sedang	Menyebabkan keterlambatan produksi 10-15 menit	6
Tinggi	Menyebabkan keterlambatan produksi 15-20 menit	7
Sangat tinggi	Menyebabkan keterlambatan produksi 20-30 menit	8
Berbahaya	Menyebabkan keterlambatan produksi 30 menit hingga 1 jam	9
Sangat berbahaya	Menunda proses produksi <1 jam	10

Tabel 4. Kriteria Occurrence

Occurrence	Peluang kejadian	Skor
Tidak pernah	Terjadi satu kali dalam >1 tahun	1
Jarang	Terjadi satu kali dalam 1-12 bulan	2
Kadang-kadang	Terjadi satu kali dalam 1-6 bulan	3
	Terjadi satu kali dalam 1-3 bulan	4

Occurrence	Peluang kejadian	Skor
Cukup sering	Terjadi satu kali dalam 1-2 bulan	5
	Terjadi satu kali dalam satu bulan	6
	Terjadi satu kali dalam 1-2 minggu	7
Sering	Terjadi satu kali dalam satu minggu	8
	Terjadi satu kali dalam 1-3 hari	9
Sangat Sering	Terjadi setiap hari	10

Tabel 5. Kriteria *Detection*

Detection	Keterangan	Skor
Pasti	Sumber permasalahan langsung terdeteksi Hasil deteksi akurat	1
Sangat mudah	Dibutuhkan inpeksi visual untuk mendeteksi sumber permasalahan Hasil deteksi akurat	2
Mudah	Dibutuhkan alat bantu dalam mendeteksi sumber permasalahan Sumber permasalahan dapat diketahui setelah terjadi	3
Cukup mudah	Dibutuhkan alat bantu dalam mendeteksi sumber permasalahan Sumber permasalahan dapat diketahui setelah sumber permasalahan berakhir	4
Sedang	Dibutuhkan alat bantu dalam mendeteksi sumber permasalahan Sumber permasalahan dapat diketahui jika adanya analisis lebih lanjut	5
	Dibutuhkan alat bantu khusus yang lebih detail dalam mendeteksi sumber permasalahan	
Cukup sulit	Dibutuhkan metode tertentu untuk mengetahui sumber permasalahan yang terjadi	6
	Dibutuhkan alat bantu khusus yang lebih detail dalam mendeteksi sumber permasalahan	
Sulit	Sumber permasalahan sulit terdeteksi	7
	Dibutuhkan alat bantu khusus yang lebih detail dalam mendeteksi sumber permasalahan	
Sangat Sulit	Sumber permasalahan sulit terdeteksi	8
	Dibutuhkan alat bantu khusus yang lebih detail dalam mendeteksi sumber permasalahan	
Ekstrim	Hasil deteksi tidak akurat	9
	Alat bantu tidak dapat digunakan untuk mendeteksi Hasil deteksi tidak akurat	
Tidak dapat terdeteksi	Sumber permasalahan tidak dapat terdeteksi	10

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil identifikasi *waste* menggunakan WAM yang menunjukkan bahwa *waste* yang muncul berupa *defect*, *waiting*, dan *unnecessary motion*. Masing-masing *waste* tersebut memiliki *sub waste* yang terjadi di lantai produksi. *Waste* yang muncul pada lantai produksi disajikan pada Tabel 6, Tabel 7, dan Tabel 8. FMEA digunakan untuk menganalisis *potential failure* atau dapat diartikan sebagai *sub waste* melalui *potential causes* dan efek yang ditimbulkan dari *sub waste* tersebut. Hasil pengolahan FMEA kemudian dilanjutkan untuk diolah dengan metode *fuzzy FMEA*. Hasil pengolahan FMEA dan *fuzzy FMEA* disajikan Tabel 9.

