

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Teori

Dalam penelitian ini, kajian teori berperan sebagai landasan berpikir untuk memahami dan menjelaskan permasalahan yang diangkat secara lebih mendalam. Teori-teori yang digunakan bersumber dari berbagai literatur ilmiah serta hasil penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik. Beberapa konsep utama yang dibahas meliputi optimalisasi data dalam sistem logistik, penerapan *Fleet Management System* (FMS), pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM), serta pemahaman tentang *downtime* dalam pengelolaan armada logistik. Seluruh teori ini dirancang untuk memperkuat kerangka analisis dan memberikan konteks yang sistematis terhadap fokus penelitian.

2.1.1 Optimalisasi

Menurut Huda (2018), istilah "optimalisasi" berasal dari kata "optimal" yang berarti kondisi terbaik atau tertinggi. Mengoptimalkan mengacu pada proses menjadikan sesuatu berada dalam keadaan paling maksimal. Dengan demikian, optimalisasi adalah usaha untuk mencapai hasil setinggi mungkin, baik dari segi kualitas maupun efisiensi. Dalam konteks ini, optimalisasi dimaknai sebagai upaya maksimal untuk memperoleh hasil terbaik dalam pengelolaan sarana dan prasarana pendidikan agar selaras dengan tujuan dan harapan yang telah ditetapkan. Istilah "optimal" erat kaitannya dengan pencapaian hasil yang ideal, sehingga optimalisasi dapat dipahami sebagai proses peningkatan menuju kondisi paling ideal.

Menurut Winardi dalam Bayu (2017), optimalisasi dipahami sebagai suatu proses untuk meraih tujuan secara maksimal. Dalam konteks bisnis, hal ini mencakup usaha memaksimalkan aktivitas agar menghasilkan keuntungan sesuai dengan yang ditargetkan. Berdasarkan pemahaman tersebut, dapat disimpulkan bahwa optimalisasi hanya dapat dicapai apabila dilakukan secara efektif dan efisien. Dalam praktik organisasi, seluruh aktivitas diarahkan untuk memperoleh hasil optimal melalui pendekatan yang efisien dan efektif.

Berdasarkan berbagai penjelasan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa optimalisasi merupakan proses atau rangkaian aktivitas yang bertujuan untuk meningkatkan atau memaksimalkan suatu pekerjaan agar menjadi lebih baik, bahkan mendekati kesempurnaan, sehingga mampu mencapai tujuan atau harapan secara optimal sesuai dengan hasil atau manfaat yang diinginkan. Adapun indikator-indikator dari optimalisasi adalah sebagai berikut:

1. Efektivitas

Efektivitas merupakan kemampuan dalam menjalankan tugas, tanggung jawab, atau tindakan tertentu di dalam suatu organisasi tanpa menimbulkan tekanan berlebih saat pelaksanaannya. Widadty (2017) menyatakan bahwa efektivitas merupakan tolok ukur yang menunjukkan sejauh mana suatu target dapat dicapai, baik dari sisi jumlah maupun waktu. Semakin tinggi persentase pencapaian target, maka semakin tinggi pula tingkat efektivitasnya. Oleh karena itu, efektivitas dapat diartikan sebagai kemampuan dalam meraih tujuan sesuai dengan hasil yang diharapkan.

2. Efisiensi

Efisiensi merujuk pada usaha untuk mencapai hasil maksimal dengan menggunakan sumber daya yang tersedia dalam waktu sesingkat mungkin, tanpa mengorbankan keseimbangan antara tujuan, sarana, tenaga, dan waktu. Menurut Widadty (2017), efisiensi merupakan suatu ukuran yang menunjukkan perbandingan antara *input* yang direncanakan dengan *input* yang benar-benar digunakan. Efisiensi kerap dijadikan tolok ukur kinerja organisasi karena memperlihatkan hubungan antara *output* yang dihasilkan dan *input* yang digunakan.

2.1.1.1 Pengertian Optimalisasi dalam Sistem Operasional

Optimalisasi dalam sistem operasional logistik merupakan upaya yang dirancang secara sistematis dan terus-menerus untuk meningkatkan kinerja perusahaan dengan cara mengurangi ketidakefisienan, memperkuat koordinasi antar divisi, dan memanfaatkan sumber daya secara bijaksana serta berkelanjutan. Dari sudut pandang sistemik, optimalisasi tidak hanya berfokus pada pencapaian efisiensi teknis, tetapi juga mencakup kemampuan adaptif dalam menghadapi perubahan operasional yang baik berkaitan dengan teknologi, kebutuhan pelanggan, maupun dinamika pasar yang penuh ketidakpastian. Sistem yang ideal adalah sistem yang mampu mendeteksi potensi gangguan sejak dini, menyesuaikan alur kerja secara fleksibel, dan memastikan kelancaran pertukaran informasi di seluruh bagian organisasi.

Hal ini sejalan dengan pandangan Destriana dan Taufiq (2023), yang menyatakan bahwa sistem industri yang optimal harus mampu beradaptasi terhadap perubahan, mengenali sumber ketidakaturan dalam proses, dan dilengkapi

dengan mekanisme kontrol internal berbasis data: “Keberhasilan sistem industri sangat ditentukan oleh kemampuan optimalisasi proses internal yang didukung oleh keandalan sistem informasi dan kecepatan reaksi terhadap gangguan”.

Dalam pandangan Santoso (2020) menegaskan bahwa optimalisasi dalam sistem *modern* semakin bergantung pada pemanfaatan *big data*, di mana keberagaman, kecepatan, dan *volume* data menjadi kunci untuk merancang respons strategis yang efektif. Penelitian ini mengingatkan bahwa tanpa integrasi data yang baik, strategi optimalisasi hanya akan bertahan dalam jangka pendek dan gagal mengatasi kompleksitas operasional secara menyeluruh.

Sementara itu, Hartono et al. (2018) menekankan pentingnya kecepatan dan akurasi informasi dalam dunia logistik. Menurut mereka, kesuksesan dalam sistem armada tak hanya bergantung pada seberapa lengkap data yang tersedia, tetapi juga pada kemampuan sistem dalam mengolah data menjadi keputusan yang cepat dan tepat: “Optimalisasi adalah bagaimana sistem mampu memetakan kebutuhan aktual dan merespons dengan strategi teknis yang terukur”.

Dalam konteks PT Indocitra Logistics Express, optimalisasi berarti memastikan bahwa proses pemeliharaan kendaraan dapat berjalan secara efisien dan preventif, dengan dukungan data dari *Fleet Management System* (FMS) yang akurat dan dapat diandalkan. Melalui pendekatan ini, perusahaan dapat mengidentifikasi pola kerusakan sejak dini, mengenali performa yang tidak normal, serta menghasilkan rekomendasi perawatan yang berbasis kondisi aktual, bukan hanya berdasarkan interval waktu tertentu. Dengan demikian, optimalisasi tidak

hanya menekan biaya operasional, tetapi juga meningkatkan keandalan armada dan menjaga kelancaran layanan distribusi logistik perusahaan.

2.1.1.2 Peran Optimalisasi dalam Sistem Informasi Armada (FMS)

Fleet Management System (FMS) adalah sistem digital yang dirancang secara terpadu untuk membantu perusahaan dalam mengelola, mengawasi, dan mengevaluasi seluruh aktivitas armada logistik secara langsung dan waktu nyata. Di tengah perkembangan era industri 4.0 yang serba digital, kehadiran FMS menjadi sangat penting karena sistem ini mampu menunjang pengelolaan kendaraan secara lebih efisien. Mulai dari pelacakan posisi kendaraan, pemantauan performa mesin, hingga pengaturan jadwal perawatan kendaraan. Optimalisasi FMS tidak hanya berfokus pada pengumpulan data teknis seperti lokasi GPS, konsumsi bahan bakar, atau kecepatan kendaraan, melainkan juga mencakup integrasi informasi yang lebih kompleks seperti riwayat perawatan, kondisi komponen vital, dan pola perilaku *driver*. Semua elemen ini digabungkan agar manajemen tidak hanya tahu apa yang sedang terjadi, tetapi juga memahami penyebabnya dan dapat mengambil tindakan pencegahan secara dini.

Yuniarti (2021) menegaskan bahwa sistem informasi armada yang dikelola secara optimal mampu mengidentifikasi pola kegagalan, memperkirakan potensi kerusakan, dan secara otomatis memberikan rekomendasi teknis berdasarkan parameter kondisi kendaraan. Peneliti menyebut: “Sistem informasi yang terintegrasi dengan data *real-time* memberikan keunggulan kompetitif karena mampu menurunkan risiko operasional serta meningkatkan reliabilitas layanan logistik”. Adapun indikator optimalisasi data dalam sistem FMS mencakup:

1. Kualitas dan kelengkapan data historis armada, mencakup data kerusakan, perawatan, dan penggantian suku cadang.
2. *Real-time data tracking*, seperti kecepatan, posisi, waktu *idle*, dan konsumsi bahan bakar, untuk analisis efisiensi rute dan beban kerja kendaraan.
3. Sensor kondisi kendaraan, termasuk suhu mesin, tekanan oli, dan sistem rem, sebagai dasar sistem perawatan berbasis kondisi (*condition-based maintenance*).
4. Integrasi perilaku *driver*, seperti akselerasi mendadak atau pengereman keras, yang dapat dikaitkan dengan tingkat keausan kendaraan dan risiko kerusakan.
5. *Dashboard* analitik, yang menyajikan visualisasi data secara komprehensif untuk pengambilan keputusan pemeliharaan secara cepat dan tepat.
6. Interoperabilitas sistem, yakni kemampuan FMS untuk terhubung dengan sistem ERP, sistem pemesanan logistik, dan platform pemeliharaan lainnya.

