

---

## *An Integrative Fuzzy FMEA–DEMATEL Approach for Waste Reduction in Lean Implementation in Higher Education Institutions: A Literature Review*

### **Pendekatan Integratif Fuzzy FMEA–DEMATEL untuk Pengurangan Pemborosan dalam Penerapan *Lean* di Institusi Pendidikan Tinggi: Tinjauan Literatur**

Lusia Permata Sari Hartanti<sup>1\*</sup>, Ivan Gunawan<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Indonesia

Email: [lusia.hartanti@ukwms.ac.id](mailto:lusia.hartanti@ukwms.ac.id), [ivangunawan@ukwms.ac.id](mailto:ivangunawan@ukwms.ac.id)

---

#### **ABSTRACT**

*Lean philosophy offers higher education institutions (HEIs) opportunities to improve operational efficiency. Implementing Lean Higher Education requires a systematic, structured approach, as waste in HEIs is highly complex and interrelated. This study proposes an integrative framework using fuzzy Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and the Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) methods to evaluate waste in HEIs. A conceptual literature review is employed to synthesize relevant articles aligned with the research objectives and to formulate an integrative fuzzy FMEA–DEMATEL framework. Fuzzy logic is used to reduce subjectivity in waste assessment, and DEMATEL is used to map causal relationships among wastes. The fuzzy FMEA-DEMATEL integration framework offers a solution for identifying and reducing waste in IPT. However, to evaluate the fuzzy FMEA-DEMATEL integration framework resulting from this study, additional empirical validation is needed.*

**Keywords:** *Lean, Higher Education, Waste, Fuzzy FMEA, DEMATEL*

#### **ABSTRAK**

Filosofi *lean* memberikan peluang bagi institusi pendidikan tinggi (IPT) untuk meningkatkan efisiensi operasional. Penerapan *Lean Higher Education* memerlukan pendekatan yang sistematis dan terstruktur, karena pemborosan di IPT sangat kompleks dan saling memengaruhi. Penelitian ini mengusulkan sebuah kerangka kerja integratif menggunakan metode *fuzzy Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)-*Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) untuk mengevaluasi pemborosan di IPT. Pendekatan tinjauan literatur konseptual digunakan dalam penelitian ini untuk menyintesis artikel yang relevan dengan tujuan penelitian guna merumuskan kerangka kerja integratif berbasis *fuzzy FMEA-DEMATEL*. Logika *fuzzy* digunakan untuk mereduksi subjektivitas penilaian pemborosan dan DEMATEL digunakan untuk memetakan hubungan kausalitas antar pemborosan. Kerangka kerja integrasi *fuzzy FMEA-DEMATEL* menawarkan solusi untuk identifikasi dan mengurangi pemborosan di IPT. Namun demikian, untuk mengevaluasi kerangka kerja integrasi *fuzzy FMEA-DEMATEL* yang dihasilkan dari penelitian ini, diperlukan validasi empiris tambahan.

**Kata Kunci:** *Lean, Pendidikan Tinggi, Pemborosan, Fuzzy FMEA, DEMATEL*

#### **PENDAHULUAN**

Penerapan prinsip-prinsip *lean* dalam institusi pendidikan tinggi (IPT) semakin mendapat perhatian seiring perguruan tinggi menghadapi tantangan dalam upaya meningkatkan efisiensi operasional, meningkatkan hasil belajar

---

*An Integrative Fuzzy FMEA–DEMATEL Approach for Waste Reduction in Lean Implementation in Higher Education Institutions: A Literature Review / Lusia Permata Sari Hartanti, Ivan Gunawan*

mahasiswa, dan menunjukkan akuntabilitas kepada beragam pemangku kepentingan [1]. Peningkatan ini mencerminkan kebutuhan mendesak dari sektor pendidikan untuk mengatasi tantangan operasional dengan mempertahankan kualitas pendidikan dalam lingkungan global yang semakin kompetitif [2]. Berbagai penelitian terbaru telah menunjukkan adopsi metodologi *lean* yang luas di berbagai konteks IPT, sekaligus menegaskan potensi *lean* untuk mentransformasi cara institusi dalam merancang dan mengelola operasinya dapat menghasilkan proses yang lebih efisien, pengurangan pemborosan, dan peningkatan tingkat kepuasan staf dan mahasiswa [1].

