

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Teori

2.1.1. Manajemen Logistik

2.1.1.1. Pengertian Manajemen Logistik

Manajemen logistik merupakan proses perencanaan, implementasi, dan pengendalian dari kegiatan-kegiatan logistik mulai dari pengadaan, penyimpanan, hingga pendistribusian guna memenuhi kebutuhan pelanggan (Suarna dkk., 2022). Fokus utama dari rangkaian aktivitas ini adalah penciptaan nilai melalui efisiensi operasional. Menurut Bowersox et al. (2020), manajemen logistik adalah proses dan serangkaian aktivitas yang menciptakan nilai, dengan fokus pada desain dan administrasi sistem untuk mengendalikan ketepatan waktu serta posisi geografis bahan baku, barang setengah jadi, dan persediaan barang jadi pada tingkat biaya total yang paling rendah.

Selain pergerakan fisik, kelancaran sistem logistik juga sangat bergantung pada pengelolaan informasi. Menurut *Council of Supply Chain Management Professional* yang dikutip oleh Liberatore dan Miller (2021), mendefinisikan manajemen logistik sebagai salah satu elemen di dalam manajemen rantai pasokan yang bertugas menyusun perencanaan, mengeksekusi, sekaligus mengawasi pergerakan arus produk, layanan, maupun informasi yang berkaitan baik yang bergerak maju maupun sebaliknya beserta proses penyimpanannya secara optimal. Rangkaian sistem ini membentang dari titik awal sumber hingga mencapai tahap pengguna akhir, dengan tujuan utama mengakomodasi kebutuhan konsumen. Berdasarkan rumusan-rumusan tersebut, dapat disimpulkan bahwa logistik bukan

sekadar aktivitas pemindahan barang. Logistik adalah fungsi strategis perusahaan yang bertujuan untuk menjamin ketersediaan material secara presisi sekaligus menekan pemborosan biaya operasional.

2.1.1.2. Tujuan Manajemen Logistik

Menurut Christopher (2023), tujuan utama dari manajemen logistik adalah merencanakan dan mengoordinasikan seluruh kegiatan operasional untuk mencapai target layanan dan kualitas pengiriman dengan biaya serendah mungkin. Manajemen logistik pada dasarnya berfungsi sebagai jembatan yang menghubungkan antara kebutuhan pasar dan kemampuan pasokan perusahaan. Melalui fungsi ini, perusahaan dapat memastikan bahwa permintaan pelanggan terpenuhi lewat pengaturan aliran material dan informasi yang baik, mulai dari titik awal hingga barang diterima oleh konsumen.

Selain itu, manajemen logistik juga bertujuan untuk menyatukan seluruh bagian di dalam perusahaan agar dapat bekerja secara terintegrasi, selaras, dan saling mendukung dalam mencapai tujuan organisasi secara efektif dan efisien. Dalam praktik konvensional, departemen seperti pemasaran dan produksi sering kali memiliki target yang saling bertentangan. Pendekatan logistik hadir untuk menghilangkan hambatan antardepartemen tersebut. Tujuan akhirnya adalah membentuk satu rencana kerja yang utuh, di mana permintaan dari pasar langsung diterjemahkan menjadi strategi produksi dan pengadaan barang di lapangan. Dengan kata lain, misi utama manajemen logistik adalah memastikan pergerakan barang dari pemasok hingga ke tangan konsumen dapat berjalan dengan cara yang paling efektif dan efisien (Christopher, 2023).

2.1.1.3. Logistik Keluar (*Outbound Logistics*)

Logistik keluar merupakan tahap akhir dalam rantai pasok yang berfokus pada pergerakan fisik barang setelah proses produksi selesai. Menurut *Council of Supply Chain Management Professionals* yang dikutip oleh Liberatore dan Miller (2021), logistik keluar secara spesifik didefinisikan sebagai proses yang berkaitan dengan pergerakan dan penyimpanan produk dari ujung jalur produksi hingga ke tangan pengguna akhir. Tahap ini memiliki peran krusial sebagai penentu tingkat keberhasilan strategi manajemen hubungan pelanggan sebuah perusahaan. Sebagai titik pertemuan fisik terakhir antara perusahaan dan pasar, keandalan logistik keluar menjadi tolok ukur utama bagi konsumen dalam menilai kualitas layanan perusahaan secara keseluruhan.

Di dalam rangkaian operasional logistik keluar tersebut, terdapat tahapan yang sangat menentukan kelancaran distribusi. Alkanafani & Alkanafani (2024) menegaskan bahwa proses pemuatan dan pengiriman merupakan tahapan yang paling kritis dalam sistem logistik keluar. Pada fase inilah seluruh barang yang telah disimpan dan disortir dipersiapkan secara fisik ke dalam kendaraan pengiriman untuk diantarkan kepada pelanggan. Tahap ini dinilai sangat kritis karena hambatan atau ketidakefisienan sekecil apa pun saat proses pemuatan akan berdampak langsung pada keterlambatan jadwal pengiriman secara umum. Pada akhirnya, masalah tersebut dapat menurunkan kemampuan perusahaan dalam memenuhi pesanan pelanggan dan secara bersamaan meningkatkan biaya operasional.

2.1.2. Manajemen Pergudangan

2.1.2.1. Pengertian Pergudangan

Pergudangan merupakan komponen vital dalam ekosistem rantai pasok modern yang berperan penting dalam menjaga kelancaran aliran barang serta mendukung efektivitas dan efisiensi operasional perusahaan secara keseluruhan. Fasilitas ini tidak berdiri sendiri, melainkan terintegrasi dalam berbagai tahapan pergerakan material, mulai dari proses pengadaan, produksi, hingga tahap distribusi akhir barang. Cakupan operasionalnya menangani keseluruhan spektrum fisik produk, mulai dari penerimaan bahan baku, pengelolaan barang setengah jadi, hingga pengaturan produk akhir yang siap dikirimkan kepada pelanggan (Rushton et al., 2022). Artinya, fasilitas ini bertindak sebagai pusat kendali pergerakan fisik yang memastikan ketersediaan barang di setiap titik kritis perusahaan.

Lebih dari sekadar penyediaan bangunan fisik, pengelolaan fasilitas ini menuntut perhitungan matematis dan operasional yang ketat. Manajemen pergudangan pada dasarnya adalah keahlian dalam mengelola pemanfaatan ruang dan waktu kerja secara presisi. Mengingat kapasitas ruang dan jam kerja karyawan adalah komponen biaya yang mahal, manajemen gudang dituntut untuk menggunakan keduanya seminimal mungkin saat menyalurkan produk ke pelanggan (Bartholdi & Hackman, 2019). Tata kelola yang tepat akan memberikan jalan bagi perusahaan untuk menekan angka pemborosan ruang dan jam kerja, sekaligus memastikan perputaran barang berjalan dengan tingkat efisiensi yang paling maksimal (IIMM, 2020).

2.1.2.2. Fungsi Pergudangan

Fasilitas pergudangan memiliki peran yang jauh lebih strategis daripada sekadar tempat penumpukan barang. Gudang tidak hanya berfokus pada penyimpanan persediaan, tetapi juga pada kecepatan pergerakan aliran barang. Menurut Rushton et al. (2022), terdapat beberapa fungsi utama dari fasilitas pergudangan, yaitu:

1. Titik Penyimpanan Persediaan (*Inventory Holding Point*)

Fungsi ini dikaitkan erat dengan konsep titik penyangga (*decoupling point*) dalam rantai pasok. Gudang bertindak sebagai fasilitas untuk menahan persediaan barang demi menyerap fluktuasi permintaan pelanggan dan melindungi operasional dari ketidakpastian waktu pasokan.

2. Pusat Konsolidasi (*Consolidation Centre*)

Ketika pelanggan memesan berbagai lini produk yang berbeda, gudang berfungsi sebagai titik kumpul untuk menyatukan barang-barang tersebut. Konsolidasi ini dapat mengambil barang dari persediaan gudang itu sendiri maupun dari titik pasokan lain agar dapat dikirimkan secara bersamaan ke tangan pelanggan.

3. Pusat Transit Silang (*Cross-dock Centre*)

Fungsi ini digunakan ketika barang didatangkan dari pabrik atau lokasi lain secara spesifik untuk memenuhi pesanan pelanggan yang sudah ada. Barang akan langsung dipindahkan dari kendaraan masuk ke kendaraan keluar tanpa dimasukkan ke dalam area penyimpanan ruang gudang terlebih dahulu.

4. Pusat Penyortiran (*Sortation Centre*)

Gudang pada dasarnya beroperasi mirip dengan transit silang, namun secara khusus dirancang untuk menerima barang dengan tujuan utama pemilahan secara cepat dan terstruktur. Barang dibawa ke gudang semata-mata untuk disortir berdasarkan wilayah spesifik atau pelanggan tertentu sebelum dimuat ke dalam armada angkutan.

5. Fasilitas Perakitan (*Assembly Facility*)

Gudang dimanfaatkan sebagai titik penyelesaian produk akhir untuk menunda proses produksi selama mungkin di sepanjang rantai pasok demi meminimalkan penumpukan inventaris. Aktivitas di dalamnya mencakup perakitan akhir komponen, pengujian kelayakan, hingga pelabelan produk yang dilakukan secara sistematis untuk memastikan kualitas sebelum didistribusikan.

6. Depo Transit (*Trans-shipment Depot*)

Fasilitas ini umumnya digunakan untuk melayani wilayah distribusi yang lebih terpencil. Pesanan dari pusat distribusi berskala nasional diturunkan ke depo tanpa persediaan tetap (*stockless*), lalu dipilah ke dalam kendaraan berkapasitas lebih kecil untuk pengiriman langsung ke konsumen akhir.

7. Pusat Barang Retur (*Returned Goods Centre*)

Fasilitas yang secara khusus untuk menangani aliran balik produk. Fungsi ini mencakup penanganan pengembalian pesanan dari pelanggan, produk yang sudah habis masa pakainya, atau untuk memproses daur ulang aset kemasan dan transit.

2.1.2.3. Aktivitas Operasional Pergudangan

Dalam menjalankan fungsi-fungsi strategisnya, fasilitas pergudangan tidak bisa dioperasikan secara acak. Menurut Bhargav (2014), kegiatan operasional pergudangan digerakkan melalui serangkaian tahapan fisik yang saling berkaitan secara berurutan, yaitu:

1. Penerimaan Barang

Tahap awal di mana fasilitas gudang menerima pengiriman fisik dari pemasok atau pabrik. Pada titik ini, pihak gudang secara resmi mengambil alih tanggung jawab atas barang tersebut yang dibuktikan dengan pembaruan data pada catatan persediaan.