Dalam pandangan Santoso (2020), kunci dari optimalisasi FMS terletak pada pemanfaatan *big data* yang diolah dengan pendekatan cerdas dan adaptif. FMS yang menggabungkan berbagai sumber data mampu mengungkap pola kecelakaan, titik-titik risiko operasional, serta beban kerja kendaraan, yang pada akhirnya dapat diterjemahkan ke dalam strategi perawatan dan perencanaan rute yang lebih efisien.

Hartono et al. (2018) menyoroti pentingnya data dalam membentuk layanan logistik yang lebih adaptif dan sesuai kebutuhan masing-masing unit. Dalam konteks pengelolaan armada, sistem informasi harus dapat menyesuaikan kebutuhan teknis setiap kendaraan berdasarkan karakteristik masing-masing, bukan sekadar berdasarkan jadwal rutin. Mereka menyatakan: “Optimalisasi armada bergantung pada kemampuan sistem dalam menyesuaikan kebutuhan operasional

yang bersifat dinamis dan kompleks, serta menghasilkan rekomendasi yang bersifat korektif maupun prediktif”.

Penelitian ini akan mengkaji secara kualitatif bagaimana pemanfaatan FMS di lapangan, khususnya dalam kaitannya dengan pengambilan keputusan teknis terkait perawatan kendaraan. Fokus utamanya adalah menggali pengalaman para pengguna seperti teknisi dan *driver*, mengevaluasi bagaimana data dari FMS diolah oleh tim *maintenance*, serta memahami tantangan teknis dalam pemanfaatan fitur-fiturnya. Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat ditemukan peluang untuk optimalisasi sistem dengan cara mengintegrasikan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM), sehingga menghasilkan strategi perawatan berbasis data yang lebih tepat guna, efisien, dan mampu memprediksi masalah sebelum terjadi.

2.1.1.3 Optimalisasi melalui Integrasi Data dan Strategi Pemeliharaan

Dalam sistem logistik modern, optimalisasi kinerja armada tidak dapat lagi hanya mengandalkan pendekatan pemeliharaan berbasis kalender (*calendar based maintenance*). Keputusan teknis pemeliharaan kini dituntut lebih adaptif dan responsif terhadap kondisi aktual kendaraan yang diperoleh dari integrasi antara data historis dan pemantauan *real-time*. Oleh karena itu, kombinasi antara *Fleet Management System* (FMS) dan pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) membuka peluang untuk merancang strategi pemeliharaan berbasis risiko yang lebih efisien, prediktif, dan berorientasi pada pencegahan dini.

Hartono et al. (2018) menyoroti pentingnya sinergi antara data sistem dan metode layanan teknik seperti TRIZ dan RCM untuk menciptakan keunggulan kompetitif dalam sistem logistik yang berfokus pada kebutuhan pelanggan. Mereka

menyatakan bahwa: “Optimalisasi layanan logistik mensyaratkan penggunaan data yang terstruktur dan terintegrasi dengan metode teknis untuk menghasilkan sistem responsif dan berorientasi solusi”. Adapun indikator-indikator optimalisasi *downtime* dalam integrasi FMS dan RCM meliputi:

1. Waktu rata-rata respon terhadap kerusakan (*Mean Time to Repair/MTTR*)

Mengukur durasi rata-rata yang dibutuhkan untuk memperbaiki kendaraan setelah mengalami gangguan. Semakin rendah nilai MTTR, semakin cepat proses pemulihan armada, sehingga *downtime* dapat ditekan seminimal mungkin.

2. Waktu rata-rata antar kerusakan (*Mean Time Between Failure/MTBF*)

Menunjukkan berapa lama kendaraan dapat beroperasi tanpa mengalami kerusakan. Nilai MTBF yang tinggi menunjukkan tingkat keandalan armada yang baik dan efektivitas pemeliharaan yang diterapkan.

3. Jumlah dan frekuensi *downtime* tidak terencana

Menggambarkan seberapa sering kendaraan mengalami gangguan mendadak di luar jadwal pemeliharaan. Tingginya angka ini mengindikasikan kurang optimalnya sistem deteksi dini atau kegagalan pemeliharaan preventif.

4. Persentase ketersediaan armada (*vehicle availability rate*)

Persentase kendaraan yang siap beroperasi dalam periode tertentu dibandingkan total kendaraan yang dimiliki. Nilai *availability* yang tinggi mencerminkan efisiensi pemeliharaan dan minimnya waktu non-produktif.

5. Efektivitas pemeliharaan preventif dan prediktif

Diukur dari keberhasilan sistem dalam menghindari kerusakan yang berulang dan menjaga kestabilan performa kendaraan. Efektivitas ini erat

kaitannya dengan ketepatan waktu dan akurasi intervensi teknis berdasarkan data kondisi kendaraan.

6. Akurasi data histori dan sensorik kendaraan

Merujuk pada keakuratan data yang direkam oleh sistem FMS, termasuk histori kerusakan, durasi pemakaian komponen, dan sinyal sensor. Data ini menjadi dasar utama untuk menganalisis penyebab *downtime* dan membangun sistem prediksi kerusakan yang presisi.

Sementara itu, Santoso (2020) menjelaskan bahwa pemanfaatan *big data* dalam FMS membuka potensi besar untuk membangun sistem pemeliharaan prediktif. Teknologi ini memungkinkan sistem mengenali pola kerusakan yang berulang, mendeteksi kegagalan sejak dini, serta memetakan komponen-komponen dengan tingkat risiko tertinggi. Santoso menambahkan bahwa data sensorik yang dikumpulkan dari kendaraan bisa digunakan untuk melatih sistem *machine learning*, yang kemudian memberikan rekomendasi perawatan secara otomatis: “*Data log* sensor dapat digunakan untuk melatih sistem prediktif berbasis *machine learning*, yang kemudian menghasilkan rekomendasi pemeliharaan sebelum kerusakan berdampak pada operasional.”

Pendekatan ini sangat sejalan dengan prinsip-prinsip RCM yang menekankan pentingnya efisiensi biaya dan keandalan sistem. RCM bekerja dengan mengelola risiko berdasarkan dampak dan frekuensi kegagalan, bukan sekadar mengikuti siklus waktu. Yuniarti (2021) menggarisbawahi bahwa keberhasilan dari strategi pemeliharaan prediktif sangat bergantung pada seberapa baik integrasi antara data historis kendaraan dan sistem diagnosis berbasis kondisi dijalankan: “Sistem pemeliharaan berbasis prediksi membutuhkan *input* data yang terus-

menerus diperbarui dan divalidasi agar dapat menghasilkan diagnosis teknis yang presisi dan tepat waktu”.

Dalam konteks penelitian ini, peneliti akan menelusuri bagaimana penerapan integrasi antara FMS dan pendekatan RCM dilakukan di PT Indocitra Logistics Express, terutama dalam mendukung pengambilan keputusan perawatan kendaraan. Penelitian dilakukan dengan pendekatan kualitatif, yang memungkinkan eksplorasi mendalam terhadap pengalaman teknis maupun pandangan manajemen terkait pemanfaatan data historis dan sensorik untuk menganalisis potensi kerusakan. Diharapkan, integrasi ini tidak hanya akan mengurangi *downtime* secara signifikan, tetapi juga memperkuat daya tahan sistem logistik perusahaan melalui pemeliharaan yang lebih cerdas, adaptif, dan berbasis data nyata.

2.1.2 Fleet Management System (FMS)

Fleet Management System (FMS) adalah sistem berbasis teknologi informasi yang dikembangkan untuk mengintegrasikan berbagai aktivitas pengelolaan armada kendaraan dalam satu platform digital yang terpusat. Sistem ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi operasional armada melalui pemantauan lokasi secara *real-time*, manajemen konsumsi bahan bakar, pemeliharaan kendaraan, pelacakan perilaku *driver*, hingga analisis performa logistik secara menyeluruh. Dalam praktiknya, FMS membantu perusahaan logistik dalam membuat keputusan strategis berbasis data aktual dan historis, sehingga dapat menekan biaya operasional dan meningkatkan produktivitas armada.

Bayable (2020) menjelaskan bahwa praktik manajemen armada yang terstruktur melalui FMS memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan kinerja operasional dan pengurangan inefisiensi, khususnya dalam sektor transportasi proyek dan logistik. Penggunaan FMS memungkinkan organisasi menjaga ketersediaan kendaraan secara tepat waktu dan mendukung sistem pemeliharaan berbasis prediktif. Untuk mencapai optimalisasi melalui sistem ini, diperlukan pemantauan berbasis indikator kinerja kunci *Key Performance Indicators* (KPI) yang mampu memberikan gambaran akurat terhadap kondisi dan performa armada secara menyeluruh. Beberapa KPI penting dalam sistem FMS yang relevan untuk optimalisasi data adalah:

1. *Fuel Efficiency* (Efisiensi Bahan Bakar)

Mengukur konsumsi bahan bakar per kilometer atau per *trip*, sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi efisiensi kendaraan dan perilaku berkendara. Nilai ini membantu perusahaan mengidentifikasi kendaraan boros bahan bakar atau *driver* yang tidak efisien dalam mengoperasikan armada.

2. *Vehicle Uptime vs Downtime*

Rasio antara waktu kendaraan aktif digunakan (*uptime*) dan waktu tidak tersedia karena perbaikan atau pemeliharaan (*downtime*). Indikator ini menunjukkan seberapa andal armada dalam memenuhi kebutuhan operasional harian.

3. *Planned vs Unplanned Maintenance Ratio*

Membandingkan jumlah pemeliharaan yang direncanakan (*preventif*) dengan yang tidak direncanakan (*kerusakan mendadak*). Semakin tinggi rasio

pemeliharaan terencana, semakin baik sistem prediksi dan perencanaan pemeliharaan yang dijalankan melalui data FMS.

4. *Driver Behavior Score*

Menilai kualitas mengemudi berdasarkan data seperti akselerasi berlebihan, pengereman mendadak, dan kecepatan tinggi. Skor ini memengaruhi keselamatan berkendara, umur kendaraan, serta konsumsi bahan bakar dan biaya pemeliharaan.