*Lean Higher Education* (LHE) berupaya mengidentifikasi dan menghilangkan pemborosan yang tidak memberikan nilai tambah secara sistematis dalam proses akademik dan administratif, sehingga meningkatkan kualitas layanan sekaligus mengurangi pemborosan [2]. Hasil penelitian menunjukkan sembilan kategori pemborosan di IPT terkait menunggu, produksi, cacat atau kegagalan, proses, gerakan, transportasi, inventaris, talenta atau kemampuan, dan informasi [3]. Pemborosan ini terwujud di semua kegiatan inti institusi, termasuk pengajaran, penelitian, pengabdian masyarakat, dan fungsi administratif pendukung, yang memengaruhi berbagai kelompok pemangku kepentingan termasuk mahasiswa, dosen, staf kependidikan, dan pimpinan institusi [4].

IPT memerlukan pendekatan khusus dalam implementasi LHE, karena pemborosan di IPT bersifat multidimensi dan saling terkait, sehingga membutuhkan pendekatan terstruktur. Metode tradisional untuk mengukur pemborosan di LHE harus disesuaikan untuk mengakomodasi karakteristik lingkungan akademik yang khas, termasuk ekspektasi pemangku kepentingan yang beragam, proses yang berbasis pengetahuan, dan variabilitas yang melekat dalam luaran pendidikan [5]. Penelitian menunjukkan bahwa implementasi *lean* yang sukses dalam IPT memerlukan kerangka kerja analitis tingkat lanjut, termasuk pendekatan pengambilan keputusan multikriteria dan aplikasi logika *fuzzy*, yang mampu mengelola kualitas kualitatif yang melekat dalam penilaian risiko pendidikan sambil menyediakan mekanisme prioritas sistematis untuk pengurangan pemborosan [6, 7].

Metode analisis risiko tradisional seringkali tidak cukup untuk menangkap ketidakpastian, subjektivitas, dan saling ketergantungan kausal yang melekat pada pemborosan LHE [5, 8]. Salah satu metode tradisional tersebut adalah Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), yang telah banyak dimanfaatkan dalam memprioritaskan kegagalan serta menyusun tindakan perbaikan dalam manufaktur dan jasa, tetapi ketergantungannya pada peringkat yang jelas dan asumsi independensi di antara faktor-faktor risiko membatasi kesesuaiannya untuk sistem sosio-teknis yang kompleks seperti di IPT [8]. Demikian pula, banyak aplikasi LHE terfokus pada pemetaan proses dan pemecahan masalah kualitatif, sementara menawarkan penilaian kuantitatif yang terbatas terhadap tingkat risiko yang terkait dengan berbagai kategori pemborosan dan interaksinya [1, 4].

Banyak penelitian telah memperluas FMEA dan *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) untuk memperbaiki penilaian linguistik, ketidakjelasan, dan hubungan kausal. Hal ini dilakukan untuk mengatasi tantangan penggunaan metode tradisional dalam pengambilan keputusan. *Fuzzy* FMEA memungkinkan evaluasi subjektif para ahli terhadap tingkat keparahan atau *severity* (S), kejadian/*occurrence* (O), dan deteksi atau *detection* dimodelkan menggunakan bilangan *fuzzy*, sehingga memberikan representasi ketidakpastian yang lebih realistis dalam penilaian risiko. DEMATEL dapat digunakan untuk mengeksplorasi jaringan sebab-akibat antar faktor sehingga dapat mengidentifikasi saling ketergantungan antar faktor yang berbeda, dan telah diterapkan di berbagai sektor seperti rantai pasok, keberlanjutan, dan pendidikan untuk mengidentifikasi hubungan kausal dan ketergantungan antar faktor.

Paradigma yang menyeluruh dan berorientasi risiko untuk prioritas pengurangan pemborosan pada IPT belum dijelaskan dalam penelitian sebelumnya oleh Klein *et al.* [9], Helmold *et al.* [10], dan Shamsuzzaman *et al.* [11]. Hal ini menunjukkan pentingnya memiliki kerangka kerja yang komprehensif untuk dukungan pengambilan keputusan yang dapat mengenali hubungan antar pemborosan, dan memberikan prioritas praktis kepada pimpinan IPT untuk mengurangi pemborosan. Selain itu, keterbatasan ini mengungkapkan kesenjangan sintesis metodologis, khususnya belum adanya kerangka kerja komprehensif yang mengintegrasikan *fuzzy* FMEA dan DEMATEL untuk analisis

berbasis risiko terhadap pemborosan di IPT. Mengatasi kesenjangan tersebut, penelitian ini mengembangkan kerangka kerja yang menggabungkan *fuzzy* FMEA dan DEMATEL.