Tabel 6. Jenis *Waste Defect*

Potential Failure	Potential Effect	Potential Cause	Control
Kawat putus	Produksi mengalami pemberhentian pada waktu tertentu sehingga ada waktu produksi yang terbuang	Penerimaan wire rod dengan tensile strength tidak standar karena tidak adanya incoming inspection (AA1)	Penambahan tugas Quality Control (QC) terkait pengecekan awal wire rod dari supplier
		Ketidaksesuaian ukuran dies pada masing-masing blok (AA2)	Perlu pelatihan berkala dan penegasan SOP bagi operator
Kawat beret dan oval	Adanya rework berupa penarikan ulang yang akan menambah waktu	Kawat keluar dari rol karena ketidaktahuan operator (AB1)	Perbaiki sistem pengawasan operator pada departemen drawing

Potential Failure	Potential Effect	Potential Cause	Control
	produksi, barang Work In Process (WIP), dan biaya operasional	Kurangnya motivasi kerja karena sistem kerja Borongan (AB2) Adanya permasalahan pada air pendingin mesin drawing (AB3) Kurangnya pemberian lubricant powder karena ketidaktahuan operator (AB4) Ketidaktahuan operator bahwa dies telah aus (AB5)	dengan menambah staf Departemen Drawing Pemberian reward dan punishment pada level tertentu bagi operator Perbaikan pada pompa air Perbaikan sistem pengawasan operator pada departemen drawing dengan menambah staf Departemen Drawing
Cacat paku	Terjadi penurunan value produk, penambahan WIP, dan biaya produksi	Penerimaan wire rod dengan tensile strength tidak standar karena tidak adanya incoming inspection (AC1)	Operator memberikan perhatian khusus dan pengawasan lebih ketika memproduksi paku dengan kawat berstatus PTR/Potential Reject
	Tidak dapat mencapai target produksi	Operator yang ker karena banyaknya mesin yang harus ditangani (AC2)	Penambahan operator mesin paku
Cacat paku	Produksi mengalami pemberhentian pada waktu tertentu sehingga ada waktu produksi yang terbuang	Skill penanganan mesin dari operator yang rendah karena kurangnya pelatihan berkala dan penegasan pelaksanaan SOP (AC3)	Diperlukan pelatihan berkala untuk peningkatan skill operator dan penegasan SOP

Tabel 7. Jenis Waste Defect (Lanjutan)

Potential Failure	Potential Effect	Potential Cause	Control
	Terjadi penurunan value produk, penambahan WIP, dan biaya produksi	Kurangnya regenerasi operator sehingga terlalu lama untuk mendeteksi kerusakan mesin (AC4)	Diperlukannya regenerasi operator
	Tidak dapat mencapai target produksi	Jumlah teknisi mesin paku terbatas untuk melakukan preventive maintenance (AC5)	Diperlukannya preventive maintenance pada mesin paku diimbangi dengan penambahan personil teknisi mesin paku
	Dilakukan pengerjaan ulang (sortir) sehingga menambah WIP, kuantitas transportasi, dan membutuhkan skill baru	Mesin memproduksi di luar kapasitas karena pemenuhan target produksi (AC6)	
	Terjadi penurunan value produk, penambahan WIP, dan biaya produksi	Kurangnya regenerasi operator sehingga terlalu lama untuk mendeteksi kerusakan mesin (AC4)	Diperlukannya regenerasi operator
	Tidak dapat mencapai target produksi	Jumlah teknisi mesin paku terbatas untuk melakukan preventive maintenance (AC5)	

Potential Failure	Potential Effect	Potential Cause	Control
Scrap masih menempel pada paku	Dilakukan pengerjaan ulang (sortir) sehingga menambah WIP, kuantitas transportasi, dan membutuhkan skill baru	Mesin memproduksi di luar kapasitas karena pemenuhan target produksi (AC6)	Diperlukan pelatihan berkala untuk peningkatan skill operator dan penguasaan SOP Penambahan tugas QC terkait pengecekan awal wire rod dari supplier Diperlukan pelatihan berkala untuk peningkatan skill operator dan penguasaan SOP
	Adanya rework berupa pemolesan ulang maupun sortir yang akan menambah waktu produksi, barang WIP, dan biaya operasional	Kurangnya penguasaan SOP tentang durasi pemolesan (AD1)	
		Penerimaan wire rod dengan tensile strength tidak standar karena tidak adanya incoming inspection (AD2)	
		Penambahan grajen yang terlalu sedikit karena kurangnya penguasaan SOP (AD3)	

Tabel 8. Jenis Waste Waiting

Potential Failure	Potential Effect	Potential Cause	Control
Menunggu untuk melakukan pengecekan kualitas produk WIP	Menghasilkan kawat paku yang cacat	Jadwal pengecekan oleh QC yang sedikit karena kurangnya personil QC (BA1)	Melakukan penambahan banyaknya pengecekan pada QC
	Terjadi aktivitas menunggu bahan pada departemen selanjutnya	Jadwal pengecekan oleh QC tidak rutin karena personil QC jumlahnya terbatas (BA2)	Penambahan personil QC