5. *GPS-based Route Efficiency*

Menunjukkan seberapa optimal rute yang digunakan berdasarkan data lokasi, kecepatan rata-rata, dan waktu tempuh. Efisiensi rute sangat penting dalam menghemat bahan bakar dan meningkatkan ketepatan waktu pengiriman.

6. *Average Repair Time (ART)*

Mengukur durasi rata-rata penyelesaian perbaikan kendaraan, yang menunjukkan responsivitas tim *maintenance*. ART yang rendah menunjukkan perbaikan dilakukan cepat dan efektif, sehingga meminimalkan *downtime*.

Chalifoux (1999) menambahkan bahwa keberhasilan sistem FMS sangat ditentukan oleh kemampuan sistem dalam menyediakan laporan teknis dan operasional yang terstruktur, serta menyatukan fungsi pelaporan kendaraan, notifikasi peringatan dini, dan pencatatan perawatan dalam satu sistem terintegrasi “Sistem armada yang dikonfigurasi dengan benar memungkinkan deteksi kegagalan dini, pemantauan kondisi, dan perencanaan jangka panjang berdasarkan riwayat penggunaan kendaraan”.

2.1.2.1 Pengertian dan Fungsi *Fleet Management System* (FMS)

Fleet Management System (FMS) adalah sistem berbasis teknologi informasi yang dikembangkan untuk mengintegrasikan berbagai aktivitas pengelolaan armada kendaraan dalam satu platform digital yang terpusat. Sistem ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi operasional armada melalui pemantauan lokasi secara *real-time*, manajemen konsumsi bahan bakar, pemeliharaan kendaraan, pelacakan perilaku *driver*, hingga analisis performa logistik secara menyeluruh. Dalam praktiknya, FMS membantu perusahaan logistik dalam membuat keputusan strategis berbasis data aktual dan historis, sehingga dapat menekan biaya operasional dan meningkatkan produktivitas armada.

Bayable (2020) menjelaskan bahwa praktik manajemen armada yang terstruktur melalui FMS memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan kinerja operasional dan pengurangan inefisiensi, khususnya dalam sektor transportasi proyek dan logistik. Penggunaan FMS memungkinkan organisasi menjaga ketersediaan kendaraan secara tepat waktu dan mendukung sistem pemeliharaan berbasis prediktif. Dalam perspektif tersebut, manajemen armada tidak hanya dipahami sebagai aktivitas operasional, tetapi juga sebagai strategi berbasis data yang mencerminkan kapabilitas digital perusahaan dalam menghadapi dinamika logistik *modern*. *"Fleet management plays a critical role in the performance of projects and organizations, by ensuring timely availability and maintenance of transport assets"*. Artinya “Manajemen armada memegang peranan penting dalam kinerja proyek dan organisasi, dengan memastikan ketersediaan dan pemeliharaan aset transportasi secara tepat waktu”.

Chalifoux (1999) turut menambahkan bahwa keberhasilan sistem FMS sangat bergantung pada pemanfaatan teknologi yang dapat menyatukan fungsi pelaporan kendaraan, notifikasi peringatan dini, serta pencatatan perawatan dalam satu rangkaian sistematis. FMS yang efektif tidak hanya mampu mendeteksi kegagalan secara dini, tetapi juga mendorong organisasi dalam mengadopsi pendekatan pemeliharaan berbasis keandalan (RCM), sehingga risiko *downtime* dapat dikurangi secara signifikan. *"A properly configured fleet system enables early failure detection, condition monitoring, and long-term planning based on vehicle usage history"*. Artinya "Sistem armada yang dikonfigurasi dengan baik memungkinkan deteksi kegagalan sejak dini, pemantauan kondisi, dan perencanaan jangka panjang berdasarkan riwayat penggunaan kendaraan".

Dalam perkembangan terkini, Dhillon (2023) juga menjelaskan bahwa integrasi teknologi informasi dalam sistem FMS berfungsi sebagai penghubung antara perangkat keras kendaraan (seperti sensor kondisi mesin, GPS, dan alat ukur bahan bakar) dengan sistem informasi manajemen yang menyediakan laporan berbasis data untuk tim operasional dan manajerial. *"Modern fleet management integrates data acquisition devices with analytics software to provide actionable insights for operational planning and maintenance optimization"*. Artinya "Manajemen armada *modern* mengintegrasikan perangkat akuisisi data dengan perangkat lunak analitik untuk memberikan wawasan yang dapat ditindaklanjuti guna perencanaan operasional dan optimalisasi pemeliharaan". Adapun indikator utama FMS dalam mengoptimalkan *downtime* meliputi:

1. Pemantauan kondisi kendaraan secara *real-time*, untuk mendeteksi gejala kerusakan sejak dini (*early warning system*) dan mencegah kerusakan fatal yang menyebabkan *downtime* berkepanjangan.
2. Pencatatan histori pemeliharaan kendaraan, yang mendukung analisis prediktif untuk menentukan waktu perawatan sebelum kerusakan terjadi (*preventive & predictive maintenance*).
3. Manajemen notifikasi otomatis, berupa peringatan jadwal servis, penggantian komponen kritikal, atau aktivitas *abnormal* kendaraan, sehingga perbaikan dapat direncanakan sebelum terjadi gangguan operasional.
4. Integrasi dengan data perilaku *driver*, seperti pola pengereman, akselerasi mendadak, dan durasi *idle engine* yang berkontribusi pada keausan kendaraan, guna pengambilan tindakan korektif berbasis data.
5. *Dashboard* analitik performa armada, yang memungkinkan tim manajemen mengidentifikasi tren penurunan kinerja kendaraan dan menyesuaikan strategi operasional secara proaktif.

Dalam konteks logistik *modern* seperti yang dijalankan oleh PT Indocitra Logistics Express Bekasi, fungsi FMS sangat krusial untuk memantau ratusan unit kendaraan yang beroperasi secara simultan pada jaringan distribusi yang kompleks. Sistem ini berfungsi tidak hanya sebagai alat kontrol operasional, tetapi juga sebagai sistem pengambilan keputusan berbasis analisis data untuk menyusun kebijakan perawatan preventif dan prediktif. Dengan memanfaatkan kemampuan FMS dalam mengelola informasi kendaraan secara *real-time*, perusahaan dapat menekan frekuensi kerusakan, meningkatkan waktu aktif kendaraan (*uptime*), serta merespons lebih cepat terhadap potensi gangguan dalam distribusi logistik.

2.1.2.2 Komponen Utama *Fleet Management System* (FMS)

Fleet Management System (FMS) merupakan sistem teknologi yang terdiri dari sejumlah modul fungsional yang saling terintegrasi dan bekerja secara simultan dalam satu platform digital untuk mengelola dan mengontrol operasional armada secara menyeluruh. Modul-modul tersebut dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan, menganalisis, serta menyajikan data terkait aktivitas kendaraan secara *real-time*, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat dan responsif. Adapun komponen utama dalam sistem FMS meliputi:

1. Pelacakan GPS

Komponen ini menyediakan visibilitas *real-time* terhadap lokasi kendaraan. Dengan adanya sistem pelacakan, manajer armada dapat memantau pergerakan unit kendaraan, merespons perubahan rute, serta memastikan kepatuhan terhadap jalur distribusi. Bayable (2020) menjelaskan bahwa fitur pelacakan menjadi instrumen penting dalam pengawasan operasional harian dan mencegah penyalahgunaan kendaraan.

2. Modul Manajemen Pemeliharaan

Fitur ini menyimpan riwayat perawatan kendaraan, mengingatkan jadwal servis berkala, serta mendeteksi potensi kerusakan berdasarkan pola penggunaan dan data sensor kendaraan. Dhillon (2023) menekankan pentingnya sistem manajemen pemeliharaan berbasis data dalam mengurangi kerusakan mendadak (*unexpected failures*) dan memperpanjang umur pakai komponen: “*A centralized maintenance management module in fleet systems enables better tracking of service intervals, part replacements, and early warning indicators from vehicle sensors*”. Artinya "Modul manajemen

pemeliharaan terpusat dalam sistem armada memungkinkan pelacakan yang lebih baik terhadap jadwal servis, penggantian suku cadang, dan indikator peringatan dini dari sensor kendaraan".

3. Monitoring Konsumsi Bahan Bakar

Modul ini bertugas mencatat dan menganalisis penggunaan bahan bakar secara akurat, serta mengidentifikasi adanya inefisiensi atau penyalahgunaan bahan bakar oleh *driver*. Chalifoux (1999) menyatakan bahwa pelaporan konsumsi bahan bakar secara sistematis dapat menurunkan biaya operasional dan menjadi dasar penilaian efisiensi armada: "*Fuel monitoring data enables comparative performance assessment across vehicles and drivers, supporting fuel economy strategies*". Artinya "Data pemantauan bahan bakar memungkinkan penilaian kinerja secara komparatif antar kendaraan dan *driver*, yang mendukung strategi penghematan bahan bakar".

4. Analisis Perilaku *Driver*

Modul ini menganalisis kebiasaan mengemudi seperti akselerasi mendadak, pengereman tiba-tiba, kecepatan berlebih, dan waktu *idle*. Dengan fitur ini, perusahaan dapat memberikan pelatihan berbasis data kepada *driver* untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi penggunaan kendaraan.

5. Pelaporan dan *Dashboard* Manajerial

Komponen ini menyajikan data yang telah dianalisis dalam bentuk visualisasi grafis, tabel, atau indikator performa yang mudah diakses oleh manajemen. Informasi yang disajikan digunakan untuk mengevaluasi kinerja armada dan menentukan langkah strategis secara cepat.