Penelitian ini bertujuan mengusulkan kerangka kerja integratif *fuzzy* FMEA–DEMATEL untuk menilai kekritisitas berbagai jenis pemborosan *lean* serta memahami struktur kausalnya, sehingga dapat ditentukan solusi penanganan pemborosan. Kerangka kerja yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan memberikan dasar analitis yang lebih kuat, sehingga dapat digunakan sebagai alat dalam pengambilan keputusan untuk merancang proses *lean* yang terarah sesuai tujuan institusi.

## METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan tinjauan pustaka konseptual untuk menganalisis dan mengintegrasikan konsep-konsep relevan yang berkaitan dengan *lean* di IPT, *fuzzy* FMEA, dan DEMATEL. Tinjauan ini berfokus pada identifikasi, sintesis, dan analisis kritis konseptual dan metodologi yang berfokus pada tiga hal yaitu LHE, *fuzzy* FMEA untuk penilaian risiko, dan DEMATEL untuk menghubungkan hubungan kausal antar pemborosan. Penelitian ini dibangun berdasarkan ulasan literatur sebelumnya yang komprehensif dan relevan. Penelusuran literatur dilakukan melalui pencarian sistematis terhadap artikel-artikel dari jurnal-jurnal internasional di bidang manajemen risiko, manajemen kualitas, dan pengambilan keputusan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemborosan dalam IPT

Pemborosan di IPT berbeda dari sektor manufaktur, di sektor manufaktur, pemborosan seringkali terlihat nyata, misalnya mesin atau operator yang menganggur, dan bahan baku yang berlebihan. Namun, dalam IPT, pemborosan seringkali tidak terwujud atau terlihat seperti di sektor manufaktur, misalnya alur administrasi yang berlebihan, kompleksitas birokrasi, dan penyampaian materi pembelajaran yang tidak sesuai dengan rencana pembelajaran. Menurut Schwantz et al. [12], penerapan LHE merupakan pendekatan sistem yang berarti pemborosan di IPT bukan hanya terkait operasional tetapi terkait dengan pengalaman pemangku kepentingan. Untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai bentuk pemborosan di IPT, Tabel 1 menyajikan rangkuman mengenai jenis pemborosan di IPT berdasarkan tinjauan literatur.

**Tabel 1.** Jenis pemborosan di IPT

No	Jenis Pemborosan	Definisi	Contoh
1	Produksi berlebih	Melakukan sesuatu lebih banyak, lebih awal, atau lebih cepat daripada kebutuhan atau proses berikutnya [12, 13].	Beban mengajar dosen melebihi batas yang ditentukan [14].
2	Menunggu	Segala bentuk hambatan atau waktu menganggur yang menyebabkan terhentinya aliran proses, baik berupa keterlambatan umpan balik ( <i>feedback</i> ), kelambatan birokrasi administratif, maupun terhambatnya progres pembelajaran mahasiswa [3, 13].	Jeda waktu antar kelas terlalu lama [12]. Waktu tunggu antrean yang lama [11].
3	Gerakan berlebih	Pergerakan fisik atau upaya staf, dosen, maupun mahasiswa yang tidak perlu akibat penataan area kerja yang buruk, sehingga tidak memberikan nilai tambah terhadap pencapaian hasil akhir [4, 13].	Perpindahan dokumen dari satu tempat ke tempat lainnya [9]. Perpindahan informasi, data, dan keputusan yang berlebihan [4].
4	Proses berlebih	Kondisi di mana terdapat langkah kerja atau komponen tambahan yang melampaui kebutuhan, sehingga mengakibatkan sistem menjadi terlalu rumit (kompleks) [9].	Melakukan verifikasi kelulusan secara manual padahal data sudah tersedia secara elektronik [15]. Pengecekan berulang [4].
5	Cacat	Kesalahan dalam proses atau persyaratan layanan yang menghasilkan <i>output</i> tidak layak pakai, sehingga memicu pengerjaan ulang dan pembengkakan biaya langsung [9, 14].	Pembatalan jadwal mengajar tanpa pemberitahuan [16]. Kesalahan penulisan [14].

***An Integrative Fuzzy FMEA–DEMATEL Approach for Waste Reduction in Lean Implementation in Higher Education Institutions: A Literature Review / Lusia Permata Sari Hartanti, Ivan Gunawan***

No	Jenis Pemborosan	Definisi	Contoh
6	Inventaris berlebih	Inventaris/stok yang berlebihan dari yang diperlukan yang cenderung meningkatkan lead time dan kebutuhan ruang [9].	Menyimpan dokumen melebihi batas waktu yang ditentukan [12]. Peralatan atau item untuk penelitian tetapi tidak digunakan [9].
7	Transportasi berlebih	Pergerakan sumber daya, material, dan informasi yang tidak perlu antar pemangku kepentingan [13].	Perpindahan hanya untuk mengumpulkan tanda tangan di berbagai unit administratif [12]. Pergerakan mahasiswa selama proses admisi [11].
8	Bakat/potensi yang sia-sia	Tidak dimanfaatkannya kemampuan atau keterampilan tenaga kerja [17].	Dosen mengajar tidak sesuai kompetensi [14]. Pegawai bekerja di posisi yang membutuhkan keterampilan jauh lebih rendah daripada pelatihan/kualifikasi [12].