Tabel 9. Jenis Waste Waiting (Lanjutan)

Potential Failure	Potential Effect	Potential Cause	Control
Menunggu untuk melakukan pengecekan kualitas produk WIP	Menghasilkan kawat paku yang cacat	Jadwal pengecekan oleh QC yang sedikit karena kurangnya personil QC (BA1)	Melakukan penambahan banyaknya pengecekan pada QC
	Terjadi aktivitas menunggu bahan pada departemen selanjutnya	Jadwal pengecekan oleh QC tidak rutin karena personil QC jumlahnya terbatas (BA2)	Penambahan personil QC
Menunggu untuk memberi label produksi	Terjadi aktivitas menunggu bahan pada departemen selanjutnya	Mencegah operator bertindak curang dalam menimbang boom (BB1)	Penimbangan secara berkala dengan maksud mengurangi waktu tunggu
Menunggu perbaikan mesin	Produksi mengalami pemberhentian pada waktu tertentu sehingga tidak mencapai target produksi	Kurangnya preventive maintenance sehingga jika terjadi kerusakan membutuhkan waktu yang lama untuk perbaikan (BC1) Mesin merupakan mesin yang lama (BC2)	Diperlukannya preventive maintenance pada mesin paku diimbangi dengan penambahan personil teknisi mesin paku

Potential Failure	Potential Effect	Potential Cause	Control
Menunggu pengiriman barang (proses shrinking dan straping)	Produksi mengalami pemberhentian pada waktu tertentu sehingga tidak mencapai target produksi	Menunggu tersedianya spare parts yang disesuaikan dengan tipe mesin yang beragam (BC3)	Perlu pertimbangan yang matang ketika membeli mesin baru
		Kurangnya teknisi untuk menangani perbaikan mesin (BC4)	Penambahan personil teknisi atau pembuatan jadwal bagi teknisi
		Komunikasi yang kurang efektif untuk operator Material Handling Equipment (MHE) forklift (BD1)	Dibutuhkan alat komunikasi antar operator MHE
		Mesin berhenti beroperasi karena adanya komponen yang rusak (BD2)	Diperlukan preventive maintenance pada mesin tersebut

Tabel 10. Jenis Waste Unnecessary Motion

Potential Failure	Potential Effect	Potential Cause	Control
Operator melakukan peminjaman peralatan Operator kesulitan untuk mencari bahan yang diperlukan	Terjadi pemborosan pergerakan operator yang berdampak pada produksi	Kondisi area produksi yang kurang baik (CA1) Tidak adanya penataan yang baik pada area penyimpanan WIP (CA2)	Penerapan 5R (Ringkas, Rapi, Resik, Rawat, dan Rajin) pada area produksi

Tabel 11. Hasil Perhitungan FMEA dan Fuzzy FMEA

Kode	Severity	Occurrence	Detection	RPN	Ranking RPN	FRPN	Ranking FRPN
AA1	3	3	3	27	7	356	3
AA2	3	4	2	24	8	258	5
AB1	4	4	2	32	4	318	4
AB2	4	3	2	24	8	318	4
AB3	4	4	2	32	4	318	4
AB4	4	4	2	32	4	318	4
AB5	4	4	2	32	4	318	4
AC1	5	4	2	40	3	364	2
AC2	5	3	2	30	5	364	2
AC3	5	5	2	50	1	364	2
AC4	5	4	2	40	3	364	2
AC5	5	4	2	40	3	364	2
AC6	5	4	2	40	3	364	2
AD1	5	4	2	40	3	364	2
AD2	5	4	2	40	3	364	2
AD3	5	3	2	30	5	364	2
BA1	3	2	2	12	10	258	5
BA2	3	2	2	12	10	258	5
BB1	3	2	2	12	10	258	5
BC1	5	3	2	30	5	364	2
BC2	7	3	2	42	2	595	1
BC3	7	2	2	28	6	595	1
BC4	3	2	2	12	10	258	5
BD1	2	2	2	8	11	155	7
BD2	2	3	3	18	9	203	6
CA1	3	2	2	12	10	258	5
CB1	3	2	2	12	10	258	5

Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian, FMEA sebenarnya sudah bisa untuk memberi peringkat risiko dan mengevaluasi kegagalan, namun pada FMEA memiliki beberapa kelemahan sehingga dinilai kurang akurat dalam mengevaluasi kegagalan. Fuzzy FMEA merupakan ekspansi dari pendekatan FMEA yang memberikan fleksibilitas terhadap ketidakpastian akibat samarnya suatu informasi yang diterima maupun unsur alternatif yang subjektif yang digunakan dalam penilaian terhadap mode kegagalan yang terjadi (Balaraju et al., 2019; Nuchpho et al., 2019). Kelemahan lain yang terdapat pada FMEA yaitu, ketiga kriteria FMEA (S, O, dan D) dinilai memiliki asumsi tingkat kepentingan yang sama, namun dalam praktiknya kriteria itu tidak sama (Mandal & Maiti, 2014). AA2 dan AB2 memiliki nilai RPN yang sama, namun pada perhitungan fuzzy FMEA didapatkan nilai FRPN yang berbeda. Terdapat nilai yang sama dari perkalian S, O, dan D yang menghasilkan RPN, sementara tingkat kepentingan dapat mengartikan representasi risiko yang berbeda (Mandal & Maiti, 2014). Hasil perhitungan antara FMEA dengan fuzzy FMEA. Kedua cara perhitungan menunjukkan hasil yang relatif sama, terutama dari *ranking* RPN. Misalnya pada BD1, komunikasi yang kurang efektif untuk operator MHE menggunakan *forklift*, pada perhitungan FMEA berada pada *ranking* terakhir, yaitu ke-11. Pada perhitungan fuzzy FMEA, berada pada *ranking* ke-7, juga *ranking* terakhir. Hal serupa terjadi pada AC3 (*skill* penanganan mesin dari operator yang rendah karena kurangnya pelatihan berkala dan penegasan pelaksanaan SOP) dan BC2 (mesin merupakan mesin yang lama). *Ranking* AC3 di perhitungan FMEA berada pada urutan ke-1, sedangkan pada fuzzy FMEA pada urutan kedua. Demikian halnya dengan BC2. Pada perhitungan FMEA, BC2 pada *ranking* pertama, sedangkan dengan perhitungan fuzzy FMEA, pada urutan kedua. Perhitungan dengan fuzzy FMEA tidak bertentangan dengan perhitungan FMEA konvensional, meskipun ada sedikit perbedaan.

Potential cause yang mendesak untuk ditindaklanjuti adalah AC3 yaitu *skill* penanganan mesin dari operator yang rendah karena pelatihan berkala belum diselenggarakan secara kontinyu dan penegasan pelaksanaan SOP, dan BC2 yaitu mesin digunakan merupakan mesin yang lama. Penelitian ini menunjukkan bahwa penghitungan dengan fuzzy FMEA memperkuat hasil yang diberikan oleh metode FMEA, sehingga lebih rinci dalam menyatakan keandalan sistem. Hasil ini bermanfaat dalam merumuskan usulan-usulan perbaikan. Usulan perbaikan untuk menangani *potential cause* AC3 adalah dengan mengadakan pelatihan dan penegasan pelaksanaan SOP. SOP merupakan pedoman atau acuan berupa dokumen tertulis bagi tenaga kerja untuk melaksanakan tugas dan pekerjaannya dapat terkontrol secara sistematis (Taufiq, 2019). Kegiatan di perusahaan dapat dilaksanakan dengan baik sesuai kemauan perusahaan apabila tersedia SOP (Calache et al., 2021; Gabriele, 2018). Perusahaan telah memiliki SOP bagi setiap departemennya, namun SOP belum dilaksanakan dengan baik. Selain itu, pelatihan untuk meningkatkan *skill* operator belum dilakukan pelatihan secara berkala. Pelatihan untuk operator hanya diberikan kepada operator baru dan menganggap operator lama telah mengerti dan memahami instruksi kerja dengan baik. Pelatihan operator dilakukan secara serentak terakhir kali pada tahun 2003. Maka dari itu, rekomendasi perbaikan untuk menangani AC3 adalah mengadakan pelatihan secara praktik maupun teori terkait struktur komponen mesin, penanganan produk cacat, dan pelatihan lainnya yang mendukung proses kerja.