2. Identifikasi dan Penyortiran

Proses pemberian label, pengodean warna, dan pemilahan barang yang baru masuk. Barang dipisahkan berdasarkan kategori spesifiknya (seperti barang reguler, promosi, atau penyesuaian harga) untuk memastikan setiap item diletakkan di area penyimpanan yang paling tepat dan mudah diakses.

3. Penyimpanan

Penempatan fisik barang di lokasi alokasinya masing-masing. Fokus mutlak pada tahap ini adalah pengamanan barang untuk mencegah risiko pencurian, kerusakan fisik, atau penurunan kualitas produk selama masa tunggu.

4. Pengambilan dan Pengemasan

Ketika pesanan dari pelanggan masuk, pekerja gudang melacak dan menarik barang dari rak penyimpanan. Barang-barang tersebut kemudian

dikelompokkan dan dikemas secara fisik agar terjamin keamanannya selama proses distribusi.

5. Pemeriksaan dan Pemuatan

Tahap konsolidasi akhir di mana kelengkapan setiap barang dihitung dan divalidasi ulang dengan dokumen pesanan. Setelah seluruh item dipastikan sesuai tanpa selisih, barang langsung dimuat ke dalam armada transportasi yang telah ditunjuk untuk diberangkatkan.

6. Pembaruan Data Sistem

Tahap penyelesaian administratif yang mencakup pencatatan mutasi stok keluar serta evaluasi terhadap kebutuhan pengisian ulang persediaan agar operasional di masa mendatang tidak terhambat

Di sisi lain, penggunaan teknologi informasi berperan penting dalam mendukung kelancaran aktivitas fisik di gudang. Implementasi *Warehouse Management System* (WMS) memungkinkan proses operasional berjalan lebih terintegrasi dan efisien (Ramaa et al., 2012). Penerapan sistem ini terbukti mampu mengurangi penggunaan dokumen fisik, meningkatkan akurasi data persediaan secara *real-time*, serta mengurangi ketergantungan pekerja terhadap ingatan manual dalam proses penyiapan barang. Dengan demikian, potensi terjadinya *human error* dalam aktivitas pergudangan dapat ditekan secara lebih efektif.

2.1.2.4. Proses Pemuatan Barang

Proses pemuatan barang merupakan aktivitas fisik paling akhir di dalam area pergudangan sebelum produk secara resmi diserahkan kepada pihak angkutan transportasi. Menurut Rushton et al. (2022), tahap ini mencakup pergerakan fisik barang dari area persiapan (*staging area*) menuju armada pengiriman, disertai

dengan penataan letak muatan ke dalam kendaraan dan pengamanannya. Pemuatan bukan sekadar rutinitas pemindahan barang, melainkan titik transisi kritis yang menguji sejauh mana keandalan proses persiapan dan penyortiran pesanan yang telah dilakukan oleh pekerja pada tahap-tahap sebelumnya.

Tingkat kekritisan proses pemuatan ini sangat dipengaruhi oleh keterbatasan waktu eksekusi di lapangan. Berbeda dengan aktivitas penyimpanan dan pengambilan barang di hulu yang umumnya dapat berjalan secara konstan, proses pemuatan ke dalam armada transportasi sering kali harus diselesaikan dalam rentang waktu yang sangat sempit Hompel & Schimdt (2007) menegaskan bahwa keterbatasan waktu ini memicu puncak beban kerja (*issue peaks*) yang secara praktis akan langsung menciptakan kemacetan operasional (*bottlenecks*) di area gerbang pengiriman.

Mempertegas fenomena kemacetan tersebut, Nabila & Rochmoeljati (2026) menjelaskan bahwa ketidakseimbangan kapasitas pada stasiun kerja *outbound* merupakan sumber *bottleneck* utama dalam operasional logistik. Kondisi inefisiensi ini berpotensi merusak *throughput* fasilitas dan meningkatkan waktu siklus sistem secara keseluruhan, yang bermuara pada antrean panjang armada.

Selain mengandalkan ketersediaan area, kelancaran proses pemuatan sangat bergantung pada kecepatan pergerakan dan kesiapan fisik material di area persiapan. Efisiensi pemuatan sering kali terhambat oleh rentetan aktivitas tidak bernilai tambah (*non-value added activities*) pada fase pengeluaran barang (*outbound*), seperti keharusan mencari posisi material, menata ulang tumpukan palet (*re-palletizing*), hingga mengosongkan jalur perlintasan (Wibowo, 2021). Ketidaksiapan fisik barang akibat buruknya tata kelola ini akan langsung memicu

penghentian sementara operasional pemuatan, yang pada akhirnya mengakibatkan pemborosan jam kerja efektif fasilitas gudang.

Durasi pemuatan yang melebihi standar waktu operasional memaksa perusahaan untuk melakukan penambahan jam kerja guna menyelesaikan target pengiriman harian. Archie & Azzahra (2025), dalam penelitiannya membuktikan bahwa tingginya waktu tunggu alat angkut dan inefisiensi saat proses pengeluaran barang di area persiapan secara langsung menjadi penyebab utama terjadinya jam lembur yang berlebihan bagi para pekerja. Pembengkakan durasi operasional inilah yang pada akhirnya menghasilkan lonjakan pengeluaran finansial tak bernilai tambah yang secara kumulatif merugikan perusahaan.

Meskipun proses pemuatan barang rentan terhadap berbagai kendala operasional, faktor keandalan manusia tetap berperan sebagai elemen penting dalam menjaga stabilitas proses kerja. Pengalaman kerja yang terakumulasi dari waktu ke waktu terbukti mampu meningkatkan kecepatan pemrosesan sekaligus menurunkan tingkat kesalahan dalam aktivitas operasional (Grosse & Glock, 2015). Selain itu, koordinasi yang baik antarpekerja dalam tim bongkar muat juga menjadi faktor penting dalam mengurangi dampak negatif akibat tingginya fluktuasi beban kerja di area fasilitas.

2.1.3. Manajemen Risiko

2.1.3.1. Konsep Dasar Manajemen Risiko

Dalam konteks operasional, segenap kegiatan yang dijalankan untuk mencapai target perusahaan tidak pernah lepas dari kondisi ketidakpastian. Hopkin (2017) yang mengutip standar global ISO 31000 mendefinisikan risiko secara definitif sebagai efek dari ketidakpastian pada sasaran atau tujuan (*effect of*

uncertainty on objectives). Efek ini merepresentasikan penyimpangan dari apa yang diharapkan, yang dapat berwujud positif maupun negatif. Lebih lanjut, risiko dalam praktiknya sering kali terdeskripsikan dalam bentuk suatu peristiwa spesifik, perubahan keadaan operasional, atau konsekuensi yang muncul akibat gagalnya suatu sistem berjalan sesuai standar.

Memitigasi dampak negatif dari ketidakpastian tersebut memerlukan sebuah pendekatan terstruktur yang dikenal sebagai manajemen risiko. Ningsih dkk. (2024), mendefinisikan manajemen risiko sebagai sebuah proses sistematis yang berkesinambungan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, mengelola, dan memonitor berbagai risiko yang berpotensi menghambat pencapaian tujuan organisasi. Proses ini pada hakikatnya adalah serangkaian usaha terukur untuk melakukan pengelolaan terhadap berbagai insiden atau kegagalan yang dapat merugikan perusahaan (Anita, 2022). Melalui kerangka kerja ini, organisasi tidak hanya bereaksi terhadap masalah, melainkan dapat mengambil langkah antisipatif yang terukur sebelum kegagalan operasional benar-benar terjadi.

2.1.3.2. Metode Analisis Risiko

Dalam praktik manajemen risiko, terdapat beragam metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengevaluasi risiko. Pemilihan metode yang tepat sangat bergantung pada konteks, kompleksitas sistem, dan tujuan analisis yang ingin dicapai. Berikut merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis risiko:

1. *Hazard and Operability Study* (HAZOP)

Metode analisis risiko terstruktur yang dikembangkan untuk mengidentifikasi bahaya dan masalah operasional pada sistem proses dengan

cara memeriksa penyimpangan dari kondisi desain yang diinginkan (Dunjó et al., 2010). Metode ini sangat efektif untuk sistem dengan alur proses yang terdokumentasi secara rinci, namun membutuhkan waktu dan sumber daya yang besar sehingga kurang fleksibel untuk operasional yang bersifat dinamis.

2. *Fault Tree Analysis (FTA)*

Metode deduktif yang bekerja dari atas ke bawah (*top-down*), dimulai dari satu kejadian kegagalan utama kemudian menelusuri kombinasi penyebab yang mungkin melatarbelakanginya (Ruijters & Stoelinga, 2015). FTA sangat kuat dalam menganalisis kegagalan tunggal secara mendalam, namun kurang efisien apabila perlu menganalisis banyak mode kegagalan secara bersamaan.

3. *Risk Matrix*

Alat visualisasi risiko yang menempatkan setiap risiko pada matriks dua dimensi berdasarkan kemungkinan terjadinya dan tingkat dampaknya (Cox, 2008). Kesederhanaannya membuatnya mudah digunakan, namun metode ini sering dikritik karena sangat bergantung pada penilaian subjektif dan tidak memiliki mekanisme pembobotan kriteria yang objektif.

4. *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*

Metode induktif yang bekerja dari bawah ke atas (*bottom-up*), mengidentifikasi seluruh mode kegagalan potensial dalam suatu sistem, menganalisis efek dari masing-masing kegagalan tersebut, serta mengevaluasi tingkat prioritasnya melalui nilai *Risk Priority Number (RPN)* yang diperoleh dari perkalian skor *Severity (S)*, *Occurrence (O)*, dan *Detection (D)* (McDermott et al., 2009). Keunggulan FMEA terletak pada kemampuannya

menganalisis banyak mode kegagalan secara simultan dalam satu kerangka terstruktur.

2.1.3.3. Risiko Operasional dalam Pergudangan

Berbeda dengan risiko bisnis yang umumnya disebabkan oleh keputusan strategis yang keliru, risiko operasional lebih berfokus pada kesalahan-kesalahan yang terjadi dalam pelaksanaan kegiatan sehari-hari (Coleman, 2011). Sejalan dengan pandangan tersebut, menurut Pangestuti dkk. (2022), risiko operasional timbul akibat kegagalan fungsi pada sistem, teknologi, sumber daya manusia, maupun faktor internal lain yang tidak berjalan sesuai standar prosedur. Dengan kata lain, segala bentuk ketidaksesuaian antara perencanaan dengan eksekusi aktual di lapangan merupakan pemicu utama terjadinya risiko operasional.