Tabel 1 menunjukkan bahwa pemborosan dalam IPT bersifat multidimensi yang dapat berdampak pada keterlambatan layanan akademik, beban kerja administratif yang tinggi, dan penurunan kualitas. Karena sumber daya di IPT terbatas dan sistemnya kompleks sehingga tidak semua pemborosan dapat ditangani sekaligus, oleh karena itu diperlukan identifikasi dan menyusun prioritas pemborosan untuk diintervensi terlebih dahulu. Sebagian besar penelitian LHE telah mengidentifikasi pemborosan di IPT secara kualitatif melalui wawancara atau observasi. Identifikasi pemborosan merupakan suatu langkah awal, berikutnya perlu dilakukan langkah strategis untuk menganalisis kaitan antara pemborosan tersebut untuk menemukan akar masalahnya. Dengan menemukan dan mengeliminasi pemborosan yang kritis, institusi dapat melakukan penghematan biaya, menciptakan lingkungan pendidikan yang lebih nyaman bagi dosen, staf, dan mahasiswa sehingga dapat berkembang secara lebih optimal.

### Penilaian Pemborosan dengan *Fuzzy* FMEA

Penelitian-penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa FMEA telah banyak dilakukan dalam penilaian risiko, namun masih memiliki keterbatasan pada perhitungan angka prioritas risiko (RPN) yang diperoleh dengan mengalikan S, O, dan D [18, 19]. FMEA tradisional menganggap ketiga faktor risiko ini sebagai variabel bebas dan berbobot sama. Dalam LHE, asumsi tersebut sulit dibuktikan karena berbagai pemborosan sering kali saling tumpang tindih dan memiliki keterkaitan yang tidak mampu diakomodasi oleh hasil perkalian matematis sederhana.

Penggunaan nilai numerik (1–10) yang digunakan dalam FMEA tradisional mengasumsikan bahwa setiap evaluator memiliki pemahaman yang sama, misalnya apa arti angka "5" dalam tingkat keparahan. Di sektor manufaktur, asumsi ini lebih mudah dipahami karena pada umumnya cacat produk dapat diukur dengan jelas melalui spesifikasi teknis dan standar kualitas. Namun dalam IPT, deteksi pemborosan pada dasarnya bersifat subjektif dan sangat kualitatif. Misalnya, mengidentifikasi "metode pengajaran yang tidak efektif" atau "ketidaksesuaian administrasi" jauh lebih sulit dan kontroversial daripada menemukan produk cacat pada sektor manufaktur. Kegagalan akademik, misalnya ketidakpuasan mahasiswa, kompleksitas birokrasi, seringkali sulit diidentifikasi, sehingga deteksi pemborosan di IPT menjadi masalah persepsi dan interpretasi daripada pengukuran objektif berbasis indikator yang jelas.

Subjektivitas atau ambiguitas yang ada di IPT memerlukan perubahan ke arah alat evaluasi yang lebih progresif. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa ketergantungan representasi angka pasti (*crisp numbers*) dalam lingkungan yang didominasi oleh intuisi manusia dan penilaian profesional berisiko dalam menghasilkan distorsi data, karena gagal menangkap ketidakpastian dalam pengambilan keputusan strategis [20, 21, 22]. Apabila pengambilan keputusan hanya berdasarkan RPN yang kaku menggunakan FMEA tradisional berisiko menciptakan mislokasi sumber daya strategis, sementara penyebab utama atau akar masalah pemborosan yang bersifat laten tidak teratasi. Dengan kondisi tersebut, maka integrasi logika *fuzzy* menjadi penting untuk dilakukan.