FMS yang terintegrasi memungkinkan efisiensi dalam penyusunan jadwal perawatan serta mencegah kerusakan yang lebih besar karena sistem dapat mengenali gejala awal kerusakan dari pola penggunaan kendaraan. Selain itu, menurut Moubrey (2001), sistem pelaporan FMS yang dikonfigurasi dengan baik akan membantu dalam mengidentifikasi mode kegagalan yang berulang, memungkinkan tim *maintenance* untuk menyusun strategi RCM yang lebih akurat: *“Maintenance decisions are only as effective as the information systems that support them integrated fleet data systems enhance visibility into component failure trends”*. Artinya "Keputusan pemeliharaan hanya seefektif sistem informasi yang mendukungnya sistem data armada yang terintegrasi meningkatkan visibilitas terhadap tren kegagalan komponen".

Melalui komponen-komponen ini, FMS berperan bukan hanya sebagai sistem pelacakan, tetapi juga sebagai instrumen strategis dalam manajemen armada logistik *modern*. Dalam konteks PT Indocitra Logistics Express Bekasi, integrasi menyeluruh antara komponen-komponen FMS ini menjadi krusial dalam mendukung pendekatan pemeliharaan berbasis data serta pengurangan *downtime* armada secara signifikan.

2.1.2.3 Peran Data dalam Efektivitas FMS

Data merupakan fondasi utama dalam keberhasilan implementasi maupun optimalisasi *Fleet Management System* (FMS). Kualitas dan integritas data menentukan seberapa baik sistem FMS mampu merepresentasikan kondisi armada, menyajikan informasi operasional yang aktual, dan mendukung pengambilan keputusan strategis yang akurat. Dalam konteks manajemen armada, data yang dikumpulkan dari sensor kendaraan, modul pelacakan, sistem pemeliharaan, serta

perilaku *driver* menjadi bahan mentah yang kemudian diolah menjadi *insight* atau rekomendasi berbasis analisis sistemik.

Bayable (2020) menekankan bahwa validitas dan reliabilitas data sangat menentukan efektivitas pengambilan keputusan dalam pengelolaan armada. Sistem yang gagal dalam menyajikan data yang *real-time* dan terstruktur akan menghasilkan informasi yang bias dan tidak dapat dijadikan dasar kebijakan operasional jangka panjang. "*Fleet data accuracy and timeliness are central to informed managerial decisions and must be prioritized in any vehicle management framework*". Artinya "Akurasi dan ketepatan waktu data armada sangat penting untuk pengambilan keputusan manajerial yang tepat dan harus menjadi prioritas dalam setiap kerangka manajemen kendaraan". Data menjadi pusat keberhasilan implementasi FMS. Sistem ini harus mampu mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis data dari sensor kendaraan serta aktivitas operasional. Penelitian ini menekankan bahwa kualitas keputusan manajerial dalam pengelolaan armada sangat ditentukan oleh validitas dan reliabilitas data operasional yang dihasilkan sistem.

Ketika data tidak dioptimalkan (misalnya tidak dikategorisasi dengan benar atau tidak *real-time*), maka keputusan perawatan menjadi reaktif dan tidak berdasarkan kondisi aktual armada. Hal inilah yang menjadi permasalahan utama di PT Indocitra Logistics Express Bekasi, di mana kendala teknis dalam *login* FMS membuat pencatatan tidak sistematis, sehingga mendorong penggunaan media alternatif seperti *WhatsApp* yang tidak terstandar.

Dalam pendekatan berbasis teknologi *modern*, kualitas data tidak hanya mencakup keakuratan isi (*accuracy*) tetapi juga mencakup *completeness*, *consistency*, dan *timeliness*. Dhillon (2023) menyatakan bahwa sistem manajemen kendaraan yang berbasis teknologi akan efektif hanya jika data operasional diproses melalui algoritma yang mampu mengidentifikasi tren kerusakan, mendeteksi deviasi dari parameter normal, dan memberi peringatan dini atas potensi kerusakan. Chalifoux (1999) juga menyatakan bahwa sistem FMS yang tidak dilengkapi dengan pengolahan data yang terstruktur akan menghasilkan laporan yang ambigu dan tidak dapat dijadikan dasar dalam pelaksanaan strategi *maintenance* berbasis *Reliability Centered Maintenance* (RCM).

Dalam konteks PT Indocitra Logistics Express Bekasi, kegagalan sistem FMS dalam menyajikan data yang siap pakai telah menyebabkan tim operasional menggunakan jalur komunikasi informal untuk pelaporan kerusakan kendaraan, seperti *WhatsApp*. Meskipun lebih cepat dalam praktiknya, penggunaan media ini tidak memungkinkan pencatatan *historis*, tidak terintegrasi dengan sistem, dan cenderung menimbulkan miskomunikasi serta duplikasi data. Akibatnya, proses pengambilan keputusan dalam pemeliharaan kendaraan menjadi bersifat reaktif dan tidak terarah.

Untuk mengatasi hal ini, dibutuhkan sistem integrasi data FMS yang bersifat *real-time*, *responsive*, dan berbasis *cloud*, sehingga seluruh aktivitas kendaraan terekam dalam basis data yang dapat dianalisis secara periodik. Hal ini juga mendukung prinsip dasar *Reliability Centered Maintenance* (RCM), di mana kebijakan pemeliharaan harus dibuat berdasarkan data kerusakan aktual dan potensi risiko yang terukur secara sistematis.

2.1.3 *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah metode sistematis yang dirancang untuk menentukan strategi pemeliharaan yang paling efektif dalam menjaga performa aset agar tetap beroperasi sesuai fungsi utamanya. Pendekatan ini berfokus pada identifikasi fungsi sistem, potensi mode kegagalan (*failure modes*), serta dampak dari masing-masing kegagalan terhadap operasi. RCM memungkinkan pengambilan keputusan berbasis risiko dan kondisi aktual peralatan, bukan hanya berdasarkan interval waktu. Menurut Chalifoux (1999) menekankan pentingnya RCM sebagai pendekatan transformatif yang mendorong pergeseran dari strategi pemeliharaan reaktif menuju pendekatan preventif dan prediktif berbasis data dan sistem.

Hal ini diperkuat oleh Moubray (2001) yang menyatakan bahwa keberhasilan RCM sangat dipengaruhi oleh ketersediaan data yang akurat, serta pemahaman mendalam terhadap fungsi dan kegagalan komponen sistem. RCM bukan hanya metodologi pemeliharaan, melainkan juga alat manajerial yang mengintegrasikan aspek teknis, operasional, dan ekonomis dalam mengelola aset kritis. Untuk mengukur efektivitas implementasi RCM dalam mendukung optimalisasi FMS, diperlukan pemantauan berbasis *Key Performance Indicators (KPI)* yang relevan dan terukur. Beberapa KPI utama dalam konteks RCM yang dapat digunakan untuk mengintegrasikan FMS antara lain:

1. *Failure Rate (FR)*

Mengukur seberapa sering suatu komponen mengalami kegagalan dalam periode tertentu. Nilai ini membantu dalam mengidentifikasi peralatan kritikal dan menyusun prioritas pemeliharaan.

2. *Mean Time Between Failure (MTBF)*

Menunjukkan durasi rata-rata antar dua kegagalan yang terjadi. MTBF yang tinggi mencerminkan keandalan sistem yang baik, dan menjadi indikator penting dalam mengevaluasi efektivitas strategi pemeliharaan.

3. *Mean Time to Repair (MTTR)*

Mengukur waktu rata-rata yang diperlukan untuk memperbaiki suatu kerusakan. MTTR menjadi ukuran efisiensi teknis tim pemeliharaan dan efektivitas proses perbaikan.

4. *Preventive Maintenance Compliance Rate*

Menunjukkan sejauh mana kegiatan pemeliharaan preventif dilakukan sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan. Semakin tinggi persentasenya, semakin disiplin sistem dalam mengimplementasikan strategi RCM.

5. *RCM Task Effectiveness Ratio*

Merupakan rasio antara jumlah kegiatan RCM yang berhasil mencegah kegagalan dibandingkan dengan total tindakan pemeliharaan yang dilakukan. Indikator ini membantu dalam mengevaluasi kontribusi langsung strategi RCM terhadap pengurangan *downtime*.

6. *Criticality Index*

Mengklasifikasikan tingkat pentingnya suatu komponen berdasarkan dampaknya terhadap keselamatan, lingkungan, dan kontinuitas operasional. Data ini digunakan dalam analisis prioritas tindakan pemeliharaan berbasis risiko.

Dengan mengintegrasikan indikator KPI tersebut ke dalam sistem FMS, perusahaan dapat memperoleh visibilitas yang lebih tinggi terhadap efektivitas strategi RCM secara *real-time*. Selain itu, KPI ini dapat digunakan sebagai dasar dalam pembentukan kebijakan pemeliharaan yang lebih adaptif, responsif terhadap kondisi kendaraan, dan efisien dari sisi biaya.

2.1.3.1 Definisi *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan pendekatan pemeliharaan yang dirancang untuk menjamin performa optimal dan keandalan jangka panjang suatu sistem atau peralatan. RCM menekankan pentingnya pemeliharaan berdasarkan fungsi sistem, mode kegagalan potensial (*failure modes*), serta konsekuensi dari setiap jenis kegagalan terhadap operasional. Pendekatan ini sangat berbeda dari metode konvensional yang biasanya berbasis waktu atau jumlah siklus penggunaan, karena RCM mempertimbangkan aspek risiko dan dampak terhadap kelangsungan fungsi sistem secara menyeluruh.

Tujuan utama dari penerapan RCM adalah untuk menyusun strategi pemeliharaan yang efektif, efisien, dan sesuai dengan konteks operasional, sehingga meminimalkan *downtime* dan biaya tanpa mengorbankan keselamatan, lingkungan, atau produktivitas. Pendekatan ini juga memungkinkan perusahaan untuk memilih metode perawatan yang paling relevan, baik *preventive*, *predictive*, maupun *corrective*, berdasarkan tingkat keparahan dan frekuensi kegagalan yang mungkin terjadi.