Ketika konsep dasar ini ditarik ke dalam ekosistem pergudangan, ancaman operasional dapat dipetakan ke dalam beberapa kategori spesifik. Hanafiah dkk. (2022), mengklasifikasikan arsitektur risiko operasi gudang ke dalam beberapa pilar utama, di antaranya adalah risiko operasional yang bersumber dari kegagalan sistem, risiko manusia yang meliputi kelalaian, ketidaktahuan, dan minimnya keterampilan staf serta risiko sumber daya yang mencakup kerusakan mesin.

Pemetaan risiko dalam operasional logistik perlu dilakukan secara sistematis agar sumber permasalahan dapat diidentifikasi dengan lebih jelas. Risiko dalam operasional logistik umumnya dikelompokkan ke dalam tiga kategori utama, yaitu risiko internal perusahaan yang berasal dari kegagalan proses maupun faktor manusia, risiko eksternal yang masih berada dalam jaringan rantai pasok seperti ketidaksesuaian informasi dengan pelanggan, serta risiko eksternal jaringan yang dipengaruhi faktor makro di luar kendali perusahaan (Ho et al., 2015).

Pengklasifikasian tersebut penting karena gangguan pada salah satu aspek dapat memengaruhi kontinuitas layanan dan stabilitas operasional fasilitas pergudangan.

Khusus pada aspek risiko manusia, ketidaktepatan staf sering kali menjadi titik lemah yang paling kritis dalam aktivitas pergudangan. Sebagian besar operasional gudang hingga saat ini masih didominasi oleh aktivitas manual (Grosse et al., 2015), sehingga faktor manusia memiliki pengaruh besar terhadap kualitas proses kerja. Tingginya beban kerja dapat memicu kelelahan kognitif dan penurunan keterampilan motorik pekerja, terutama ketika volume pesanan meningkat. Kondisi tersebut pada akhirnya meningkatkan probabilitas terjadinya *human error* dalam proses logistik fisik.

Beranjak pada risiko jaringan, kerentanan operasional sangat dipengaruhi oleh fasilitas fisik. Secara spesifik, Gu et al. (2007) menjelaskan bahwa area pemuatan (*shipping area*) pada dasarnya berfungsi sebagai area penyangga (*buffer*) bagi pesanan yang akan berangkat. Kepadatan (*congestion*) yang terjadi akibat penumpukan barang di area pemuatan tersebut akan secara langsung menyebabkan kemacetan operasional (*bottlenecks*) pada proses pengambilan (*picking*) dan penyortiran barang sebelumnya.

Sementara itu, pada risiko eksternal, ancaman utama bersumber dari asimetri informasi. Pertukaran informasi (*information sharing*) mengenai prediksi permintaan (*demand forecasting*), status pesanan, dan tingkat persediaan sangat krusial untuk mengurangi ketidakpastian operasional (Lotfi et al., 2013). Sebaliknya, pertukaran informasi yang buruk antaranggota rantai pasok dapat memicu berbagai masalah beruntun, terutama tingginya biaya operasional dan rendahnya efisiensi fasilitas.

Terkait distorsi informasi tersebut, Winarno dkk. (2023), dalam penelitiannya membuktikan bahwa ketiadaan peramalan permintaan (*demand forecasting*) yang akurat dari pelanggan merupakan dalang utama terjadinya *bullwhip effect*. Kegagalan komunikasi data ini menyebabkan fluktuasi pesanan mendadak yang membebani kapasitas hulu, sehingga fasilitas logistik kehilangan kemampuan untuk melakukan optimasi perencanaan dan penjadwalan secara efektif.

Akumulasi dari ketiga kerentanan tersebut baik dari sisi internal, jaringan, maupun eksternal pada akhirnya bermuara pada inefisiensi waktu yang parah di area operasional. Mengonfirmasi dampak tersebut, Leonardi & Ishak (2024) mengidentifikasi bahwa faktor-faktor pemicu seperti proses pemuatan yang tidak mematuhi standar operasional, terbatasnya staf bongkar muat, dan minimnya ketersediaan alat angkut material secara langsung mengakibatkan antrean panjang armada truk di fasilitas gudang. Jika hambatan-hambatan ini tidak segera dikendalikan, kemacetan di area pengiriman akan berujung pada penundaan jadwal keberangkatan dan memaksa perusahaan menanggung pembengkakan jam kerja. Oleh karena itu, diperlukan metode analitis yang terstruktur untuk membedah akar kegagalan ini.

2.1.3.4. Pengendalian Risiko

Menurut Senastri (2023), pengendalian risiko mencakup langkah-langkah yang diambil untuk meminimalkan dampak negatif dari perubahan yang tidak terduga atau situasi yang tidak diinginkan. Teknik ini memanfaatkan evaluasi risiko guna mengidentifikasi potensi risiko operasional perusahaan. Cakupannya meliputi aspek teknis, nonteknis, finansial, serta ragam persoalan lain yang memengaruhi

kelangsungan bisnis (Mala, 2021). Pendekatan ini menunjukkan bahwa pengendalian risiko bukan hanya langkah reaktif saat masalah muncul, melainkan tindakan proaktif untuk mengantisipasi ketidakpastian. Melalui strategi yang terukur, perusahaan tidak hanya mampu melindungi aset dan reputasinya, tetapi juga membangun ketahanan operasional yang stabil untuk jangka panjang.

Dengan menerapkan strategi pengendalian risiko yang efektif, perusahaan dapat meminimalkan potensi kerugian dan mengoptimalkan pengambilan keputusan. Berikut adalah tujuan utama dari pengendalian risiko dalam konteks bisnis (Rupwardani, 2023):

1. Perusahaan memiliki kendali dalam setiap pengambilan keputusan, sehingga manajer lebih cermat dan senantiasa mengintegrasikan aspek pengendalian.
2. Memberikan arahan yang tepat kepada perusahaan dalam melihat efek yang akan timbul dalam jangka pendek maupun jangka panjang.
3. Mendorong manajer dalam pengambilan keputusan untuk menghindari dampak kerugian finansial.
4. Memastikan perusahaan mengalami risiko kerugian seminimal mungkin.

Dalam praktik manajemen risiko yang baik, terdapat beberapa pertimbangan penting mengenai waktu dan area fokus dalam melaksanakan pengendalian risiko. Menurut Dano (2023), fokus dan waktu dilakukannya pengendalian risiko adalah sebagai berikut:

1. Fokus Pengendalian Risiko

Upaya pengendalian risiko dapat dititikberatkan pada langkah-langkah berikut:

- a. Menurunkan probabilitas atau peluang terjadinya suatu risiko.

- b. Meminimalisasi tingkat keparahan (*severity*) atas dampak yang ditimbulkan oleh risiko terkait.
- c. Menerapkan teknik pemisahan (*separation*) beserta penggandaan (*duplication*) sebagai pendekatan lazim guna menekan derajat keparahan dari sebuah risiko.

2. Waktu Pengendalian Risiko

Ditinjau dari dimensi waktu (*timing*), upaya pengendalian risiko dapat diimplementasikan pada tahapan sebelum, saat berlangsung, hingga setelah suatu risiko terjadi. Pengendalian sebelum risiko terjadi bersifat preventif melalui persiapan teknis dan prosedur. Pengendalian saat terjadinya risiko mencakup langkah tanggap darurat, sedangkan pengendalian setelah risiko terjadi berfokus pada tindakan pemulihan.

Menurut Srinivas (2019), strategi pengendalian risiko dapat dilakukan melalui beberapa metode berikut ini:

1. *Risk Avoidance* (Penghindaran Risiko)

Melibatkan perubahan rencana manajemen atau operasional untuk menghilangkan ancaman sepenuhnya. Manajer dapat mengisolasi tujuan atau aktivitas yang berada dalam bahaya, mengubah strategi, atau mengurangi ruang lingkup pekerjaan untuk menghindari risiko tersebut.

2. *Risk Transfer* (Pemindahan Risiko)

Memerlukan pengalihan sebagian atau seluruh dampak negatif dari ancaman beserta tanggung jawab penanganannya kepada pihak ketiga. Contoh umumnya adalah pengalihan risiko finansial, teknis, maupun keamanan kepada pihak asuransi atau konsultan eksternal.

3. *Risk Reduction* (Pengurangan Risiko)

Hal ini merujuk pada upaya meminimalisasi probabilitas maupun dampak dari suatu kejadian berisiko yang merugikan, sehingga nilainya tetap berada pada ambang batas yang dapat ditoleransi. Strategi ini diadopsi ketika biaya yang dikeluarkan untuk mitigasi lebih kecil daripada potensi kerugian akibat risiko tersebut. Implementasinya dapat berupa penguatan prosedur jaminan kualitas, perencanaan kontingensi, dan perancangan desain operasional yang sesuai standar.

4. *Risk Acceptance* (Penerimaan Risiko)

Strategi ini diadopsi apabila upaya untuk meniadakan seluruh risiko dinilai mustahil atau kurang efisien. Kondisi ini mengindikasikan keputusan manajemen untuk mempertahankan rencana awal, maupun ketiadaan alternatif strategi penanganan lain yang relevan. Tindakan ini memerlukan dokumentasi strategi, di mana tim hanya akan menangani risiko tersebut saat benar-benar terjadi.

2.1.4. *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA)

2.1.4.1. Pengertian FMEA

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) pada hakikatnya adalah sebuah instrumen analitis sistematis yang dirancang untuk mengidentifikasi dan mencegah potensi masalah pada sistem, produk, maupun proses sebelum kegagalan tersebut benar-benar terjadi di lapangan. Sharma & Srivastava (2018) menegaskan bahwa fokus utama dari metode ini adalah tindakan pencegahan proaktif, peningkatan keselamatan operasional, serta pemaksimalan tingkat kepuasan pelanggan. Berbeda dengan metode investigasi tradisional yang bersifat reaktif dan

baru bekerja setelah kerusakan terjadi, FMEA bertindak sebagai mekanisme pencegahan risiko yang memungkinkan perusahaan untuk memetakan dan meredam kelemahan sistem sedini mungkin.

Secara mekanis, teknik ini bekerja dengan membedah modus kegagalan (*failure mode*), mekanisme pemicu, beserta dampak berantai yang ditimbulkannya terhadap keseluruhan siklus operasional. Menurut Vorst dkk. (2018), FMEA dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa varian sesuai dengan target aplikasinya, seperti FMEA Rancangan untuk komponen produk, FMEA Sistem, hingga FMEA Proses yang secara spesifik digunakan untuk mengevaluasi jalur manufaktur, perakitan, dan operasional layanan. Lebih lanjut, metode ini umumnya diakhiri dengan analisis kekritisitas yang mendefinisikan signifikansi setiap modus kegagalan secara kuantitatif maupun kualitatif berdasarkan probabilitas terjadinya masalah, tingkat keparahan dampak, hingga akumulasi nilai prioritas risiko (*Risk Priority Number*).