***An Integrative Fuzzy FMEA–DEMATEL Approach for Waste Reduction in Lean Implementation in Higher Education Institutions: A Literature Review / Lusia Permata Sari Hartanti, Ivan Gunawan***

Dengan menggunakan *fuzzy* FMEA, maka angka-angka “pasti” diubah menjadi variabel linguistik. Logika *fuzzy* memberikan fleksibilitas matematis untuk menangani "ketidakjelasan" penilaian evaluator, memungkinkan model untuk menggabungkan berbagai pendapat menjadi profil risiko yang lebih realistis. Selain itu, FMEA tradisional gagal mengatasi "kesenjangan peringkat" di mana kombinasi S, O, dan D yang berbeda dapat menghasilkan nilai RPN yang identik, namun mewakili skenario risiko yang sangat berbeda. Tanpa pendekatan berbasis *fuzzy* untuk memberi bobot pada faktor-faktor ini sesuai dengan prioritas spesifik lembaga, data yang dihasilkan mungkin kurang sesuai yang dibutuhkan untuk eliminasi pemborosan. Transisi dari FMEA tradisional ke model berbasis *fuzzy* bukan sekadar peningkatan teknis, namun hal ini juga adaptasi yang diperlukan terhadap lanskap socio-teknis yang unik di IPT.

Karakteristik IPT dan industri manufaktur memiliki perbedaan, oleh karena itu kriteria penilaian S, O, D juga harus dibedakan. Dalam IPT, S dapat digunakan sebagai potensi dampak suatu pemborosan terhadap kualitas akademik, hasil akreditasi, reputasi institusi, kepuasan *stakeholder*, atau kinerja operasional. Penilaian S mempertimbangkan implikasi strategis untuk keberlanjutan IPT di samping dampak operasional. Probabilitas atau frekuensi terjadinya pemborosan dalam prosedur akademik atau administratif ditunjukkan oleh O dalam IPT. Penilaian ini seringkali bergantung pada pengalaman dan penilaian ahli karena sifat proses layanan pendidikan yang dinamis. Selain itu, D dalam IPT mewakili kemampuan institusi untuk mendeteksi potensi masalah sebelum masalah tersebut berdampak besar bagi IPT. Prosedur pengendalian mutu internal yang dilakukan IPT seperti audit internal, pemantauan, dan evaluasi kinerja institusional dapat dihubungkan dengan kemampuan deteksi pemborosan.

### **Integrasi *fuzzy* FMEA-DEMATEL dalam LHE**

Hasil yang diharapkan dari tinjauan konseptual ini adalah keunggulan multidimensi yang diberikan oleh DEMATEL ketika diintegrasikan dengan *fuzzy* FMEA. Meskipun *fuzzy* FMEA memberikan prioritas berdasarkan tingkat risiko, namun gagal menjelaskan saling ketergantungan antar pemborosan karena memperlakukan setiap pemborosan sebagai variabel bebas. Keterbatasan ini sangat penting dalam lingkungan IPT, di mana pemborosan jarang terjadi secara terisolasi tetapi malah membentuk rantai sebab dan akibat yang kompleks.

Dengan mengintegrasikan DEMATEL, penelitian ini mengusulkan rekonseptualisasi pemborosan *lean* menjadi dua kelompok yang berbeda secara analitis dalam struktur sebab-akibat, yaitu kelompok sebab (faktor pendorong) terdiri dari pemborosan atau kondisi sistemik hulu yang menghasilkan atau memperkuat bentuk pemborosan lainnya. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa masalah seperti kurangnya komitmen manajemen dan birokrasi dalam struktur organisasi sering bertindak sebagai akar penyebab yang menyebarkan berbagai inefisiensi di seluruh proses akademik dan administratif [1, 10, 23]. Sebaliknya, kelompok akibat (faktor dependen) merepresentasikan implikasi hilir seperti ketidakpuasan mahasiswa, keterlambatan proses administrasi, atau keterlambatan kelulusan, yang lebih baik diinterpretasikan sebagai gejala dari masalah struktural yang lebih dalam daripada penyebab yang berdiri sendiri.

Integrasi *fuzzy* FMEA-DEMATEL memungkinkan para pengambil keputusan untuk memvisualisasikan bagaimana mengatasi sejumlah kecil pemborosan strategis dalam kelompok penyebab dapat secara bersamaan mengurangi beberapa pemborosan kelompok akibat, sehingga meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan. Pendekatan ini memfasilitasi pergeseran paradigma dari manajemen krisis yang bersifat reaktif terhadap gejala permukaan menuju intervensi struktural yang lebih strategis dengan menargetkan determinan kausalitas yang paling berpengaruh. Jenis pemetaan kausal ini telah terbukti berharga dalam lingkungan industri, di mana DEMATEL telah digunakan untuk membedakan faktor pendorong dari faktor dependen dalam sistem produksi dan kualitas yang kompleks [24, 25, 26], dan dalam penelitian ini dikaji ulang sebagai alat analisis strategis untuk pengambil keputusan di IPT yang berupaya merancang intervensi *lean* tingkat sistem yang lebih koheren di pendidikan tinggi.