Chalifoux (1999) menegaskan bahwa *Reliability Centered Maintenance* (RCM) merupakan metode paling efektif dalam mengatur pemeliharaan

berdasarkan kebutuhan aktual peralatan daripada pendekatan kalender atau siklus pakai semata. *"RCM provides a structured decision logic for identifying appropriate maintenance tasks that prevent or mitigate functional failure"*. Artinya "RCM menyediakan logika pengambilan keputusan yang terstruktur untuk menentukan tugas pemeliharaan yang tepat guna mencegah atau mengurangi kegagalan fungsi". RCM berupaya mengidentifikasi perawatan yang paling cocok, yaitu: *preventive*, *predictive*, atau *corrective*, sesuai dengan dampak kegagalan dan kemampuan organisasi dalam mendeteksi gejala awal kerusakan armada.

Menurut Moubray (2001), strategi RCM *modern* melibatkan analisis sistematis dari setiap aset kritikal, termasuk identifikasi fungsi utama, kegagalan fungsional, penyebab kegagalan, dan dampak kegagalan terhadap proses bisnis. Hal ini memberikan pendekatan berbasis logika dan analisis risiko dalam menyusun aktivitas perawatan yang benar-benar dibutuhkan, tanpa melakukan pemeliharaan berlebihan (*over-maintenance*) maupun mengabaikan risiko besar. *"The primary objective of RCM is to preserve system functions, not simply equipment, by determining what must be done to ensure that any physical asset continues to do what its users want it to do in its present operating context"*. Artinya "Tujuan utama RCM adalah menjaga fungsi sistem, bukan hanya peralatan, dengan menentukan apa yang harus dilakukan agar aset fisik dapat terus melakukan apa yang diinginkan penggunaanya dalam konteks operasional saat ini".

Adapun menurut, Nowlan dan Heap (1978)" pelopor pendekatan RCM" menyatakan bahwa banyak kegagalan tidak bersifat usia-spesifik, dan oleh karena itu strategi berbasis kalender tidak relevan untuk sebagian besar komponen *modern*. Sebaliknya, pendekatan berbasis keandalan lebih sesuai karena mempertimbangkan

karakteristik aktual komponen, lingkungan operasional, dan konsekuensi bisnis dari kegagalan. *“The majority of failures are not related to time; therefore, time-directed maintenance cannot prevent them. RCM recognizes this and offers a practical alternative”*. Artinya "Kebanyakan kegagalan tidak berkaitan dengan waktu; oleh karena itu, pemeliharaan yang didasarkan pada waktu tidak dapat mencegahnya. RCM menyadari hal ini dan menawarkan alternatif yang lebih praktis".

Dalam konteks logistik seperti PT Indocitra Logistics Express Bekasi, pendekatan RCM sangat relevan karena setiap armada memiliki karakteristik pemakaian yang berbeda tergantung rute, beban, kondisi jalan, dan perilaku *driver*. Oleh karena itu, metode pemeliharaan tidak bisa diseragamkan hanya berdasarkan waktu tempuh atau kilometer. Diperlukan analisis menyeluruh terhadap kondisi aktual kendaraan dan potensi risiko operasionalnya, agar kegiatan pemeliharaan benar-benar efektif dalam mencegah *downtime* dan menjaga kontinuitas pengiriman.

Petja (2022) juga mendukung pendekatan ini dalam konteks industri berat, menyatakan bahwa RCM memberikan struktur logis dan *justifikasi* teknis dalam pemilihan tindakan perawatan yang dapat mengurangi risiko operasional secara signifikan: *“RCM builds a reliable foundation for maintenance decisions by linking failure modes to system functions and aligning strategies with risk impact”*. Artinya "RCM membangun dasar yang dapat diandalkan untuk pengambilan keputusan pemeliharaan dengan menghubungkan mode kegagalan ke fungsi sistem dan menyelaraskan strategi dengan dampak risiko".

Dengan demikian, implementasi RCM di perusahaan logistik tidak hanya dapat mengurangi biaya perawatan dan memperpanjang umur kendaraan, tetapi juga meningkatkan efektivitas sistem informasi pemeliharaan seperti *Fleet Management System* (FMS), karena semua kebijakan perawatan didasarkan pada data akurat dan analisis fungsional.

2.1.3.2 Proses Implementasi *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan pendekatan yang menekankan pada sistematisasi dan struktur dalam menyusun kebijakan pemeliharaan berbasis risiko. Untuk mengimplementasikan RCM secara efektif, diperlukan tahapan proses yang menyeluruh, mulai dari identifikasi fungsi sistem hingga evaluasi dan perbaikan berkelanjutan. Moubray (2001) menguraikan bahwa proses implementasi RCM terdiri dari tujuh langkah inti yang telah menjadi standar dalam praktik industri:

1. Identifikasi fungsi sistem dan standar performa.

Tahap awal ini mengharuskan perusahaan memahami fungsi utama dan fungsi sekunder dari setiap peralatan atau sistem yang dianalisis. Fungsi ini harus diukur melalui indikator performa yang relevan.

2. Identifikasi semua cara kegagalan (*failure modes*).

Setelah mengetahui fungsi sistem, langkah berikutnya adalah mengidentifikasi semua kemungkinan kegagalan yang dapat menghambat sistem menjalankan fungsinya.

3. Analisis konsekuensi tiap kegagalan.

Dalam tahap ini, setiap langkah, keputusan, dan aktivitas yang dilakukan selama proses pemeliharaan armada. Mode kegagalan dianalisis untuk

menentukan dampaknya terhadap operasi, keselamatan, biaya, dan lingkungan.

4. Klasifikasi risiko kegagalan.

Risiko dari masing-masing mode kegagalan diklasifikasikan berdasarkan probabilitas dan tingkat keparahannya, sehingga dapat menentukan prioritas penanganan.

5. Seleksi tindakan pemeliharaan optimal.

Berdasarkan risiko yang telah diklasifikasi, ditentukan strategi pemeliharaan yang paling tepat, seperti *preventive*, *predictive*, atau *run to failure*.

6. Dokumentasi prosedur.

Dokumentasi prosedur memainkan peran krusial dalam penerapan strategi perawatan berbasis *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Setiap langkah, keputusan, dan aktivitas yang dilakukan selama proses pemeliharaan armada dicatat dengan rapi dan terorganisir, agar seluruh proses bisa dijalankan secara konsisten, mudah ditinjau kembali, dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat ke depannya.

7. Monitoring dan penyempurnaan.

Tahapan terakhir adalah pemantauan berkala terhadap implementasi strategi pemeliharaan dan melakukan perbaikan berkelanjutan berdasarkan hasil evaluasi.

Moubray (2001) menekankan pentingnya ketersediaan data akurat sebagai syarat mutlak keberhasilan proses ini. Tanpa data *historis* kegagalan dan performa sistem, proses analisis risiko tidak akan menghasilkan keputusan yang *valid*. “*The*

success of RCM is entirely dependent on the availability of accurate failure data and the discipline of decision analysis". Artinya "Keberhasilan RCM sepenuhnya bergantung pada ketersediaan data kegagalan yang akurat dan kedisiplinan dalam analisis pengambilan keputusan".

Langkah-langkah ini hanya efektif bila didukung oleh sistem informasi seperti *Fleet Management System* (FMS) yang mampu menyajikan data operasional kendaraan secara menyeluruh. FMS memainkan peran krusial sebagai penyedia data historis, parameter kinerja aktual, dan gejala awal kerusakan kendaraan yang diperlukan dalam seluruh tahapan proses RCM.

Chalifoux (1999) menambahkan bahwa integrasi antara data operasional yang diperoleh dari FMS dengan logika keputusan RCM akan meningkatkan ketepatan strategi pemeliharaan yang dipilih, karena analisis dilakukan berdasarkan kondisi yang nyata, bukan asumsi teoritis semata. "*Data integration between maintenance logic and operational systems enables the transition from static maintenance plans to dynamic, risk informed decision making*". Artinya "Integrasi data antara logika pemeliharaan dan sistem operasional memungkinkan peralihan dari rencana pemeliharaan yang statis ke pengambilan keputusan yang dinamis dan berdasarkan risiko".

Dhillon (2023) juga mendukung bahwa proses identifikasi mode kegagalan dan evaluasi risiko yang efektif membutuhkan sistem yang mampu mengolah data berbasis sensor dan riwayat operasional kendaraan secara *real-time*. Tanpa infrastruktur data yang memadai, perusahaan akan kesulitan melakukan prioritas komponen kritis serta menyusun jadwal pemeliharaan yang optimal. "*Failure mode*

identification and criticality ranking in RCM must be supported by sensor driven diagnostics and historical failure patterns". Artinya "Identifikasi mode kegagalan dan peringkat tingkat kritis dalam RCM harus didukung oleh diagnostik berbasis sensor dan pola kegagalan historis".

Dalam konteks PT Indocitra Logistics Express Bekasi, proses implementasi RCM yang berbasis pada ketujuh langkah ini menjadi sangat penting mengingat tingginya tingkat kerusakan armada dan keterbatasan sistem pencatatan saat ini. Dengan mengadopsi RCM yang didukung penuh oleh data FMS, perusahaan akan dapat mengidentifikasi komponen yang paling sering gagal, memperkirakan konsekuensi kerusakan, serta menyusun strategi perawatan yang sesuai tingkat urgensi dan risiko, bukan sekadar berdasarkan frekuensi waktu.

Dengan pendekatan ini, strategi pemeliharaan akan lebih efektif, efisien, dan adaptif terhadap dinamika operasional, sekaligus mendukung pencapaian tujuan utama penelitian: pengurangan *downtime* armada secara sistematis melalui optimalisasi integrasi FMS dengan menggunakan metode RCM.

2.1.3.3 Keterkaitan RCM dengan Sistem Digital

Perkembangan teknologi digital telah merevolusi pendekatan pemeliharaan aset, termasuk dalam penerapan *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Dalam konteks transformasi digital industri, RCM tidak lagi dapat dipisahkan dari dukungan sistem informasi *modern*, seperti *Fleet Management System* (FMS), yang mampu menyediakan data *real-time* dan historis secara akurat. Sistem digital ini tidak hanya membantu dalam pelacakan kondisi peralatan, tetapi juga mendukung

proses analisis risiko, identifikasi pola kerusakan, dan penjadwalan perawatan yang berbasis data aktual.