2.1.4.2. Tujuan FMEA

Tujuan utama dari penerapan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) bukanlah sekadar untuk membuat daftar panjang yang berisi semua kemungkinan kesalahan di rantai operasi. Tujuan fundamental FMEA adalah untuk memfasilitasi prioritas risiko, di mana hasil penilaiannya akan memandu perusahaan dalam mengalokasikan sumber daya secara tepat guna untuk memitigasi risiko-risiko yang paling kritis (Majka, 2024). Tanpa adanya sistem penetapan prioritas ini, perusahaan berisiko membuang waktu, tenaga, dan modal untuk memperbaiki masalah-masalah minor yang tidak berdampak besar, sementara titik kegagalan yang berpotensi melumpuhkan kelancaran operasional justru terabaikan.

Pencapaian tujuan efisiensi mitigasi tersebut dimungkinkan karena FMEA mengubah asumsi kualitatif menjadi metrik yang terukur. FMEA bertujuan untuk menghasilkan *Risk Priority Number* (RPN) yang berfungsi sebagai dasar utama dalam menetapkan hierarki tindakan perbaikan (Suyatno dkk., 2025). Dengan memprioritaskan tindakan mitigasi secara sistematis berdasarkan nilai RPN tertinggi, pihak manajemen dapat mengeksekusi langkah pencegahan yang paling berdampak signifikan terhadap peningkatan kualitas proses dan penurunan tingkat kegagalan operasional.

2.1.4.3. *Failure Mode & Failure Effect*

Dalam mengevaluasi risiko secara akurat, metode FMEA membagi kegagalan menjadi dua komponen dasar yang memiliki kaitan sebab-akibat: *Failure Mode* (mode kegagalan) dan *Failure Effect* (efek kegagalan). Chin et al. (2009) mendefinisikan *Failure Mode* sebagai cara atau bentuk spesifik bagaimana suatu komponen, sistem, atau tahapan proses berpotensi gagal memenuhi fungsi standarnya. Mode kegagalan bukanlah akar penyebab dari suatu masalah, melainkan bentuk penyimpangan fisik maupun prosedural yang benar-benar terjadi dan dapat dilihat langsung saat operasional berjalan.

Setelah bentuk kegagalan diketahui, analisis dilanjutkan dengan memetakan *Failure Effect*, yaitu dampak buruk yang ditimbulkan oleh mode kegagalan tersebut terhadap keseluruhan sistem. Chin et al. (2009) mendefinisikan efek kegagalan sebagai akibat langsung dari mode kegagalan terhadap fungsi operasional yang pada akhirnya akan dirasakan oleh pelanggan atau mengganggu proses selanjutnya. Melengkapi konsep tersebut, McDermott et al. (2009) menjelaskan bahwa penentuan efek kegagalan harus selalu menggunakan logika

sebab-akibat (*if-then process*): jika suatu mode kegagalan terjadi, lalu apa akibat yang harus ditanggung oleh tahapan proses di depannya (*downstream process*). Evaluasi efek ini berfokus pada seberapa parah kegagalan tersebut mengganggu kelancaran operasi, memicu penundaan, atau menimbulkan kerugian bagi perusahaan.

2.1.4.4. Kriteria *Severity, Occurrence, Detection*

Kriteria pertama, *Severity* (Keparahan), mengevaluasi tingkat keseriusan dari dampak atau konsekuensi yang ditimbulkan oleh suatu mode kegagalan (Menčík, 2016). Penilaian keparahan ini murni melihat konsekuensi terburuk yang dirasakan oleh sistem operasional atau pelanggan jika kegagalan tersebut benar-benar terjadi, tanpa memperhitungkan seberapa sering hal itu muncul (Carlson, 2012). Skala tertinggi akan langsung diberikan pada masalah fatal yang melumpuhkan sistem, sementara skala terendah diperuntukkan bagi gangguan kecil. Parameter penilaian *Severity* dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Tabel *Severity*

Deskripsi	Skala
Kegagalan total (berhenti) dari sistem	10
Kerusakan parah pada sistem	9
Kerusakan pada sistem terlalu tinggi	8
Kerusakan pada sistem tinggi	7
Kerusakan pada sistem sedang	6
Kerusakan pada sistem rendah	5
Kerusakan pada sistem sangat rendah	4
Kerusakan kecil pada sistem	3
Kerusakan sangat kecil pada sistem	2
Tidak ada kerusakan	1

Sumber: Damanab et al. 2015

Kriteria kedua, *Occurrence* (Frekuensi Kejadian), merupakan ukuran probabilitas yang menilai seberapa sering akar penyebab kegagalan (*failure cause*) diperkirakan akan terjadi di rantai kerja (Carlson, 2012). Frekuensi ini sangat penting untuk memetakan kelemahan proses secara statistik (Menčík, 2016). Skala angka yang tinggi menunjukkan bahwa kegagalan tersebut merupakan masalah kronis yang terus berulang, sementara skala terendah berarti sistem pencegahan kesalahan sudah berjalan sangat efektif. Parameter penilaian *Occurrence* disajikan pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Tabel Occurrence

Deskripsi	Skala
Kejadian atau kegagalan sangat mungkin terjadi (satu kali atau lebih per hari)	10
Kejadian atau kegagalan kemungkinan terjadi (setiap 3 hingga 4 hari)	9
Kemungkinan kejadian atau kegagalan sangat tinggi (satu kali seminggu)	8
Kemungkinan kejadian atau kegagalan tinggi (satu kali per bulan)	7
Kemungkinan kejadian atau kegagalan sedang (setiap tiga bulan)	6
Kemungkinan kejadian atau kegagalan rendah (setiap enam bulan hingga setahun)	5
Kemungkinan kejadian atau kegagalan sangat rendah (satu kali per tahun)	4
Kemungkinan kejadian atau kegagalan jarang (satu kali setiap 1 hingga 3 tahun)	3
Kemungkinan kejadian atau kegagalan sangat jarang (satu kali setiap 3 hingga 5 tahun)	2
Kejadian atau kegagalan tidak mungkin terjadi	1

Sumber: Damanab et al., 2015

Kriteria terakhir, *Detection* (Tingkat Deteksi), mengevaluasi kemampuan sistem kontrol atau inspeksi internal saat ini dalam menemukan dan mencegah mode kegagalan sebelum dampaknya meluas ke tahapan akhir (Carlson, 2012). Berkebalikan dengan penilaian pada parameter sebelumnya, skala deteksi yang tinggi justru menunjukkan bahwa sistem pengawasan perusahaan sangat lemah dan memiliki kemungkinan kebobolan yang besar, sementara skala rendah menunjukkan adanya kontrol sistem yang kuat untuk menangkap kesalahan (Menčík, 2016). Parameter penilaian tingkat *Detection* dijabarkan pada Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Tabel *Detection*

Deskripsi	Probabilitas Deteksi	Skala
Tidak ada perangkat kontrol perangkat	Tidak ada deteksi	10
Deteksi kesalahan yang ada oleh perangkat kontrol tidak mungkin	Diabaikan	9
Deteksi kesalahan yang ada oleh perangkat kontrol sangat rendah	Sangat Rendah	8
Deteksi kesalahan yang ada oleh perangkat kontrol rendah	Rendah	7
Deteksi kesalahan yang ada oleh perangkat kontrol cukup	Cukup	6
Deteksi kesalahan yang ada oleh perangkat kontrol rata-rata	Rata-rata	5
Deteksi kesalahan yang ada oleh perangkat kontrol lebih mungkin daripada rata-rata	Lebih mungkin daripada rata-rata	4
Deteksi kesalahan yang ada oleh perangkat kontrol tinggi	Tinggi	3
Deteksi kesalahan yang ada oleh perangkat kontrol sangat tinggi	Sangat Tinggi	2

Deteksi kesalahan yang ada oleh perangkat kontrol ekstrem	Ekstrem	1
---	---------	---

Sumber: Damanab et al. 2015

2.1.4.5. *Risk Priority Number (RPN)*

Risk Priority Number (RPN) merupakan sebuah metrik evaluasi yang digunakan untuk mengukur tingkat kekritisan dari setiap potensi kegagalan secara menyeluruh (Menčík, 2016). Nilai RPN ini diperoleh melalui perhitungan matematis yang mengalikan tiga parameter dasar FMEA, yaitu tingkat keparahan (*Severity*), frekuensi kejadian (*Occurrence*), dan tingkat deteksi (*Detection*), yang diformulasikan dalam persamaan matematis $RPN = S \times O \times D$ (McDermott et al., 2009). Hasil dari perhitungan perkalian tersebut akan menghasilkan rentang nilai dari 1 hingga 1000 untuk setiap mode kegagalan yang dianalisis (Carlson, 2012).

Fungsi utama dari penentuan nilai RPN adalah untuk memetakan dan menemukan penyebab kegagalan operasional yang paling berbahaya bagi perusahaan. Semakin tinggi nilai RPN yang dihasilkan oleh suatu mode kegagalan, maka semakin mendesak pula masalah tersebut untuk segera ditangani dan dieliminasi melalui tindakan perbaikan operasional. Dengan bersandar pada angka prioritas ini, pihak manajemen dapat mengambil keputusan yang lebih objektif dan terukur dalam mengalokasikan sumber daya untuk menyelesaikan kendala yang paling merugikan sistem.

2.1.4.6. **Langkah-Langkah Penerapan FMEA**

Penerapan metode FMEA mensyaratkan pendekatan analitis yang sistematis dan terstruktur agar proses identifikasi risiko menghasilkan data yang objektif dan dapat ditindaklanjuti. Menurut McDermott et al. (2009), pelaksanaan

FMEA secara komprehensif harus melewati serangkaian tahapan berurutan sebagai berikut:

1. Mendefinisikan ruang lingkup dan mengulas proses (*Review the process*):

Tim FMEA harus terlebih dahulu meninjau diagram aliran proses (*flowchart*) secara langsung di lapangan. Hal ini esensial untuk memastikan seluruh anggota tim memiliki pemahaman operasional yang sama persis mengenai batasan tahapan yang menjadi fokus telaah.

2. Menggali potensi kegagalan (*Brainstorm potential failure modes*)

Setelah proses dipahami, tim melakukan curah gagasan untuk menemukan semua wujud kegagalan potensial yang dapat memengaruhi operasional. Kegagalan ini umumnya dikelompokkan berdasarkan elemen spesifik (manusia, metode, peralatan, material, atau lingkungan) agar analisis berjalan lebih terarah.