Penelitian ini menyintesis sebuah konseptual baru yang dirancang untuk mengelola efisiensi institusional yang kompleks. Kerangka kerja yang diusulkan mengintegrasikan *fuzzy* FMEA dan DEMATEL ke dalam evaluasi dua

tahap yang kohesif dan akurat dibandingkan metode penilaian pemborosan tradisional. Integrasi ini dilakukan dengan dengan dua tahap utama yaitu penyaringan pemborosan melalui *fuzzy* FMEA dan pemetaan kausal melalui DEMATEL.

Tahap pertama yaitu penyaringan pemborosan melalui *fuzzy* FMEA untuk menentukan pemborosan yang kritis. Proses dimulai dengan penerapan *fuzzy* FMEA untuk mengidentifikasi dan menyaring pemborosan berisiko tinggi berdasarkan persepsi multi pemangku kepentingan melalui penilaian S, O, dan D. Dalam IPT, risiko jarang muncul dikotomis yang kaku, seperti “ada” atau “tidak ada”, maupun “kritis” atau “tidak kritis”. Sebaliknya, risiko di IPT berada pada kontinum yang sangat dipengaruhi intuisi profesional dan pengalaman subjektif. Dengan memanfaatkan variabel linguistik *fuzzy*, model ini menangkap "ketidakjelasan" penilaian mengenai tingkat keparahan, kejadian, dan deteksi pemborosan tertentu. Logika *fuzzy* berperan sebagai instrumen untuk memetakan area abu-abu tersebut, mengubah persepsi manusia yang samar menjadi input matematis yang presisi, sehingga skala prioritas yang dihasilkan menjadi lebih akurat dan representatif terhadap realitas di lapangan. Tahap pertama ini berfungsi sebagai mekanisme penyaringan pemborosan, memastikan bahwa hanya pemborosan kritis yang diteruskan untuk analisis lebih mendalam, sehingga mengurangi hambatan dalam proses pengambilan keputusan strategis.

Tahap kedua merupakan pemetaan kausalitas pemborosan menggunakan DEMATEL untuk menganalisis ketergantungan struktural di antara pemborosan berisiko tinggi yang diidentifikasi pada tahap pertama. *Fuzzy* FMEA mengidentifikasi pemborosan kritis, namun belum menunjukkan keterkaitan antara pemborosan yang sering kali menimbulkan dampak berantai dalam IPT. DEMATEL mengungkapkan bagaimana pemborosan-pemborosan tersebut berinteraksi sehingga dapat diidentifikasi pemborosan yang menjadi penyebab utama dan dampaknya. Pemborosan dimasukkan ke dalam kategori topologi "sebab-akibat". Tahap ini sangat penting untuk IPT karena memungkinkan pengambil keputusan untuk membedakan antara pemborosan kelompok “sebab”, yang dikenal sebagai faktor pendorong, dan pemborosan kelompok “akibat”, yang dikenal sebagai faktor dependen.

Melalui dua tahap tersebut maka membantu dalam memastikan bahwa sumber daya di IPT dialokasikan secara strategis ke area yang paling berpengaruh. Dengan memprioritaskan faktor “sebab”, IPT dapat menciptakan efek domino positif, di mana intervensi struktural tunggal mampu memitigasi berbagai pemborosan "akibat" di hilir secara simultan. Kerangka kerja ini menandai transisi fundamental dari pendekatan daftar periksa satu dimensi, yang cenderung mengarah pada perbaikan yang dangkal dan terisolasi, ke pendekatan pemikiran sistem holistik dalam implementasi *lean*. Selain itu, kerangka kerja ini menunjukkan bahwa IPT adalah ekosistem dinamis di mana setiap inefisiensi saling terkait. Melalui pendekatan terintegrasi ini, IPT dapat merancang strategi untuk menangani pemborosan yang berbasis pada perhitungan matematis, namun tetap berorientasi pada manusia untuk mencapai keunggulan berkelanjutan IPT.

## SIMPULAN

Pemborosan multidimensi dalam IPT dapat diatasi secara metodologis dengan menggabungkan *fuzzy* FMEA-DEMATEL ke dalam implementasi LHE. Hal ini memungkinkan para pengambil keputusan IPT untuk membuat rencana perbaikan praktis, bukan hanya sekadar mengenali pemborosan. Metode DEMATEL menampilkan hubungan sebab-akibat antara pemborosan setelah diprioritaskan menggunakan *fuzzy* FMEA. Oleh karena itu, para pengambil keputusan dalam IPT mampu membedakan antara penyebab dan akibat pemborosan. Integrasi *fuzzy* FMEA-DEMATEL memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh tentang identifikasi dan pengelolaan pemborosan. Menghilangkan sumber utama pemborosan yang paling berpengaruh pada sistem dapat menjadi fokus prioritas perbaikan dan optimasi sumber daya guna mencapai keunggulan berkelanjutan dalam IPT.