Menurut Dhillon (2023), dalam konteks digitalisasi industri, RCM harus ditopang oleh data akurat dari sistem monitoring seperti FMS agar strategi pemeliharaan bisa bersifat prediktif dan proaktif, bukan sekadar reaktif. *“Preventive maintenance aims to detect and correct potential equipment failures before they occur, thereby reducing downtime and enhancing system availability”*. Artinya "Pemeliharaan preventif bertujuan untuk mendeteksi dan memperbaiki potensi kerusakan peralatan sebelum terjadi, sehingga mengurangi *downtime* dan meningkatkan ketersediaan sistem".

Integrasi ini juga memungkinkan pengembangan perawatan berbasis kondisi (*condition-based maintenance*), yang lebih hemat biaya dan minim gangguan operasional. Dalam sistem berbasis kondisi, keputusan perawatan dilakukan dengan mempertimbangkan parameter seperti suhu, tekanan, getaran, konsumsi bahan bakar, dan waktu operasi mesin. Semuanya dapat dipantau melalui *Fleet Management System* FMS. Dengan demikian, perawatan dilakukan ketika benar-benar dibutuhkan, bukan hanya berdasarkan jadwal rutin.

Moubray (2001) juga menegaskan bahwa penerapan RCM yang efektif sangat membutuhkan sistem informasi yang mampu merekam dan mengolah data secara konsisten, guna mendeteksi pola kegagalan dan menyesuaikan strategi perawatan secara dinamis. *"Effective RCM implementation relies heavily on the presence of condition monitoring and failure tracking systems that provide factual insights into asset performance and reliability trends"*. Artinya "Implementasi

RCM yang efektif sangat bergantung pada adanya sistem pemantauan kondisi dan pelacakan kegagalan yang memberikan wawasan nyata tentang kinerja aset dan tren keandalannya".

Dalam penelitian Ochando et al. (2023) menyatakan bahwa integrasi sistem komputer *on-board* dalam kendaraan taktis terbukti mampu mengakuisisi data kondisi mesin secara *real-time*, yang kemudian digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan pemeliharaan. Pendekatan ini menunjukkan bahwa keterhubungan antara perangkat keras kendaraan dan perangkat lunak analisis dapat mendorong efisiensi operasional dan pengurangan *downtime*. "*The real-time monitoring of vehicle systems through onboard computers enables timely diagnosis, thus supporting predictive maintenance strategies*". Artinya "Pemantauan sistem kendaraan secara *real-time* melalui komputer *onboard* memungkinkan diagnosis yang tepat waktu, sehingga mendukung strategi pemeliharaan prediktif".

Bagi perusahaan logistik seperti PT Indocitra Logistics Express Bekasi, integrasi antara FMS dan metode RCM memberikan keuntungan strategis dalam mengelola armada secara lebih adaptif. Sistem FMS yang terhubung dengan perangkat sensor mampu mendeteksi gejala awal kegagalan, misalnya penurunan performa mesin atau ketidaksesuaian konsumsi bahan bakar, yang kemudian dikonversi menjadi *input* penting dalam proses analisis risiko RCM. Dengan cara ini, perusahaan dapat menerapkan strategi perawatan prediktif dan berbasis data, sehingga perencanaan pemeliharaan menjadi lebih akurat, mengurangi kerusakan mendadak, serta meningkatkan keseluruhan *uptime* kendaraan.

Celestin (2023) menambahkan bahwa integrasi sistem digital dalam praktik pemeliharaan logistik mampu mengurangi kerugian operasional dan mendukung efisiensi anggaran melalui penerapan perawatan prediktif yang berbasis analitik. *“Predictive maintenance powered by integrated digital systems enables logistics firms to cut repair costs and enhance fleet reliability by detecting failures before they occur”*. Artinya "Pemeliharaan prediktif yang didukung oleh sistem digital terintegrasi memungkinkan perusahaan logistik mengurangi biaya perbaikan dan meningkatkan keandalan armada dengan mendeteksi kerusakan sebelum terjadi".

Oleh karena itu, dalam implementasi RCM *modern*, sistem digital seperti *Fleet Management System* FMS bukan hanya pelengkap, melainkan komponen *esensial* yang memberikan konteks data terhadap setiap fungsi, mode kegagalan, dan efektivitas strategi pemeliharaan yang diterapkan. Keberhasilan penerapan RCM di perusahaan logistik masa kini sangat dipengaruhi oleh kematangan sistem digital yang mampu menyediakan informasi akurat, *real-time*, dan terstruktur, guna mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih responsif dan berbasis fakta.

2.1.4 Downtime

Downtime merupakan periode saat kendaraan atau peralatan tidak dapat dioperasikan karena kegagalan fungsi, perawatan, atau perbaikan. Dalam konteks logistik, *downtime* armada tidak hanya berdampak pada keterlambatan distribusi barang, tetapi juga meningkatkan biaya operasional dan menurunkan kepuasan pelanggan. Oleh karena itu, meminimalkan *downtime* menjadi prioritas utama dalam strategi pemeliharaan berbasis sistem informasi.

Dhillon (2023) menjelaskan bahwa pendekatan pemeliharaan preventif harus disusun berdasarkan data kondisi peralatan agar mampu mendeteksi potensi kegagalan lebih dini, menghindari kerusakan kritikal, dan mempercepat proses pemeliharaan. Hal ini sangat relevan dalam konteks logistik *modern*, di mana setiap menit *downtime* memiliki konsekuensi langsung terhadap kinerja rantai pasok. Untuk mengukur keberhasilan optimalisasi *downtime*, diperlukan *serangkaian Key Performance Indicators* (KPI) yang mencerminkan efisiensi teknis, operasional, dan finansial. Beberapa indikator utama tersebut antara lain:

1. Frekuensi Kerusakan (*Failure Frequency*)

Mengindikasikan berapa kali kendaraan mengalami kerusakan dalam periode tertentu. Penurunan nilai ini mencerminkan efektivitas sistem pemeliharaan prediktif dan preventif dalam mengidentifikasi dan menghindari kerusakan berulang sebelum berdampak pada operasional.

2. Durasi Rata-Rata Perbaikan (*Mean Time to Repair/MTTR*)

Merupakan rata-rata waktu yang dibutuhkan sejak kendaraan mengalami kerusakan hingga kembali siap digunakan. MTTR yang rendah menunjukkan efisiensi proses perbaikan dan kesiapan teknis yang baik, sehingga meminimalkan waktu henti kendaraan.

3. Persentase Pemeliharaan Terencana (*Planned Maintenance Ratio*)

Menunjukkan proporsi pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal dibandingkan dengan pemeliharaan mendadak (*breakdown*). Semakin tinggi rasio ini, semakin terkontrol kondisi kendaraan, karena kerusakan dapat dicegah melalui deteksi dan perawatan awal.

4. Biaya *Downtime* (*Downtime Cost per Unit*)

Menghitung kerugian finansial yang ditimbulkan akibat kendaraan tidak dapat beroperasi. Termasuk dalam komponen ini adalah kerugian akibat keterlambatan distribusi, kehilangan produktivitas, serta beban biaya tambahan teknis dan operasional.

5. *Vehicle Availability Rate*

Persentase kendaraan yang tersedia dan siap digunakan dari total kendaraan yang dimiliki dalam satu periode operasional. Nilai yang tinggi mencerminkan keandalan armada, keberhasilan strategi pemeliharaan, dan kestabilan operasional logistik.

6. Jumlah Komponen Kritis yang Dikelola Secara Proaktif

Menunjukkan jumlah atau persentase komponen kendaraan yang mendapat perhatian dan tindakan pemeliharaan sebelum mengalami kegagalan. Indikator ini sangat penting dalam sistem RCM karena fokus pada pencegahan terhadap komponen yang berpotensi menyebabkan *downtime* besar.

Dengan memanfaatkan indikator tersebut, perusahaan dapat melakukan evaluasi performa sistem pemeliharaan secara menyeluruh dan menyusun strategi pengurangan *downtime* secara bertahap dan terukur. Integrasi indikator *downtime* dengan sistem FMS memungkinkan pemantauan kondisi kendaraan secara *real-time* serta pengambilan keputusan berbasis data yang lebih presisi.

2.1.4.1 Definisi *Downtime*

Downtime adalah kondisi ketika suatu sistem, mesin, atau kendaraan tidak berfungsi atau berhenti beroperasi selama periode tertentu akibat kerusakan, kegiatan pemeliharaan, atau gangguan teknis. Dalam konteks manajemen armada

dan logistik, *downtime* merujuk pada waktu tidak produktif kendaraan, yang mengakibatkan gangguan terhadap aktivitas distribusi dan rantai pasok. *Downtime* secara umum terbagi menjadi dua kategori, yaitu pemeliharaan terjadwal (*planned downtime*) dan kerusakan mendadak (*unplanned downtime*). Keduanya berdampak langsung terhadap efisiensi operasional dan profitabilitas perusahaan.

Nowlan dan Heap (1978) menggarisbawahi bahwa *downtime* menjadi metrik penting dalam mengevaluasi efektivitas strategi pemeliharaan, karena sering kali berasal dari kegagalan komponen akibat lemahnya pendekatan perawatan atau tidak memadainya sistem pemantauan kondisi. “*The failure of components that cause system downtime often stems from inadequate maintenance strategies and insufficient condition monitoring*”. Artinya "Kegagalan komponen yang menyebabkan sistem berhenti sering kali disebabkan oleh strategi pemeliharaan yang kurang tepat dan pemantauan kondisi yang tidak memadai".