Sedangkan usulan perbaikan untuk menangani *potential cause* BC2 adalah perbaikan sistem pemeliharaan mesin. Pemeliharaan mesin produksi merupakan hal yang penting karena mesin merupakan penghasil produk yang utama dengan adanya dampingan operator mesin. Jenis pemeliharaan mesin produksi terbagi menjadi empat pemeliharaan yaitu *predictive maintenance*, *preventive maintenance*, *corrective maintenance*, dan *breakdown maintenance* (Aribowo et al., 2014; Gargama & Chaturvedi, 2011). Pemeliharaan mesin dengan memprediksikan kondisi suatu mesin untuk melihat kemungkinan mesin menuju kondisi rusak yaitu *predictive maintenance*. *Predictive maintenance* dilakukan untuk mengetahui gejala kerusakan dini pada mesin produksi. *Preventive maintenance* merupakan sistem pemeliharaan mesin yang dilakukan secara berkala dan terus menerus dengan tujuan untuk memeriksa kondisi mesin dan mengganti komponen mesin (Aribowo et al., 2014; Tarigan et al., 2013). Tindakan *preventive maintenance* dilakukan sebelum terjadinya kerusakan mesin sebagai bentuk pencegahan adanya kerusakan mesin yang tak terduga (Xia et al., 2022). *Corrective maintenance* merupakan pemeliharaan yang dilakukan pada waktu tertentu dan adanya rencana perbaikan mesin untuk mengembalikan mesin pada kondisi semula (Aribowo et al., 2014; Özgür-Ünlüakın et al., 2021). Tindakan *corrective maintenance* adalah sebagai bentuk perbaikan dan penyempurnaan mesin produksi ketika mesin terjadi kelainan saat menjalankan fungsinya. Sedangkan, *breakdown maintenance* merupakan sistem pemeliharaan mesin yang dilakukan setelah adanya kerusakan yang mendadak dan durasi perbaikan mesin tidak tentu (Aribowo et al., 2014). Pemeliharaan tipe ini umumnya terjadi karena sifatnya darurat dan membutuhkan waktu yang cukup lama.

Pemeliharaan mesin produksi paku di perusahaan dilakukan secara *preventive maintenance*, *corrective maintenance*, dan *breakdown maintenance*. *Preventive maintenance* mesin paku oleh teknisi pada departemen *nails* dilakukan 2-3 bulan sekali. Dengan durasi *preventive maintenance* mesin paku yang cukup lama akan membuat perbaikan mesin ketika mengalami kerusakan membutuhkan waktu yang lama karena

kerusakan mesin yang didapati telah menjalar ke seluruh komponen mesin. *Corrective maintenance* dan *breakdown maintenance* dilakukan setelah ada indikasi terjadinya kerusakan atau kegagalan pada mesin paku. Hal ini yang membuat adanya *waste* berupa *defect* karena berpotensi menghasilkan paku cacat dan *waiting* karena mesin perlu dilakukan perbaikan dan berhenti beroperasi. Untuk mencegah terjadinya kegagalan fungsi mesin dan kerusakan mesin secara tiba-tiba perlu diperketat *preventive maintenance* yang diterapkan. Agar mesin terjaga dan dapat beroperasi maka perlu ditentukan interval waktu perawatan peralatan yang dituangkan dalam bentuk jadwal perawatan dengan tujuan minimasi *downtime* (Taufik & Septyani, 2016). Interval waktu perawatan digunakan untuk menentukan kapan sebaiknya perawatan dilakukan berdasarkan kegiatan yang sebelumnya telah ditentukan pada *decision worksheet* (Dhamayanti et al., 2016). Selain durasi *preventive maintenance*, jumlah teknisi mesin paku juga mempengaruhi waktu tunggu perbaikan mesin. Jumlah teknisi mesin paku sebanyak 2 orang dan keduanya memiliki tanggung jawab untuk melakukan pemeliharaan mesin paku secara keseluruhan. Hal ini akan menimbulkan antrian perbaikan mesin yang akan berdampak pada waktu tunggu. Ditambah lagi, kemampuan operator untuk memperbaiki mesin yang rendah karena kurangnya rasa memiliki dan menjaga mesin paku, sehingga rekomendasi perbaikan BC2 adalah memperbaiki jadwal *preventive maintenance*, penambahan teknisi mesin paku, dan diimbangi dengan *autonomous maintenance* oleh operator. Bentuk *autonomous maintenance* adalah menjaga kebersihan pada area mesin produksi dan membuat *visual control* seperti *check sheet* untuk memudahkan pemeriksaan kondisi mesin. *Autonomous maintenance* dapat dilakukan dengan pengecekan mesin oleh pemakai mesin (*user*) setiap harinya sebelum menjalankan mesin sehingga apabila mesin tidak normal dapat dideteksi sejak dini (Dhamayanti et al., 2016; Taufik & Septyani, 2016; Wardani & Zulkifli, 2017). Adanya *preventive maintenance* dan *autonomous maintenance* secara berkala untuk meningkatkan efisiensi waktu produksi di PT HBR (Roswandi et al., 2021).