Meskipun integrasi *fuzzy* FMEA dan DEMATEL melibatkan tingkat kompleksitas analitis yang lebih tinggi dibandingkan dengan FMEA konvensional, pendekatan yang dihasilkan dalam penelitian ini tetap layak untuk diimplementasikan di IPT. Penerapan di IPT dapat dilakukan secara bertahap dengan keterlibatan kolaboratif tenaga

*An Integrative Fuzzy FMEA–DEMATEL Approach for Waste Reduction in Lean Implementation in Higher Education Institutions: A Literature Review / Lusia Permata Sari Hartanti, Ivan Gunawan*

pendidik dan tenaga kependidikan, serta pimpinan. Dengan tahap dimulai dengan proses identifikasi risiko berbasis FMEA konvensional, kemudian menggabungkan logika *fuzzy* dan analisis DEMATEL. Pendekatan bertahap ini memungkinkan IPT dengan sumber daya terbatas untuk mengadopsi metodologi tanpa memerlukan infrastruktur analitis yang ekstensif.

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan pada validasi praktis karena masih berdasarkan tinjauan literatur sehingga memerlukan konfirmasi empiris di lapangan. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan penerapan kerangka kerja integrasi *fuzzy* FMEA-DEMATEL melalui studi kasus nyata di IPT untuk mengevaluasi efektivitas kerangka kerja ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Khan, A. Dimache, D. Gorman, and C. Gachon, "Lean in Higher Educational Institutes : A Literature Review," vol. 2024, no. 15, pp. 1–19, 2024.
- [2] D. Gómez-Molina and J. Moyano-Fuentes, "Lean management in universities: a systematic literature review," *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 13, no. 1, pp. 156–177, 2021, doi: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2020-0224>.
- [3] L. P. S. Hartanti, I. Mulyana, and T. Hartiana, "Waste In Higher Education Institution: A Systematic Literature Review," *Int. J. Sci. Technol. Res. Vol.*, vol. 9, no. 9, pp. 16–22, 2020.
- [4] I. J. Mulyana, M. L. Singgih, S. G. Partiw, and Y. B. Hermanto, "Identification and prioritization of lean waste in Higher Education Institutions (HEI): A proposed framework," *Educ. Sci.*, vol. 13, no. 2, 2023, doi: 10.3390/educsci13020137.
- [5] M. H. Rad, M. Mojtahedi, and M. J. Ostwald, "The Integration of Lean and Resilience Paradigms : A Systematic Review Identifying Current and Future Research Directions," 2021.
- [6] L. M. Alexander and P. G. Saleeshya, "Qualitative analysis of different lean assessment methods : A comprehensive review of applications," *Mater. Today Proc. Vol.*, vol. 58, no. 1, pp. 387–392, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.325>.
- [7] H. Youssef, "Fuzzy Logic for Academic Orientation and Its Impact on Success : Content Analysis FUZZY SET THEORY AND ITS," no. Bml 2021, pp. 546–551, 2022, doi: 10.5220/0010742200003101.
- [8] H. G. Gonzales, "The Influence of Lean Principles on USTP Electro-Mechanical Technology Department Waste Management and Sustainability Efforts : Case Study," vol. 3, no. 4, pp. 19–24, 2023, doi: 10.47760/cognizance.2023.v03i04.003.
- [9] L. L. Klein, M. S. Tonetto, L. V. Avila, and R. Moreira, "Management of lean waste in a public higher education institution," *J. Clean. Prod.*, vol. 286, p. 125386, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125386.
- [10] M. Helmold, A. Küçük Yılmaz, T. Flouris, T. Winner, V. Cvetkoska, and T. Dathe, "Lean Management in Higher Education (LHE)," *Manag. Prof.*, vol. Part F377, pp. 229–238, 2022, doi: 10.1007/978-3-031-10104-5\_17.
- [11] M. Shamsuzzaman *et al.*, *Improving the admission process in a higher education institute using lean six sigma: a case study*, vol. 14, no. 7. 2023. doi: 10.1108/IJLSS-05-2021-0098.
- [12] P. I. Schwantz, J. A. Douglas, and A. Douglas, "Types of waste in higher education institutions based on the lean system : development of an assessment instrument," *Int. J. Sustain. High. Educ.*, 2025, doi: 10.1108/IJSHE-06-2024-0392.
- [13] D. Hariyani, P. Hariyani, S. Mishra, and M. K. Sharma, "A literature review on lean tools for enhancing the quality in the outcome-based education system," *Think. Ski. Creat.*, vol. 57, no. January, 2025, doi: 10.1016/j.tsc.2025.101793.
- [14] L. P. S. Hartanti, I. Gunawan, I. J. Mulyana, and H. Herwinarso, "Identification of Waste Based on Lean Principles as the Way towards Sustainability of a Higher Education Institution: A Case Study from Indonesia," *Sustain.*, vol. 14, no. 7, 2022, doi: 10.3390/su14074348.
- [15] S. Zighan and A. EL-Qasem, "Lean thinking and higher education management: revaluing the business school programme management," *Int. J. Product. Perform. Manag.*, vol. 70, no. 3, pp. 675–703, 2020, doi: 10.1108/IJPPM-05-2019-0215.