Downtime dalam dunia logistik memiliki dampak ganda. Di satu sisi, ia menyebabkan biaya langsung seperti penggantian suku cadang, upah lembur teknisi, dan pemakaian armada cadangan. Di sisi lain, terdapat biaya tidak langsung yang lebih sulit dikalkulasi, misalnya keterlambatan pengiriman, kehilangan kepercayaan pelanggan, penurunan produktivitas, dan reputasi bisnis yang terdampak negatif. Hal ini menjadikan *downtime* bukan hanya persoalan teknis, tetapi juga strategis.

Menurut Dhillon (2023), *downtime* merupakan salah satu indikator kinerja utama dalam pengelolaan sistem industri dan logistik *modern*, karena berhubungan langsung dengan ketersediaan peralatan (*availability*), keandalan sistem

(*reliability*), dan kemudahan pemeliharaan (*maintainability*). Oleh karena itu, meminimalkan *downtime* menjadi fokus utama dalam strategi manajemen aset industri. “*Downtime, particularly unplanned, negatively affects all performance metrics of logistics and industrial systems, including safety, cost, and operational continuity*”. Artinya "Waktu henti, terutama yang tidak direncanakan, berdampak negatif pada semua metrik kinerja sistem logistik dan industri, termasuk keselamatan, biaya, dan kelangsungan operasional".

Petja (2022) juga menegaskan bahwa dalam sektor transportasi dan pertambangan, keberhasilan program keandalan sistem diukur dari penurunan rasio *downtime* terhadap total waktu operasional. Artinya, semakin rendah *downtime* yang dicapai, semakin tinggi nilai keandalan sistem tersebut. “*Downtime is a primary metric in evaluating equipment reliability and effectiveness of a maintenance strategy in dynamic operating environments*”. Artinya "Downtime merupakan metrik utama dalam mengevaluasi keandalan peralatan dan efektivitas strategi pemeliharaan di lingkungan operasi yang dinamis".

Dalam konteks PT Indocitra Logistics Express Bekasi, tingginya jumlah kerusakan pada armada seperti ENGKEL dan FTR 210 menunjukkan bahwa *downtime* yang terjadi bukan sekadar akibat faktor teknis kendaraan, tetapi juga akibat ketidakefisienan dalam pencatatan, perencanaan, dan eksekusi pemeliharaan, yang salah satunya disebabkan oleh belum optimalnya pemanfaatan sistem *Fleet Management System* (FMS). Ketiadaan integrasi data kondisi kendaraan membuat proses pengambilan keputusan perawatan menjadi lambat, reaktif, dan tidak berbasis pada kondisi aktual.

Oleh karena itu, memahami *downtime* secara konseptual menjadi penting sebagai dasar untuk membangun sistem pemeliharaan yang berbasis keandalan dan teknologi informasi. Metode RCM dan optimalisasi data FMS dapat berfungsi sebagai instrumen strategis untuk menurunkan *downtime* secara signifikan melalui analisis mode kegagalan, pemantauan kondisi *real-time*, dan optimalisasi jadwal pemeliharaan.

2.1.4.2 Preventive Maintenance dan Strategi Mengurangi Downtime

Preventive maintenance adalah pendekatan pemeliharaan yang dilakukan secara terencana dan terjadwal dengan tujuan utama untuk menghindari kerusakan atau kegagalan fungsi sebelum terjadi. Strategi ini dilakukan melalui berbagai tindakan seperti inspeksi rutin, pelumasan berkala, penggantian suku cadang yang sudah aus atau mendekati akhir masa pakai, penyesuaian mekanis, serta kalibrasi sistem untuk memastikan bahwa semua komponen berfungsi sesuai spesifikasi teknisnya.

Preventive maintenance dirancang berdasarkan prinsip bahwa mencegah kerusakan lebih baik daripada memperbaiki kerusakan setelah terjadi. Dalam konteks industri transportasi dan logistik, pencegahan kegagalan kendaraan memiliki nilai strategis karena setiap jam *downtime* dapat menyebabkan keterlambatan pengiriman, penurunan produktivitas, hingga kerugian reputasi. Oleh sebab itu, strategi ini tidak hanya bersifat teknis tetapi juga manajerial, karena mendukung kontinuitas operasional dan kepuasan pelanggan.

Petja (2022) menjelaskan bahwa pemeliharaan preventif yang berbasis pada analisis keandalan (*reliability analysis*) telah terbukti secara signifikan menurunkan

frekuensi kegagalan sistem dan meningkatkan keandalan armada. Pendekatan ini menekankan pentingnya memahami profil kegagalan tiap komponen dan menyesuaikan jadwal pemeliharaan berdasarkan probabilitas kegagalan, bukan sekadar kalender atau kilometer tempuh. *“A preventive maintenance strategy based on reliability analysis significantly reduces the frequency of failures and improves fleet reliability”*. Artinya "Strategi pemeliharaan preventif yang didasarkan pada analisis keandalan secara signifikan mengurangi frekuensi kegagalan dan meningkatkan keandalan armada".

Dengan kata lain, pencegahan jauh lebih efisien dan ekonomis daripada perbaikan pasca-kerusakan, karena tindakan preventif tidak hanya menghindari kerusakan besar tetapi juga menghemat biaya operasional jangka panjang seperti penggantian besar-besaran, *downtime* yang mahal, atau bahkan kecelakaan kerja yang merugikan.

Chalifoux (1999) menambahkan bahwa keberhasilan *preventive maintenance* sangat bergantung pada kedisiplinan dalam pelaksanaan inspeksi dan pencatatan hasil evaluasi teknis. Menekankan bahwa meskipun *preventive maintenance* adalah kegiatan rutin, implementasinya memerlukan sistem pendukung seperti manajemen data pemeliharaan yang terstruktur dan berbasis pada pemantauan aktual kondisi peralatan. *“The effectiveness of a preventive maintenance program depends on the reliability of diagnostic feedback and the system’s ability to capture historical equipment performance”*. Artinya "Keefektifan program pemeliharaan preventif bergantung pada keandalan umpan balik diagnostik dan kemampuan sistem dalam menangkap data kinerja peralatan secara historis".

Dalam kerangka sistem logistik berbasis data, *preventive maintenance* dapat dikembangkan lebih jauh ke arah *predictive maintenance*, terutama bila didukung oleh sistem seperti *Fleet Management System* (FMS) yang mampu mengolah data *real-time*. Data ini mencakup parameter teknis seperti tekanan, suhu mesin, durasi operasi, serta perilaku *driver*. Ketika dikombinasikan dengan prinsip-prinsip *Reliability Centered Maintenance* (RCM), maka *preventive maintenance* tidak lagi dilakukan hanya berdasarkan asumsi waktu, tetapi berbasis indikator keausan dan performa aktual kendaraan.

Dhillon (2023) juga menggarisbawahi bahwa integrasi antara *preventive maintenance* dengan sistem pemantauan berbasis sensor dan data historis memungkinkan strategi pemeliharaan yang lebih tepat sasaran, efisien, dan minim risiko gangguan operasional. "*Preventive maintenance is most effective when guided by performance data, enabling interventions before failures occur and maximizing system availability*". Artinya "Pemeliharaan preventif paling efektif ketika dipandu oleh data kinerja, memungkinkan intervensi sebelum kerusakan terjadi dan memaksimalkan ketersediaan sistem".

Dalam konteks PT Indocitra Logistics Express Bekasi, pelaksanaan *preventive maintenance* yang terstruktur menjadi kebutuhan mendesak, mengingat tingginya angka kerusakan pada beberapa jenis kendaraan seperti ENGKEL dan FTR 210. Sistem FMS yang dioptimalkan berpotensi menyediakan data presisi untuk mendeteksi komponen dengan pola kerusakan berulang, sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan sebelum terjadi kegagalan fatal. Hal ini tidak hanya menurunkan *downtime*, tetapi juga memperpanjang usia pakai armada serta mengurangi pemborosan anggaran pemeliharaan. Dengan demikian, *preventive*

maintenance yang didukung data berkualitas menjadi pilar utama dalam membangun sistem pemeliharaan *modern* berbasis RCM, yang relevan dan efektif dalam menjawab tantangan manajemen armada logistik saat ini.

2.1.4.3 Integrasi *Preventive Maintenance* terhadap *Downtime*

Dalam era digitalisasi logistik, integrasi antara strategi *preventive maintenance* dan sistem berbasis data seperti *Fleet Management System* (FMS) menjadi semakin krusial untuk menciptakan sistem pemeliharaan yang cerdas, efisien, dan minim interupsi. *Preventive maintenance* yang tradisional yang hanya mengandalkan jadwal servis berkala. Sering kali tidak mampu menyesuaikan diri dengan kondisi aktual kendaraan. Oleh karena itu, pendekatan baru yang memanfaatkan data *real-time* dan historis dari FMS menjadi dasar utama pengembangan ke arah *predictive maintenance*.

Ketika *preventive maintenance* didukung oleh data *real-time* dari FMS, maka strategi perawatan bisa ditingkatkan menjadi *predictive maintenance*. Ini memungkinkan perusahaan seperti PT Indocitra Logistics Express Bekasi untuk secara proaktif menganalisis kondisi kendaraan berdasarkan pola historis dan parameter sensor. Dengan mengandalkan *input* dari FMS seperti getaran mesin, suhu, tekanan oli, jarak tempuh, dan perilaku *driver*. Perusahaan dapat mengantisipasi kegagalan sebelum terjadi, sehingga *downtime* armada dapat ditekan secara signifikan.

Celestin (2023) menyatakan bahwa *predictive maintenance* dalam armada logistik terbukti menurunkan kerugian operasional dan meningkatkan utilisasi kendaraan. “*Predictive maintenance enables logistic fleets to anticipate failures,*

minimize repair costs, and reduce operational losses significantly". Artinya "Pemeliharaan prediktif memungkinkan armada logistik untuk mengantisipasi kerusakan, meminimalkan biaya perbaikan, dan secara signifikan mengurangi kerugian operasional".