Metode FMEA dan *fuzzy FMEA* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dikombinasikan dengan metode lainnya, misalnya *Fault Tree Analysis*, agar didapatkan hasil analisis yang lebih komprehensif. Memperhatikan usulan perbaikan, maka sebagai kelanjutan penelitian ini diperlukan verifikasi dan validasi data untuk memastikan perlunya pelaksanaan usulan-usulan perbaikan, yang dapat dikemas dalam suatu desain eksperimen (*experiment design*). Dalam desain eksperimen perlu dilakukan penyesuaian-penyesuaian untuk mengakomodasi perubahan-perubahan yang terjadi dalam penelitian ini, sebagai faktor dan level yang menjadi bagian utama eksperimen. Karena penelitian ini terbatas hanya menggunakan satu perusahaan sebagai subyek penelitian maka dapat dikembangkan *multi-site* atau *multi-expert model* untuk memperoleh data yang berbeda sehingga dapat dibentuk gagasan atau simpulan umum. Evaluasi risiko adalah metode logis untuk menentukan kuantitatif dan kualitatif nilai risiko, dan menyelidiki konsekuensi potensial dari kemungkinan kesalahan pada orang, bahan, produk, peralatan, dan lingkungan, salah satu metode yang paling penting dari metode ini adalah FMEA (Fattahi & Khalilzadeh, 2018). Seperti yang telah dijelaskan walaupun FMEA memiliki beberapa kekurangan namun berbagai penelitian telah menyajikan perbaikan dengan menggunakan metode FMEA berbasis logika *fuzzy* (*fuzzy FMEA*) (Akula et al., 2022; Balaraju et al., 2019; Nuchpho et al., 2019). Untuk mengatasi kekurangan dalam FMEA, menggunakan metode *fuzzy FMEA* dan menunjukkan itu bahwa *fuzzy FMEA* lebih efektif untuk mencirikan keandalan sistem, dibandingkan dengan metode FMEA

4. SIMPULAN

Metode FMEA dan *fuzzy FMEA* diketahui bahwa terdapat 2 *potential cause* yang kritis dan mendesak untuk ditindaklanjuti adalah *skill* penanganan mesin dari operator yang rendah karena kurangnya pelatihan berkala dan penegasan pelaksanaan SOP, dan mesin digunakan merupakan mesin yang lama. *Skill* penanganan mesin dari operator yang rendah mengakibatkan munculnya *waste* berupa *defect* yaitu cacat pada paku. Sedangkan *potential cause* berupa mesin yang digunakan merupakan mesin yang lama menunggu dapat menimbulkan *waste* berupa *waiting* yaitu menunggu perbaikan mesin. Usulan perbaikan untuk menangani *potential cause* adalah dengan mengadakan pelatihan dan penegasan pelaksanaan SOP dan perbaikan sistem pemeliharaan mesin.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Akula, S. K., Salehfar, H., & Behzadirafi, S. (2022). *Comparision of Traditional and Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis for Smart Grid Electrical Distribution Systems*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.04720a>.
- Anosike, A., Alafropatis, K., Garza-Reyes, J. A., Kumar, A., Luthra, S., & Rocha-Lona, L. (2021). Lean manufacturing and internet of things—A synergetic or antagonist relationship? *Computers in Industry*, 129, 103464. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.193>.