***An Integrative Fuzzy FMEA–DEMATEL Approach for Waste Reduction in Lean Implementation in Higher Education Institutions: A Literature Review / Lusia Permata Sari Hartanti, Ivan Gunawan***

- 
- [16] I. J. Mulyana, L. P. S. Hartanti, V. A. Herdianto, I. Gunawan, and H. Herwinarso, "Lean Waste Identification in Higher Education Institution Using Waste Assessment Model," *Manag. Syst. Prod. Eng.*, vol. 30, no. 3, pp. 200–206, 2022, doi: 10.2478/mspe-2022-0025.
- [17] Y. Kazancoglu and Y. D. Ozkan-Ozen, "Lean in higher education: A proposed model for lean transformation in a business school with MCDM application," *Qual. Assur. Educ.*, vol. 27, no. 1, pp. 82–102, 2019, doi: 10.1108/QAE-12-2016-0089.
- [18] H. C. Liu, L. J. Zhang, Y. J. Ping, and L. Wang, "Failure mode and effects analysis for proactive healthcare risk evaluation: A systematic literature review," *J. Eval. Clin. Pract.*, vol. 26, no. 4, pp. 1320–1337, 2020, doi: 10.1111/jep.13317.
- [19] G. M. Magableh, A. A. Mumani, S. F. Obaidat, and M. Z. Mistarihi, "Fuzzy-FMEA theory approach for prioritizing supply chain nervousness factors," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 11, 2024, doi: 10.3390/app14114747.
- [20] J. Singh, H. Singh, and B. Singh, *Fuzzy-based FMEA – Application*. 2020. doi: 10.1108/978-1-83982-142-420201003.
- [21] L. D. D. R. Calache, L. G. Zanon, R. F. M. Arantes, L. Osiro, and L. C. R. Carpinetti, "Risk prioritization based on the combination of FMEA and dual hesitant fuzzy sets method," *Production*, vol. 31, pp. 1–16, 2021, doi: 10.1590/0103-6513.20200081.
- [22] M. Yucesan, M. Gul, and E. Celik, "A holistic FMEA approach by fuzzy-based Bayesian network and best-worst method," *Complex Intell. Syst.*, vol. 7, no. 3, pp. 1547–1564, 2021, doi: 10.1007/s40747-021-00279-z.
- [23] E. de S. Lima, U. R. de Oliveira, M. de C. Costa, V. A. Fernandes, and P. Teodoro, "Sustainability in public universities through lean evaluation and future improvement for administrative processes," *J. Clean. Prod.*, vol. 382, no. January, pp. 1–10, 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.135318.
- [24] N. Kadoić, B. Divjak, and N. Begičević Ređep, "Integrating the DEMATEL with the analytic network process for effective decision-making," *Cent. Eur. J. Oper. Res.*, vol. 27, no. 3, pp. 653–678, 2019, doi: 10.1007/s10100-018-0601-4.
- [25] S. Shooshtarian, A. T. Gurmu, and M. N. Mahmood, "Application of the DEMATEL approach to analyse the root causes of building defects," *Qual. Quant.*, vol. 58, no. 5, pp. 4641–4660, 2024, doi: 10.1007/s11135-024-01872-3.
- [26] M. Chi, S. Ren, Y. Xu, Y. Chen, and Y. Wu, "Critical success factors for metaverse implementation in the service industry: A hybrid ISM-DEMATEL approach," *J. Retail. Consum. Serv.*, vol. 87, no. June, p. 104424, 2025, doi: 10.1016/j.jretconser.2025.104424.