3. Mendaftar potensi efek dari setiap kegagalan (*List potential effects*)

Setiap mode kegagalan yang teridentifikasi dievaluasi menggunakan logika sebab-akibat (*if-then process*). Analisis ini bertujuan untuk memetakan konsekuensi destruktif apa saja yang harus ditanggung oleh sistem atau proses di hilir jika kegagalan tersebut benar-benar terjadi.

4. Menetapkan peringkat Keparahan (*Assign a severity ranking*)

Tim memberikan estimasi angka skala 1 hingga 10 mengenai seberapa serius dampak dari setiap efek kegagalan. Penilaian ini murni mengevaluasi konsekuensi terburuk tanpa memedulikan seberapa sering atau jarang masalah tersebut muncul di lapangan.

5. Menetapkan peringkat Frekuensi Kejadian (*Assign an occurrence ranking*)
Langkah ini menilai seberapa sering akar penyebab kegagalan (*failure cause*) muncul. Pengukuran paling akurat dilakukan menggunakan data aktual seperti log kegagalan historis; namun jika data tidak tersedia, tim harus mengestimasi secara statistik.
6. Menetapkan peringkat Deteksi (*Assign a detection ranking*)
Tim mengidentifikasi seluruh mekanisme kontrol atau inspeksi yang dimiliki perusahaan saat ini, kemudian mengevaluasi probabilitas keandalan sistem tersebut dalam menangkap kegagalan sebelum dampaknya menyebar ke tahap operasional selanjutnya.
7. Menghitung *Risk Priority Number* (RPN)
Mengkuantifikasi tingkat risiko dengan mengalikan ketiga parameter evaluasi secara matematis ($Severity \times Occurrence \times Detection$) untuk menghasilkan angka prioritas mulai dari rentang 1 hingga 1000 bagi setiap mode kegagalan.
8. Memprioritaskan tindakan perbaikan (*Prioritize for action*)
Hasil perhitungan RPN diurutkan dari yang tertinggi hingga terendah. Manajemen kemudian menggunakan diagram Pareto dan menetapkan batas ambang toleransi (*cutoff point*) guna menentukan risiko operasional mana yang paling mendesak untuk dieksekusi.
9. Mengeksekusi tindakan perbaikan (*Take action*)
Tim merancang dan menerapkan solusi mitigasi. Fokus utama perbaikan adalah mengeliminasi akar penyebab kegagalan secara total, atau setidaknya menurunkan tingkat frekuensi kejadian (*occurrence*) dan memperkuat alat pantau keselamatan (*detection*).

10. Menghitung ulang nilai RPN (*Calculate the resulting RPN*)

Setelah perbaikan diimplementasikan di rantai kerja, tim melakukan evaluasi ulang terhadap ketiga parameter untuk memastikan bahwa tindakan tersebut benar-benar berhasil menekan tingkat risiko ke batas yang ditoleransi.

2.1.5. *Analytic Hierarchy Process (AHP)*

2.1.5.1. Pengertian AHP

Analytic Hierarchy Process (AHP) merupakan kerangka kerja pengambilan keputusan yang komprehensif, yang pertama kali dikembangkan oleh Thomas L. Saaty untuk menangani masalah multikriteria yang kompleks (Saaty & Vargas, 2012). Metode ini dirancang untuk memodelkan masalah ke dalam suatu struktur hierarki yang mencerminkan hubungan antara tujuan, kriteria, dan alternatif. Penggunaan AHP sangat efektif dalam mengonversi persepsi subjektif menjadi skala rasio yang dapat diukur secara matematis (Forman & Gass, 2001).

Menurut Kasperczyk & Knickel (2004), AHP menjadi salah satu pendekatan *Multi-Criteria Analysis (MCA)* yang paling luas digunakan karena memungkinkan pengguna untuk menilai bobot relatif dari berbagai kriteria secara intuitif. Esensi dari AHP adalah kemampuannya untuk mengintegrasikan informasi kualitatif dan kuantitatif melalui proses perbandingan berpasangan, sehingga memberikan landasan yang logis bagi pengambil keputusan bahkan saat data kuantitatif yang presisi sulit didapatkan.

2.1.5.2. Struktur Hierarki AHP

Struktur hierarki merupakan inti dari metode AHP yang berfungsi untuk menstrukturkan kompleksitas masalah melalui dekomposisi elemen. Secara umum, hierarki ini disusun secara bertingkat yang terdiri dari tujuan utama (*goal*) pada

level puncak, kriteria dan sub-kriteria pada level menengah, serta alternatif pilihan pada level paling dasar (Kasperczyk & Knickel, 2004). Saaty & Vargas (2012), menekankan bahwa penyusunan hierarki ini harus mencerminkan pemahaman mendalam tentang masalah yang dihadapi agar seluruh faktor relevan dapat terwakili secara akurat.

Dalam proses dekomposisi ini, pengambil keputusan dapat membedah masalah besar menjadi bagian-bagian kecil yang lebih mudah dikelola (Forman & Gass, 2001). Setiap elemen dalam satu tingkat hierarki dibandingkan satu sama lain dengan merujuk pada elemen di tingkat atasnya, yang menciptakan pola ketergantungan searah. Struktur yang sistematis ini memastikan bahwa penilaian yang dilakukan tetap fokus dan tidak kehilangan detail teknis dari setiap kriteria operasional yang dievaluasi (Saaty & Vargas, 2012).

2.1.5.3. Skala Perbandingan Berpasangan (*Pairwise Comparison*)

Proses penilaian dalam AHP dilakukan melalui perbandingan berpasangan (*pairwise comparisons*) yang menarik bagi pengguna karena kemampuannya menangkap preferensi manusia secara alami (Kasperczyk & Knickel, 2004). Untuk menyatakan intensitas kepentingan relatif antara dua elemen, Saaty menetapkan skala numerik mulai dari angka 1 hingga 9. Angka 1 melambangkan bahwa kedua elemen yang dibandingkan memiliki tingkat kepentingan yang sama (*equal importance*), sedangkan angka 9 menunjukkan bahwa satu elemen mutlak lebih penting dari elemen lainnya (*extreme importance*) (Saaty & Vargas, 2012).

Penggunaan skala rasio ini sangat krusial karena mencerminkan kapasitas kognitif manusia dalam membedakan berbagai tingkat preferensi. Seluruh hasil penilaian pakar disusun ke dalam sebuah matriks persegi berukuran $n \times n$, di

mana diagonal utamanya selalu bernilai satu (Kasperczyk & Knickel, 2004). Matriks ini kemudian diproses untuk mendapatkan vektor prioritas atau bobot akhir yang merepresentasikan signifikansi tiap kriteria dalam sistem pengambilan keputusan (Saaty & Vargas, 2012).

2.1.5.4. Rasio Konsistensi (*Consistency Ratio*)

Evaluasi terhadap hasil penilaian merupakan tahap yang menentukan validitas dari pembobotan yang dihasilkan dalam metode AHP. Mengingat manusia sering kali memberikan penilaian yang kurang konsisten karena kompleksitas masalah, Saaty mengembangkan mekanisme untuk mengukur konsistensi logis melalui *Consistency Index* (CI). Rumus untuk menghitung CI adalah sebagai berikut (Forman & Gass, 2001):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

λ_{max} = *Eigen value* maksimum

n = Ukuran matriks atau jumlah kriteria yang dibandingkan

Tahap akhir dalam pengujian ini adalah menentukan *Consistency Ratio* (CR) dengan membandingkan nilai CI terhadap *Random Index* (RI) yang sesuai dengan ukuran matriksnya (Saaty & Vargas, 2012). Rumus CR adalah:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Suatu penilaian dianggap valid secara akademis dan konsisten apabila memiliki nilai $CR \leq 0,1$ atau tidak lebih dari 10%. Jika nilai CR melebihi batas tersebut, hal ini menunjukkan adanya ketidakkonsistenan dalam jawaban informan, sehingga proses pengambilan data atau pengisian kuesioner harus ditinjau kembali

guna memastikan hasil akhir pembobotan risiko tetap objektif dan dapat dipercaya (Forman & Gass, 2001)

2.1.6. Integrasi FMEA dan AHP

2.1.6.1. Konsep Dasar FMEA-AHP

Konsep integrasi FMEA dan AHP diawali oleh kebutuhan untuk memberikan bobot yang berbeda pada setiap parameter risiko. Kelemahan utama perhitungan matriks risiko tradisional adalah adanya asumsi bahwa kriteria keparahan (*Severity*), probabilitas kejadian (*Occurrence*), dan kemampuan deteksi (*Detection*) memiliki tingkat kepentingan yang persis sama. Untuk mengatasi batasan tersebut, metode AHP diterapkan untuk menstrukturkan ketiga kriteria (S, O, D) tersebut ke dalam hierarki, lalu membandingkannya secara berpasangan. Melalui validasi *Consistency Ratio* (CR) pada AHP, penilaian subjektif pakar dikonversi menjadi bobot desimal objektif, sehingga setiap kriteria (S, O, dan D) memiliki persentase urgensi yang spesifik sesuai dengan kondisi nyata di fasilitas operasional (Braglia, 2000).

Setelah bobot spesifik dari masing-masing kriteria didapatkan melalui AHP, proses selanjutnya adalah mengalkulasi nilai *Weighted Risk Priority Number* (WRPN). WRPN dieksekusi dengan cara mengalikan bobot AHP dari tiap kriteria dengan skor evaluasi *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* pada masing-masing mode kegagalan. Model perkalian matematis yang memperhitungkan bobot ini terbukti secara efektif mampu memecahkan masalah nilai risiko yang terduplikasi (kembar) pada perhitungan konvensional. Dengan demikian, integrasi kedua metode ini menghasilkan stratifikasi prioritas pengendalian risiko yang jauh lebih presisi dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah (Xiao et al., 2011).

2.1.6.2. *Weighted Risk Priority Number (WRPN)*

Metode FMEA memiliki kelemahan karena menganggap ketiga parameter tersebut memiliki tingkat kepentingan yang sama. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, parameter risiko dapat dikalibrasi menggunakan metode AHP, sehingga menghasilkan nilai *Weighted Risk Priority Number (WRPN)*. Xiao et al. (2011), menjelaskan bahwa pendekatan WRPN mampu menyempurnakan perhitungan RPN konvensional melalui penambahan faktor pembobotan yang merefleksikan tingkat kepentingan masing-masing kriteria risiko secara lebih objektif.

Secara matematis, nilai WRPN diperoleh dengan menggabungkan bobot hasil perhitungan AHP ke dalam skala evaluasi FMEA. Bobot setiap kriteria (S, O, dan D) yang diperoleh melalui perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) akan dikalikan dengan skor masing-masing kriteria pada FMEA (Canbakis et al., 2018). Pendekatan ini mampu membedakan mode kegagalan yang memiliki nilai RPN konvensional sama, sehingga prioritas risiko dapat disusun dengan lebih akurat. Melalui nilai WRPN tersebut, manajemen dapat menentukan tindakan mitigasi (*corrective actions*) secara lebih tepat sasaran.