- Aribowo, D., Wiryadinata, R., & Alexander, D. (2014). Care and Maintenance System Generator Transformer 20KV-150KV. *Jurnal Electrician*.
- Armyanto, H. D., Djumhariyanto, D., & Mulyadi, S. (2020). Penerapan Lean Manufacturing dengan Metode VSM dan FMEA untuk Mereduksi Pemborosan Produksi Sarden. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 13(1), 37 – 42. <https://doi.org/10.24843/JEM.2020.v13.i01.p07>.
- Balaraju, J., Govinda Raj, M., & Murthy, C. S. (2019). Fuzzy-FMEA risk evaluation approach for LHD machine-A case study. *Journal of Sustainable Mining*, 18(4), 257–268. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2019.08.002>.
- Buer, S. V., Semini, M., Strandhagen, J. O., & Sgarbossa, F. (2021). The complementary effect of lean manufacturing and digitalisation on operational performance. *International Journal of Production Research*, 59(7), 1976–1992. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1790684>.
- Calache, L. D. D. R., Zanon, L. G., Arantes, R. F. M., Osiro, L., & Carpinetti, L. C. R. (2021). Risk prioritization based on the combination of FMEA and dual hesitant fuzzy sets method. *Production*, 31, 1–16. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20200081>.
- de Souza, R. V. B., & Carpinetti, L. C. R. (2014). A FMEA-based approach to prioritize waste reduction in lean implementation. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 31(4), 346–366. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-05-2012-0058>.
- Dhamayanti, D. S., Alhilmam, J., & Athari, N. (2016). Usulan Preventive Maintenance Pada Mesin Komori Ls440 Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (Rcm Ii) Dan Risk Based Maintenance (Rbm) Di Pt Abc. *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri (JRSI)*, 3(02), 31. <https://doi.org/10.25124/jrsi.v3i02.29>.
- Faritsy Al Zaqi, A., & Suseno. (2015). Peningkatan produktivitas perusahaan dengan menggunakan metode. *Jurnal Teknik Industri*, 10(2), 103–116.
- Fattahi, R., & Khalilzadeh, M. (2018). Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment. *Safety Science*, 102(July 2017), 290–300. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.018>.
- Filz, M. A., Langner, J. E. B., Herrmann, C., & Thiede, S. (2021). Data-driven failure mode and effect analysis (FMEA) to enhance maintenance planning. *Computers in Industry*, 129, 103451. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103451>.
- Gabriele. (2018). Analisis Penerapan Standar Operasional Prosedur (SOP) Di Departemen Marketing dan HRD PT. Cahaya Indo Persada. *Jurnal AGORA*, 6(1), 1–10.
- Gargama, H., & Chaturvedi, S. K. (2011). Criticality assessment models for failure mode effects and criticality analysis using fuzzy logic. *IEEE Transactions on Reliability*, 60(1), 102–110. <https://doi.org/10.1109/TR.2010.2103672>.
- Hayati, M., & Reza Abroshan, M. (2017). Risk Assessment using Fuzzy FMEA (Case Study: Tehran Subway Tunneling Operations). *Indian Journal of Science and Technology*, 10(9), 1–9. <https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i9/110157>.
- Hibatullah, N. D., Guritno, A. D., & Nugrahini, A. D. (2021). *The Analysis of Lean Manufacturing in Waste Reduction During Rosin Ester Production at PT XYZ*. 8(1), 501–507.
- Irawan, A., & Putra, B. I. (2021). Identifikasi Waste Kritis Pada Proses Produksi Pallet Plastik Menggunakan Metode WAM (Waste Assessment Model) Di PT. XYZ. *Jurnal SENOPATI: Sustainability, Ergonomics, Optimization, and Application of Industrial Engineering*, 3(1), 20–29. <https://doi.org/10.31284/j.senopati.2021.v3i1.2098>.
- Laali, R. S. (2021). Analisis kecelakaan kerja pada bengkel bubut dan las wijaya dengan metode job safety analysis (JSA) dengan pendekatan failure mode and effect analysis (FMEA). *Syntax Literate; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 6(4), 1967–1976. <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v6i4.2473>.
- Liu, P., & Li, Y. (2021). An improved failure mode and effect analysis method for multi-criteria group decision-making in green logistics risk assessment. *Reliability Engineering & System Safety*, 215, 107826. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130169>.
- Mandal, S., & Maiti, J. (2014). Risk analysis using FMEA: Fuzzy similarity value and possibility theory based approach. *Expert Systems with Applications*, 41(7), 3527–3537. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.10.058>.
- Mayang, V., Hartanti, L. P. S., & Mulyono, J. (2022). Identifikasi Waste pada Proses Produksi Paku Menggunakan Metode Waste Assessment Model. *Buletin Profesi Insinyur*, 5(1), 1–8. <https://doi.org/10.20527/bpi.v5i1.122>.
- Nuchpho, P., Nansaarn, S., & Pongpullonsak, A. (2019). Modified fuzzy FMEA application in the reduction of defective poultry products. *Engineering Journal*, 23(1), 171–190. <https://doi.org/10.4186/ej.2019.23.1.171>.
- Nugroho, A., Ainuri, M., & Khuriyari, N. (2015). Reduksi Pemborosan Untuk Perbaikan Value Stream