Meskipun integrasi FMEA-AHP menghasilkan nilai WRPN yang lebih representatif dibandingkan RPN konvensional, penetapan ambang batas (*threshold*) kekritisan antar *failure mode* tetap memerlukan pendekatan yang objektif dan terukur. Catelani et al. (2020), mengembangkan pendekatan statistik berbasis *boxplot* untuk mengatasi keterbatasan metode konvensional seperti aturan Pareto 80/20 yang, ketika diterapkan pada dataset dengan jumlah *failure mode* terbatas, cenderung menghasilkan proporsi *failure mode* kritis yang tidak proporsional sehingga tidak efektif sebagai basis alokasi sumber daya perbaikan.

Metode *boxplot* membagi seluruh *failure mode* ke dalam tiga zona risiko berdasarkan parameter statistik deskriptif dari distribusi nilai RPN atau WRPN, yaitu:

(1) Zona kritis (*critical*)

Mencakup *failure mode* dengan nilai di atas persentil ke-75 (Q3). Risiko pada zona ini dianggap tidak dapat ditoleransi karena memiliki potensi dampak yang parah, seperti kegagalan sistem utama atau kerugian yang signifikan. Oleh karena itu, tindakan korektif dan mitigasi yang komprehensif wajib segera diimplementasikan tanpa penundaan untuk menurunkan tingkat risiko.

(2) Zona ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*),

Mencakup *failure mode* dengan nilai di antara median (Q2) dan persentil ke-75 (Q3). Risiko di area ini berada pada batas toleransi, sehingga memerlukan pertimbangan berbasis analisis biaya-manfaat (*cost-benefit analysis*). Keputusan untuk mengeksekusi tindakan mitigasi bergantung pada apakah biaya yang dikeluarkan sepadan dengan tingkat penurunan risiko yang dihasilkan, serta ketersediaan sumber daya operasional.

(3) Zona *negligible*,

Mencakup *failure mode* dengan nilai di bawah median, yang risikonya tergolong dapat diterima dalam jangka pendek namun tetap perlu dipantau secara berkala.

Pendekatan ini memiliki keunggulan karena bersifat objektif, *repeatable*, berbasis statistik, dan tidak mengandung subjektivitas dalam penentuan *threshold* (Catelani et al., 2020).

2.2. Kajian Penelitian Terdahulu (KPT)

1. Penelitian oleh Perić et al. (2025), berjudul "*Optimising Risk Management in Wood-based Manufacturing: A Fuzzy AHP-FMEA Framework Approach*" bertujuan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dan meningkatkan strategi penilaian risiko pada industri manufaktur kayu. Penelitian ini memadukan metode FMEA untuk mengevaluasi tingkat risiko operasional dan metode Fuzzy AHP untuk mengakomodasi subjektivitas penilaian pakar secara multikriteria. Hasil evaluasi FMEA-AHP menunjukkan bahwa risiko tertinggi pada rantai produksi adalah kesalahan pemrosesan pesanan pelanggan dengan nilai akhir sebesar 9,36. Rekomendasi perbaikan yang terpilih sebagai prioritas utama berdasarkan pembobotan tersebut adalah pembaruan protokol pemesanan dan peningkatan pelatihan staf terkait.
2. Penelitian oleh Latif & Wahyuni (2025), berjudul "Penentuan Prioritas Risiko Melalui Integrasi FMEA dan AHP" bertujuan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dan menentukan strategi mitigasi pada proses produksi di pabrik pengolahan gula tebu. Penelitian ini memadukan metode FMEA untuk menilai tingkat risiko awal dan metode AHP berbasis *software Expert Choice* untuk memilih alternatif perbaikan terbaik berdasarkan multikriteria operasional. Hasil evaluasi FMEA menunjukkan bahwa risiko tertinggi pada proses produksi adalah kerusakan pada *gear box* mesin penggiling tebu dengan nilai RPN sebesar 270. Rekomendasi perbaikan yang terpilih sebagai prioritas utama berdasarkan pembobotan hierarki AHP adalah penambahan *grease* (pelumas) secara rutin pada mesin tersebut.

3. Penelitian oleh Panudju dkk. (2024), berjudul "*The integration of Fuzzy FMEA and AHP methods for optimizing of logistic systems*" bertujuan untuk mengidentifikasi risiko kegagalan dan memprioritaskan strategi mitigasi pada sistem logistik di industri pembuatan tas. Penelitian ini memadukan metode *Fuzzy FMEA* untuk mengakomodasi ketidakpastian dalam penilaian risiko dan *AHP* untuk memilih alternatif perbaikan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa risiko paling kritis dalam sistem logistik tersebut adalah kegagalan pada proses produksi dengan nilai *F-RPN* tertinggi sebesar 777. Sebagai tindak lanjut, strategi mitigasi yang menjadi prioritas utama berdasarkan pembobotan hierarki *AHP* adalah perbaikan penjadwalan pasokan bahan baku.
4. Penelitian oleh Panudju dkk. (2024), berjudul "*Risk Mitigation of Air Knocker Using Fuzzy FMEA-AHP: A Case Study*" bertujuan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dan mengoptimalkan keputusan mitigasi perawatan pada peralatan mekanis *air knocker*. Penelitian ini menggunakan pendekatan *Fuzzy FMEA* untuk mengevaluasi risiko kegagalan dengan mengakomodasi ketidakpastian penilaian, serta menggunakan metode *AHP* untuk memprioritaskan tindakan korektif. Hasil perhitungan akhir berdasarkan *Fuzzy Risk Weighted Priority Number (FRWPN)* menunjukkan bahwa fokus utama risiko yang harus segera ditangani adalah kegagalan akibat kontaminasi oli yang bercampur air. Berdasarkan pembobotan hierarki *AHP*, strategi keputusan mitigasi diprioritaskan pada penanganan faktor kegagalan peralatan dibandingkan faktor manusia maupun metode.
5. Penelitian oleh Dzikri & Nurhasanah (2023), berjudul "*Analisis Potensi Kegagalan Jenis Defect Dominan Pada Transmission Case Dan Clutch Housing*"

Menggunakan Metode FMEA-TOPSIS" bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab kecacatan produk dan menentukan strategi mitigasi prioritas pada lini produksi komponen mesin otomotif. Penelitian ini memadukan metode FMEA untuk menilai tingkat risiko awal, metode AHP untuk membobot parameter kriteria kegagalan, dan metode TOPSIS untuk merangking alternatif perbaikan terbaik berdasarkan perhitungan jarak solusi ideal. Hasil evaluasi diagram Pareto menunjukkan bahwa cacat tertinggi adalah kegagalan pada proses ulir produk sebesar 42%. Rekomendasi perbaikan yang terpilih sebagai prioritas utama berdasarkan nilai indeks FMEA-TOPSIS adalah peningkatan fungsi pengawasan material masuk (material baku kurang mulus) dan pembaruan formulir periksa (*checklist*) operasional pemasangan alat kerja.

6. Penelitian oleh ALMashaqbeh & ALKhamisi (2023), berjudul "*Healthcare waste hazards assessment using EWGM-FMEA: Case study in Oman*" bertujuan untuk mengidentifikasi potensi bahaya operasional dan memprioritaskan strategi manajemen risiko limbah medis di Rumah Sakit Universitas Sultan Qaboos. Penelitian ini memadukan metode FMEA untuk menilai tingkat risiko awal dengan pendekatan modifikasi *Exponential Weighted Geometric Mean* dan AHP. Hasil evaluasi EWGM-FMEA menunjukkan bahwa risiko tertinggi pada manajemen limbah adalah bahaya paparan darah dan cairan tubuh pada pekerja medis dengan nilai akhir sebesar 1409,75. Rekomendasi perbaikan yang terpilih sebagai prioritas utama berdasarkan analisis komprehensif tersebut adalah penguatan strategi kebijakan perlakuan limbah dan integrasi program pelatihan pekerja.

7. Penelitian oleh Jin et al. (2022), berjudul "*Optimization of Logistics System with Fuzzy FMEA-AHP Methodology*" bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan dan mengoptimalkan sistem logistik pada masa pandemi COVID-19. Penelitian ini mengintegrasikan metode *Fuzzy FMEA* untuk mengakomodasi ketidakpastian penilaian pakar dan metode *AHP* untuk menentukan bobot indikator risiko, yang menghasilkan nilai pembobotan akhir berupa *F-RPWN (Fuzzy Risk Priority-Weighted Number)*. Hasil evaluasi terhadap 12 mode kegagalan menunjukkan bahwa risiko paling kritis dalam sistem logistik tersebut adalah risiko penularan epidemi (*epidemic transmission risk*), disusul oleh risiko keterlambatan transportasi. Sebagai tindak lanjut, strategi perbaikan difokuskan pada tindakan pencegahan dan korektif guna memutus jalur perambatan kegagalan logistik tersebut.
8. Penelitian oleh Golrizgashti et al. (2022), berjudul "*A comparative analysis of experts' judgment methods for patient safety implementation FMEA and fuzzy AHP*" untuk mengidentifikasi potensi risiko keselamatan pasien pada proses pembedahan di rumah sakit. Penelitian ini secara khusus membandingkan hasil evaluasi risiko menggunakan metode *FMEA* konvensional dengan pendekatan *Fuzzy AHP* guna melihat kelemahan dari penilaian subjektif. Penelitian menunjukkan pengambilan keputusan yang murni mengandalkan intuisi atau metode tradisional dapat menghasilkan prioritas yang berbeda secara signifikan, sehingga penggunaan metode kuantitatif yang lebih akurat sangat esensial. Berdasarkan temuan tersebut, direkomendasikan agar fasilitas kesehatan menerapkan metode terintegrasi yang presisi untuk meminimalkan bias manusia dan meningkatkan keandalan sistem keselamatan.

9. Penelitian oleh Aulawi dkk. (2022), berjudul "*Analisis Risiko Kegagalan Proses Produksi Dodol Menggunakan Metode FTA, FMEA dan AHP*" bertujuan untuk mengidentifikasi akar penyebab kegagalan dan merumuskan strategi pengendalian mutu pada proses produksi dodol. Penelitian ini mengintegrasikan tiga metode secara berurutan, yakni *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk memetakan akar masalah, FMEA untuk menilai bobot risiko setiap mode kegagalan, dan AHP untuk mengevaluasi alternatif strategi perbaikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyumbang kegagalan produksi tertinggi berasal dari ketidaksempurnaan pada proses pengolahan bahan baku serta kesalahan pada proses pengemasan. Berdasarkan temuan tersebut, rekomendasi perbaikan difokuskan pada pemilihan strategi terbaik melalui pembobotan AHP untuk meminimalkan tingkat produk cacat di fasilitas produksi tersebut.
10. Penelitian oleh Li et al. (2021), berjudul "*A failure analysis of floating offshore wind turbines using AHP-FMEA methodology*" bertujuan untuk menganalisis penyebab kegagalan dan merumuskan tindakan pencegahan pada fasilitas turbin angin lepas pantai terapung. Penelitian ini mengintegrasikan metode FMEA untuk mengidentifikasi berbagai skenario kegagalan dengan metode AHP yang memanfaatkan pendapat pakar untuk menentukan bobot kriteria, sehingga menghasilkan indeks risiko yang komprehensif. Hasil penelitian ini berhasil mengidentifikasi 15 skenario kegagalan utama yang memiliki potensi untuk memicu kerusakan fatal atau bencana pada infrastruktur turbin.

Tinjauan terhadap sepuluh penelitian terdahulu menunjukkan bahwa literatur-literatur tersebut menjadikan metode analisis risiko khususnya FMEA sebagai instrumen fundamental untuk mengevaluasi manajemen operasional. Terdapat persamaan fokus antara penelitian ini dengan jurnal (3) dan (7), yaitu sama-sama mengidentifikasi serta memitigasi kegagalan di dalam ekosistem logistik dan rantai pasok. Seluruh literatur tersebut secara konsisten menggunakan perhitungan prioritas risiko terintegrasi untuk menemukan indikator kritis dan merumuskan langkah perbaikan operasional. Sebagai contoh, temuan pada jurnal (3) dan (7) menggarisbawahi perlunya strategi pengendalian pada titik rawan di dalam jaringan sistem logistik, sementara jurnal-jurnal lainnya berfokus memprioritaskan mitigasi risiko kegagalan pada sektor lain.

Meskipun demikian, terdapat perbedaan landasan metodologi dan objek yang sangat jelas antara penelitian-penelitian terdahulu dengan riset ini. Dari sisi metodologi, jurnal (1), (3), (4), (7), dan (8) menggunakan pendekatan probabilistik yang kompleks seperti logika *Fuzzy* untuk menangani subjektivitas pakar. Sementara itu, jurnal (5), (6), dan (9) mengintegrasikan analisis kegagalan dengan instrumen analitik lain, seperti TOPSIS, algoritma EWGM, dan FTA. Dari sisi objek penelitian, jurnal (1), (2), (5), dan (9) terfokus pada lini produksi manufaktur, jurnal (4) dan (10) berfokus pada pemeliharaan alat berat dan infrastruktur, serta jurnal (6) dan (8) berfokus pada manajemen risiko medis. Sebaliknya, penelitian ini secara spesifik membedah kerentanan operasional murni pada aktivitas proses pemuatan ban, dengan mengintegrasikan FMEA dan AHP secara utuh dan terarah untuk membobot parameter kriteria risiko secara objektif. Penjabaran lebih lanjut mengenai komparasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Kajian Penelitian Terdahulu

No	Judul, Peneliti dan tahun (1)	Tujuan Penelitian (2)	Metode (3)	Hasil Penelitian (4)	Persamaan (5)	Perbedaan (6)
1.	<i>Optimising Risk Management in Wood-based Manufacturing: A Fuzzy AHP-FMEA Framework Approach.</i> Ivana Perić, Kristina Klarić, Andreja Pirc Barčić, Karla Vukman, Tomislav Sedlar, dan Petra Grošelj. 2025.	Mengidentifikasi potensi risiko kegagalan dan meningkatkan strategi akurasi prioritas mitigasi risiko pada operasional industri manufaktur berbasis kayu.	Kualitatif <i>expert judgement</i> terintegrasi pendekatan kuantitatif menggunakan logika probabilitas <i>Fuzzy AHP-FMEA</i>	Risiko tertinggi adalah kesalahan pemrosesan pesanan pelanggan (skor 9,36). Mitigasi prioritas berdasarkan analisis ini adalah pembaruan protokol pemesanan dan pelatihan staf.	Sama-sama mengintegrasikan metode FMEA dan AHP sebagai kerangka kerja utama untuk mengevaluasi dan memprioritaskan penanganan risiko operasional.	Penelitian terdahulu berfokus pada industri manufaktur kayu dengan menambahkan logika <i>Fuzzy</i> untuk menangani subjektivitas pakar. Penelitian ini fokus pada proses pemuatan ban dengan mengintegrasikan FMEA dan AHP murni.
2.	Penentuan Prioritas Risiko Melalui Integrasi FMEA dan AHP. Mochamad Iqbal Latif dan Hana Catur Wahyuni. 2025.	Mengidentifikasi potensi risiko kegagalan mesin dan menentukan strategi mitigasi prioritas pada proses produksi pengolahan gula.	Kualitatif deskriptif dengan kuantifikasi pembobotan berbasis multikriteria AHP	Risiko tertinggi adalah kerusakan <i>gear box</i> penggiling tebu (RPN 270). Mitigasi prioritas berdasarkan metode AHP adalah penambahan pelumas mesin secara rutin.	Sama-sama mengintegrasikan metode FMEA dan AHP sebagai kerangka kerja utama untuk memprioritaskan risiko operasional.	Penelitian terdahulu berfokus pada kerusakan mesin produksi menggunakan untuk memilih alternatif solusi perbaikan. Penelitian ini fokus pada proses pemuatan ban.

3.	<i>The integration of Fuzzy FMEA and AHP methods for optimizing of logistic systems.</i> Andreas Tri Panudju, Isnaini Mahuda, Umi Marfuah, Mutmainah, Wiwik Sudarwati. 2024.	Mengidentifikasi risiko kegagalan dan memprioritaskan strategi mitigasi pada sistem logistik industri pembuatan tas.	Kualitatif identifikasi risiko dikombinasikan dengan algoritma Kuantitatif probabilitas <i>Fuzzy</i> FMEA dan AHP	Hasil evaluasi menunjukkan bahwa risiko paling kritis adalah kegagalan pada proses produksi dengan nilai F-RPN sebesar 777. Strategi mitigasi yang menjadi prioritas utama penanganan berdasarkan pembobotan AHP adalah penjadwalan pasokan bahan baku.	Sama-sama mengintegrasikan metode FMEA dan AHP untuk memprioritaskan penanganan risiko operasional.	Penelitian terdahulu berfokus pada optimasi sistem logistik secara umum menggunakan pendekatan <i>Fuzzy</i> FMEA untuk menangani ketidakpastian penilaian. Sebaliknya, penelitian ini secara spesifik membedah risiko operasional pada proses pemuatan (<i>loading</i>) dan menggunakan integrasi FMEA dan AHP.
4.	<i>Risk Mitigation of Air Knocker Using Fuzzy FMEA-AHP: A Case Study.</i> Andreas Tri Panudju, Helena Sitorus, Umi Marfuah, Wiwik Sudarwati, Nunung Nurhasanah. 2024.	Mengidentifikasi potensi kegagalan, mengevaluasi risiko secara komprehensif, dan mengoptimalkan keputusan mitigasi perawatan pada sistem mekanis <i>air knocker</i> .	Kualitatif penilaian pakar yang diukur presisinya menggunakan formulasi Kuantitatif <i>Fuzzy</i> FMEA-AHP	Fokus risiko tertinggi yang wajib ditangani adalah kontaminasi oli yang bercampur air. Keputusan mitigasi diprioritaskan secara hierarkis pada penanganan faktor kegagalan peralatan berdasarkan hasil pembobotan AHP	Sama-sama mengintegrasikan metode FMEA dan AHP sebagai instrumen utama untuk mengevaluasi dan memprioritaskan penanganan risiko operasional secara sistematis di lingkungan industri.	Penelitian terdahulu berfokus pada mitigasi kerusakan peralatan mekanis <i>air knocker</i> dengan menambahkan logika <i>Fuzzy</i> . Penelitian ini secara spesifik membedah risiko operasional pada proses pemuatan dan dengan FMEA dan AHP.

5.	Analisis Potensi Kegagalan Jenis <i>Defect</i> Dominan Pada <i>Transmission Case</i> Dan <i>Clutch Housing</i> Menggunakan Metode FMEA-TOPSIS. Daffa Amara Dzikri dan Nunung Nurhasanah. 2023.	Mengidentifikasi potensi risiko kegagalan, menganalisis jenis kecacatan dominan, dan menentukan strategi mitigasi prioritas pada lini produksi komponen <i>Transmission Case</i> dan <i>Clutch Housing</i> .	Kualitatif yang terintegrasi dengan analisis matematis Kuantitatif perankingan jarak solusi ideal menggunakan metode TOPSIS	Risiko tertinggi adalah kegagalan pada proses produksi ulir komponen (42%). Mitigasi prioritas berdasarkan metode FMEA-TOPSIS adalah peningkatan fungsi pengawasan material mentah dan penambahan daftar periksa alat kerja.	Sama-sama mengintegrasikan metode FMEA dan AHP sebagai kerangka kerja utama untuk mengevaluasi parameter kegagalan serta memprioritaskan penanganan risiko operasional.	Penelitian terdahulu berfokus pada kecacatan produk lini manufaktur otomotif dengan menambahkan metode algoritma perhitungan TOPSIS untuk meranking prioritas. Penelitian ini fokus pada proses pemuatan ban murni menggunakan FMEA-AHP.
6.	<i>Healthcare waste hazards assessment using EWGM-FMEA: Case study in Oman</i> . Sahar ALMashaqbeh dan Yousef Nasser ALKhamisi. 2023.	Mengidentifikasi potensi bahaya operasional dan menentukan prioritas strategi manajemen risiko penanganan limbah medis di fasilitas perawatan Kesehatan.	Kualitatif <i>assessment</i> bahaya yang dimodifikasi melalui Kuantitatif algoritma <i>Exponential Weighted Geometric Mean/EWGM</i> dan AHP	Risiko tertinggi adalah bahaya paparan darah dan cairan tubuh pada pekerja medis (skor 1409,75). Mitigasi prioritas berdasarkan metode EWGM-FMEA adalah perumusan kebijakan tata kelola limbah dan program pelatihan keselamatan kerja.	Sama-sama mengintegrasikan metode FMEA dan teknik analitik AHP sebagai kerangka kerja utama untuk mengevaluasi parameter kegagalan serta memprioritaskan penanganan risiko operasional di lapangan.	Penelitian terdahulu berfokus pada manajemen limbah fasilitas kesehatan dengan menyertakan algoritma kalkulasi EWGM pada nilai RPN. Penelitian ini fokus pada proses logistik keluar (pemuatan ban) menggunakan integrasi FMEA dan AHP.