- Produksi “Mi Lethek” Menggunakan Pendekatan Lean Manufacturing (Waste Reduction to Improve Value Stream of “Mi Lethek” Production Using Lean Manufacturing Approach). *Jurnal Agritech*, 35(02), 205. <https://doi.org/10.22146/agritech.9408>.
- Nurprihatin, F., Yulita, N. E., & Caesaron, D. (2017). Usulan Pengurangan Pemborosan Pada Proses. *Profesionalisme Akuntan Menuju Sustainable Business Practice*, 809–818.
- Özgür-Ünlüakın, D., Türkali, B., & Aksezer, S. Ç. (2021). Cost-effective fault diagnosis of a multi-component dynamic system under corrective maintenance. *Applied Soft Computing*, 102, 107092. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107092>.
- Palange, A., & Dhattrak, P. (2021). Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 46, 729–736. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.193>.
- Ristyowati, T., Muhsin, A., & Nurani, P. P. (2017). Minimasi Waste Pada Aktivitas Proses Produksi Dengan Konsep Lean Manufacturing (Studi Kasus di PT. Sport Glove Indonesia). *Opsi*, 10(1), 85. <https://doi.org/10.31315/opsi.v10i1.2191>.
- Roswandi, I., Junaedi, D., Riadi, S., & Rokhim, M. (2021). Implementasi Prinsip Kerja 5S Untuk Meningkatkan Efisiensi Waktu Produksi Studi Kasus Di Section Injection Di Pt Hbr. *Jurnal PASTI*, 15(3), 320. <https://doi.org/10.22441/pasti.2021.v15i3.008>.
- Sugandi, B., & Armentaria, J. (2021). Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Metode Logika Fuzzy. *Journal of Applied Electrical Engineering*, 5(1), 5–8. <https://doi.org/10.30871/jaee.v5i1.2991>.
- Tarigan, P., Ginting, E., & Siregar, I. (2013). Perawatan Mesin Secara Preventive Maintenance Dengan Modularity Design Pada Pt. Rxz. *Jurnal Teknik Industri USU*, 3(3), 35–39.
- Taufik, T., & Septyani, S. (2016). Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen Kritis pada Mesin Turbin Di PT Pln (Persero) Sektor Pembangkit Ombilin. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 14(2), 238. <https://doi.org/10.25077/josi.v14.n2.p238-258.2015>.
- Taufiq, A. R. (2019). Penerapan Standar Operasional Prosedur (Sop) Dan Akuntabilitas Kinerja Rumah Sakit. *Jurnal Profita*, 12(1), 56. <https://doi.org/10.22441/profita.2019.v12.01.005>.
- Touriki, F. E., Benkhathi, I., Kamble, S. S., & Belhadi, A. (2021). An integrated smart, green, resilient, and lean manufacturing framework: A literature review and future research directions. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128691. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128691>.
- Wardani, F. P., & Zulkifli, Z. (2017). Pengaruh Good Corporate Governance Terhadap Kinerja Keuangan. *Kajian Bisnis STIE Widya Wiwaha*, 25(2), 176–193. <https://doi.org/10.32477/jkb.v25i2.237>.
- Xia, L., Zheng, P., Li, X., Gao, R. X., & Wang, L. (2022). Toward cognitive predictive maintenance: A survey of graph-based approaches. *Journal of Manufacturing Systems*, 64, 107–120. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.06.002>.