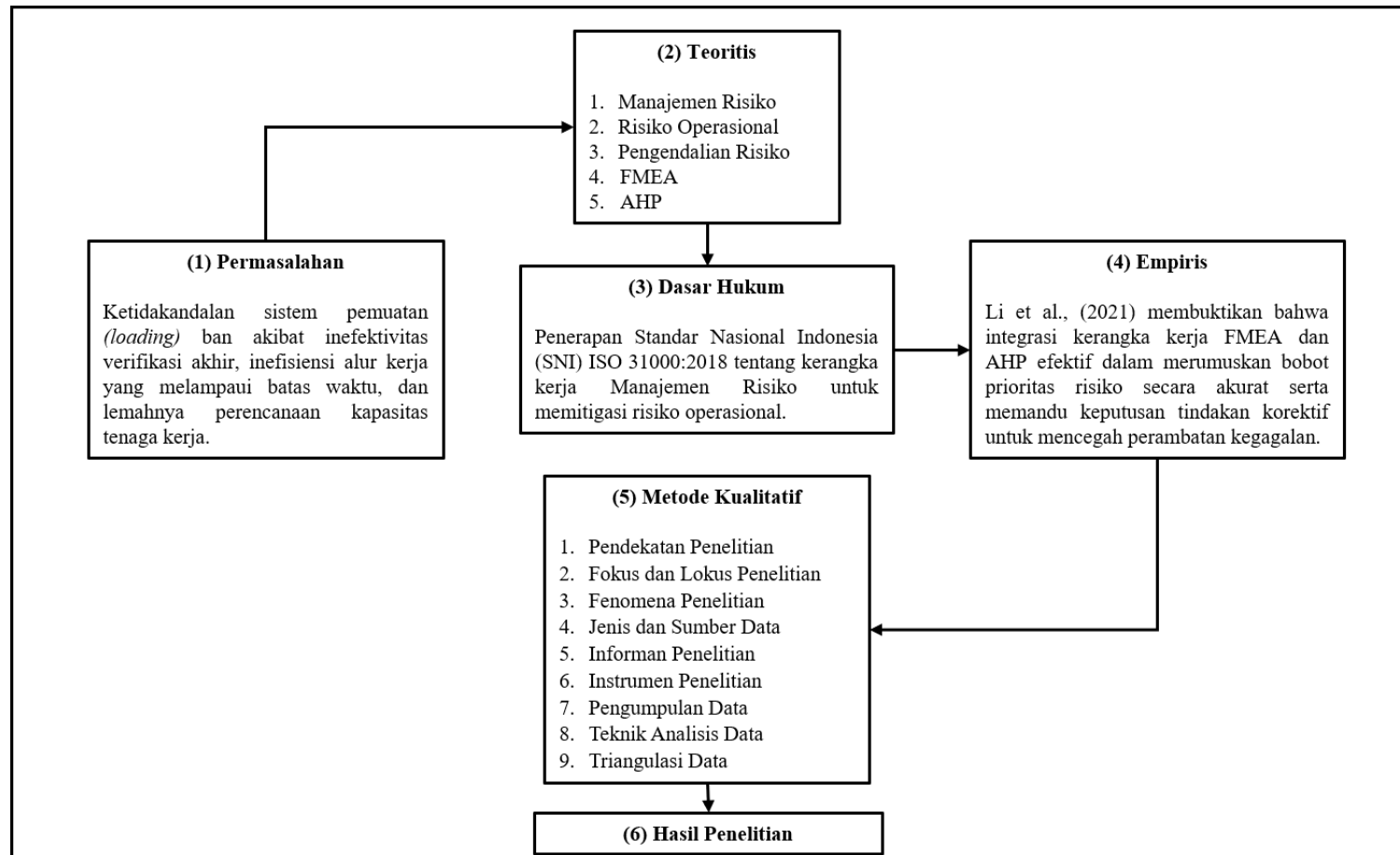
7.	<p><i>Optimization of Logistics System with Fuzzy FMEA-AHP Methodology.</i> Guangying Jin, Qingpu Meng, dan Wei Feng. 2022.</p>	<p>Mengidentifikasi penyebab kegagalan operasional dan mengoptimalkan keandalan sistem logistik pada masa pandemi COVID-19.</p>	<p>Kualitatif analisis operasional logistik diintegrasikan dengan Kuantitatif algoritma <i>Fuzzy</i> FMEA-AHP untuk menangani ketidakpastian pakar</p>	<p>Fokus risiko tertinggi yang wajib ditangani adalah risiko penularan epidemi dan keterlambatan transportasi. Mitigasi difokuskan pada tindakan pencegahan untuk memutus rantai perambatan kegagalan.</p>	<p>Sama-sama mengintegrasikan metode FMEA dan AHP sebagai instrumen utama untuk mengevaluasi dan memprioritaskan penanganan risiko operasional secara sistematis.</p>	<p>Penelitian terdahulu berfokus pada optimasi sistem logistik di masa pandemi dengan menambahkan algoritma <i>Fuzzy</i>. Penelitian ini secara spesifik membedah risiko operasional pada proses pemuatan (loading) ban dengan mengintegrasikan FMEA dan AHP.</p>
8.	<p><i>A comparative analysis of experts' judgment methods for patient safety implementation - FMEA and fuzzy AHP.</i> Seyedehfatemeh Golrizgashti, Mehrdad Keshmiri, dan Noshad Nazabadi. 2022.</p>	<p>Mengidentifikasi dan membandingkan hasil prioritas risiko keselamatan pasien pada operasi bedah di rumah sakit guna mengevaluasi kelemahan dari penilaian subjektif pakar.</p>	<p>Analisis Komparatif yang menguji silang hasil penilaian murni Kualitatif FMEA konvensional dengan evaluasi Kuantitatif <i>Fuzzy</i> AHP</p>	<p>Terdapat perbedaan hasil prioritas risiko antara metode FMEA konvensional dan <i>Fuzzy</i> AHP, sehingga ditekankan perlunya metode kuantitatif yang lebih objektif untuk meminimalkan bias pakar.</p>	<p>Sama-sama menggunakan metode FMEA dan AHP sebagai instrumen utama untuk mengevaluasi dan memprioritaskan penanganan risiko secara sistematis.</p>	<p>Penelitian terdahulu berfokus pada keselamatan pasien di rumah sakit dengan menggunakan metode FMEA dan <i>Fuzzy</i> AHP. Sebaliknya, penelitian ini membedah risiko operasional pada proses pemuatan ban dengan mengintegrasikan FMEA dan AHP.</p>

9.	Analisis Risiko Kegagalan Proses Produksi Dodol Menggunakan Metode FTA, FMEA dan AHP. Hilmi Aulawi, Wahyu Andriyas Kurniawan, dan Sopian. 2022.	Mengidentifikasi akar penyebab kegagalan dan merumuskan strategi pengendalian produk cacat pada proses produksi dodol.	Kualitatif diperluas dengan penelusuran analitik <i>Fault Tree Analysis</i> /FTA untuk <i>root cause</i> dan Kuantitatif pembobotan matematis AHP	Kegagalan produksi didominasi oleh ketidaksempurnaan pengolahan bahan baku dan kesalahan pengemasan. Strategi perbaikan dirumuskan menggunakan pembobotan AHP untuk meminimalkan kerugian.	Sama-sama mengintegrasikan metode FMEA dan AHP sebagai instrumen utama untuk mengevaluasi serta memprioritaskan penanganan risiko operasional secara terstruktur.	Penelitian terdahulu berfokus pada industri makanan (dodol) dengan menambahkan metode FTA untuk mencari akar masalah dan menggunakan AHP untuk memilih alternatif strategi perbaikan. Sebaliknya, penelitian ini membedah risiko operasional pada proses pemuatan ban dengan integrasi FMEA dan AHP.
10.	<i>A failure analysis of floating offshore wind turbines using AHP-FMEA methodology</i> . He Li, H. Díaz, dan C. Guedes Soares. 2021.	Menganalisis penyebab kegagalan operasional dan merumuskan tindakan pencegahan untuk menghindari kerusakan fatal pada infrastruktur turbin angin lepas pantai terapung.	Kualitatif identifikasi skenario kegagalan terintegrasi Kuantitatif kalkulasi indeks risiko multikriteria AHP-FMEA	Teridentifikasi 15 kegagalan kritis yang berpotensi memicu kerusakan infrastruktur. Skenario ini ditangani dengan tindakan preventif dan korektif untuk memutus jalur perambatan kegagalan.	Sama-sama mengintegrasikan metode FMEA dan AHP sebagai kerangka kerja utama untuk mengevaluasi dan memprioritaskan penanganan risiko operasional secara terstruktur.	Penelitian terdahulu berfokus pada analisis risiko kegagalan di fasilitas turbin angin lepas pantai. Sebaliknya, penelitian ini secara spesifik membedah risiko operasional pada proses pemuatan ban dengan integrasi FMEA dan AHP.

2.3. Alur Kerangka Penelitian

Alur penelitian ini berangkat dari permasalahan operasional di lapangan berupa ketidakandalan pada proses pemuatan (*loading*) ban, yang bersumber dari inefektivitas sistem verifikasi akhir, inefisiensi alur kerja, dan lemahnya perencanaan kapasitas tenaga kerja. Untuk memecahkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilandasi kajian teoritis mengenai manajemen dan pengendalian risiko operasional, yang menurut Senastri (2023), merupakan langkah proaktif untuk meminimalkan dampak negatif dari situasi operasional yang tidak diinginkan. Instrumen utama yang digunakan adalah *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), yang oleh Sharma & Srivastava (2018) didefinisikan sebagai alat sistematis untuk mengidentifikasi dan mencegah potensi kegagalan sebelum benar-benar terjadi di rantai operasi. Analisis ini diperkuat oleh *Analytic Hierarchy Process* (AHP) menurut Saaty & Vargas (2012), untuk menghasilkan pembobotan risiko yang objektif.

Seluruh pelaksanaan pengendalian risiko dalam penelitian ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) ISO 31000:2018 tentang sistem manajemen risiko sebagai landasan kepatuhan sekaligus pedoman dalam merancang usulan mitigasi yang terstruktur. Pendekatan integrasi FMEA-AHP ini terbukti efektif secara empiris melalui kajian Li dkk. (2021), yang menunjukkan bahwa metode tersebut mampu membedah skenario kegagalan kompleks, menentukan bobot prioritas tindakan korektif melalui pendapat pakar, serta memutus jalur perambatan kegagalan pada sistem operasional. Bagan alur kerangka penelitian disajikan pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Alur Kerangka Penelitian

Sumber: Olahan data peneliti, 2026