Integrasi ini memungkinkan tim *maintenance* untuk menyusun tindakan perawatan berdasarkan kondisi aktual, bukan berdasarkan interval waktu yang tidak aktual. Dengan demikian, perawatan dapat dilakukan lebih tepat waktu dan lebih efisien, karena hanya dilakukan ketika indikator performa menunjukkan gejala awal kegagalan.

Ochando et al. (2023) dalam penelitiannya tentang sistem pemantauan kondisi kendaraan taktis, juga menunjukkan bahwa penggunaan komputer *on-board* dan pengumpulan data sensor memungkinkan sistem untuk mengirim peringatan dini terhadap gejala kegagalan yang belum terlihat secara fisik. Data tersebut kemudian dikirim ke sistem pusat untuk dianalisis dan digunakan dalam penjadwalan perawatan. "*The real-time monitoring of vehicle systems through onboard computers enables timely diagnosis, thus supporting predictive maintenance strategies*". Artinya "Pemantauan sistem kendaraan secara *real-time* melalui komputer *onboard* memungkinkan diagnosis yang tepat waktu, sehingga mendukung strategi pemeliharaan prediktif".

Dhillon (2023) menyatakan bahwa integrasi antara teknologi pemantauan kondisi (*condition monitoring*) dengan sistem manajemen pemeliharaan seperti FMS memberikan nilai tambah strategis, karena memungkinkan organisasi untuk mengubah pendekatan perawatan dari yang bersifat reaktif menjadi kognitif dan

preventif. Dengan informasi yang diperoleh dari data kendaraan secara berkelanjutan, organisasi dapat mengidentifikasi pola anomali yang dapat memicu kerusakan sistem. “*Maintenance planning becomes significantly more effective when real-time system performance data is integrated with analytical maintenance frameworks such as RCM or CBM*”. Artinya "Perencanaan pemeliharaan menjadi jauh lebih efektif ketika data kinerja sistem secara *real-time* diintegrasikan dengan kerangka kerja pemeliharaan analitik seperti RCM atau CBM".

Dalam konteks PT Indocitra Logistics Express Bekasi, optimalisasi ini menjadi peluang besar untuk meningkatkan efektivitas armada, mengurangi risiko kerusakan mendadak, dan memperpanjang usia pakai kendaraan. Dengan FMS sebagai sumber data, RCM sebagai kerangka kerja pemeliharaan, *preventive maintenance*, dan *predictive maintenance* sebagai strategi, perusahaan dapat mengembangkan sistem perawatan berbasis keandalan (*reliability-based maintenance*) yang mendukung target operasional jangka panjang.

Dengan demikian, integrasi antara *preventive maintenance* dan sistem data FMS bukan hanya pilihan taktis, tetapi kebutuhan strategis bagi perusahaan logistik yang ingin tetap kompetitif dan efisien dalam menghadapi kompleksitas operasional armada *modern*.

2.2 Kajian Penelitian Terdahulu

Menurut Sugiyono (2024), penelitian terdahulu merupakan usaha untuk menggali teori-teori yang telah ada serta hasil-hasil penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik yang akan diteliti. Tinjauan ini berperan penting dalam membantu peneliti menentukan posisi penelitiannya sekaligus menunjukkan

keaslian dari penelitian yang dilakukan. Pada bagian ini, peneliti menyajikan hasil-hasil studi yang telah dilakukan sebelumnya, baik yang telah dipublikasikan maupun belum, kemudian merangkumnya agar sesuai dengan fokus penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. ***“Reliability-Centered Maintenance (RCM) Approach in Fleet Maintenance To Enhance Transportation Efficiency and Safety” Oleh Muthoriq et al., (2025).*** Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan pendekatan RCM pada sistem pemeliharaan armada *bus* Scania milik perusahaan transportasi di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan transportasi melalui analisis komponen-komponen kritis pada kendaraan. Dengan menggunakan metode observasi dan analisis teknis kendaraan, hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi antara RCM dan sistem pemantauan armada mampu menurunkan risiko kecelakaan, mengurangi kegagalan teknis, serta meningkatkan utilisasi kendaraan secara signifikan. Temuan ini memberikan gambaran nyata tentang efektivitas strategi RCM dalam sistem transportasi.
2. ***“Perencanaan Perawatan Mesin dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Pada PT. XYZ” Oleh Armanda, D. D. (2023).*** Penelitian ini bertujuan untuk menitikberatkan pada perencanaan pemeliharaan mesin produksi di PT XYZ dengan pendekatan RCM untuk meningkatkan efektivitas sistem perawatan. Penelitian ini menggunakan metode studi kasus, dengan pengumpulan data melalui observasi langsung dan wawancara terhadap teknisi lapangan. Tujuannya adalah menyusun rencana pemeliharaan yang sistematis berdasarkan analisis fungsi dan mode kegagalan yang relevan.

Hasilnya menunjukkan bahwa penerapan RCM secara signifikan membantu dalam mengidentifikasi komponen kritis dan menyusun jadwal perawatan yang lebih tepat sasaran, sehingga meningkatkan efisiensi operasional mesin secara keseluruhan.

3. **“Penerapan *Preventive Maintenance* Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Untuk meminimasi *Downtime* Mesin CNC Di PT MTAT” Oleh Agus Setiawan et al., (2023).** Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penerapan *preventive maintenance* berbasis RCM pada mesin CNC di PT MTAT, dengan fokus pada pengurangan *downtime* yang sering mengganggu proses produksi. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kualitatif, dengan teknik pengumpulan data melalui dokumentasi kerusakan dan wawancara dengan teknisi. Melalui penerapan analisis FMEA, peneliti berhasil mengidentifikasi akar penyebab utama dari gangguan mesin. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa strategi pemeliharaan berbasis RCM memberikan dampak positif terhadap penurunan frekuensi kerusakan dan meningkatkan efisiensi perawatan, sehingga mendukung kelancaran proses produksi.
4. **“*How Predictive Maintenance In Logistics Fleet Is Reducing Equipment Downtime And Operational Losses*” Oleh Celestin (2023).** Penelitian ini bertujuan untuk meneliti pengaruh *predictive maintenance* terhadap penurunan *downtime* dan kerugian operasional armada logistik. Studi ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan data yang diperoleh dari sistem pemantauan kendaraan serta wawancara manajer armada. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa *predictive maintenance* yang berbasis *Fleet*

Management System (FMS) efektif dalam menurunkan biaya perbaikan mendadak, meningkatkan keandalan kendaraan, dan memperpanjang usia pakai armada. Penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap pengembangan kebijakan perawatan prediktif di sektor logistik berbasis data *real-time*.

5. **“Data Acquisition for Condition Monitoring in Tactical Vehicles: On-Board Computer Development” Oleh Ochando et al., (2023).** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem komputer *on-board* untuk kendaraan taktis guna mendukung *condition-based maintenance*. Tujuan utama penelitian adalah menciptakan sistem akuisisi data sensor yang mampu merekam parameter kritis kendaraan secara *real-time*. Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimental dan simulasi perangkat keras. Hasilnya membuktikan bahwa sistem *on-board* ini mampu mendeteksi kegagalan sejak dini, memberikan peringatan otomatis, dan meningkatkan ketepatan dalam perencanaan pemeliharaan. Kontribusi riset ini sangat relevan untuk mendukung optimalisasi sistem FMS di kendaraan logistik.
6. **“Analisis Perawatan Mesin Conveyor Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)” Oleh Rohmat (2022).** Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan merancang sistem perawatan yang optimal pada mesin Conveyor 02M603 di PT WINGS, yang sering mengalami kerusakan sehingga menyebabkan *downtime* dan kerugian akibat biaya *demurrage*. Dalam penelitian ini, dilakukan identifikasi terhadap komponen-komponen kritis, perhitungan rata-rata waktu antar kerusakan (MTTF), waktu perbaikan (MTTR), dan tingkat keandalan mesin guna menentukan jadwal perawatan

yang sesuai. Metode yang digunakan adalah *Reliability Centered Maintenance* (RCM), didukung oleh pendekatan FMEA dan *Logic Tree Analysis* (LTA), dengan data diperoleh melalui observasi, wawancara, dan catatan historis kerusakan. Hasil analisis menunjukkan bahwa *carrier roller*, *support carrier*, dan *rubber seal* merupakan komponen paling kritis, dengan tingkat keandalan awal di bawah 50%. Oleh karena itu, interval perawatan direvisi dari 200 jam menjadi 100 jam, sehingga keandalan meningkat signifikan, seperti *carrier roller* dari 18,13% menjadi 73,79%, *support carrier* dari 51,72% menjadi 90,47%, dan *rubber seal* dari 68,87% menjadi 92,89%. Perubahan jadwal ini diharapkan mampu menurunkan *downtime* dan mencegah gangguan proses distribusi bahan baku dalam sistem produksi.

7. ***“Integrated Management Analysis Of Production Performance, And PDCA Cycle: A Case Study Of The IPCC Mining Process” Oleh Fernandes et al., (2022).*** Penelitian ini bertujuan Tujuan untuk mengintegrasikan manajemen kinerja produksi, strategi perawatan, dan siklus PDCA dalam lingkungan industri pertambangan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi efektivitas sistem manajemen pemeliharaan yang holistik dalam mendukung efisiensi dan kesinambungan operasional. Dengan menggunakan pendekatan kuantitatif dan pemodelan sistem, penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi yang kuat antara perawatan dan evaluasi performa mampu memperbaiki alur produksi serta meningkatkan responsivitas terhadap gangguan sistem. Temuan ini penting karena menguatkan urgensi integrasi antar sistem digital, strategi pemeliharaan, dan siklus perbaikan berkelanjutan dalam satu kerangka manajemen yang terpadu.

8. ***“An RCM approach for assessing reliability challenges and maintenance needs of unmanned cargo ships”*** Oleh Eriksen et al., (2021). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penerapan RCM dalam menilai tantangan keandalan dan kebutuhan pemeliharaan kapal kargo tak berawak. Dengan menggunakan pendekatan studi kasus, FMEA, dan pemodelan sistem keandalan, penelitian ini bertujuan mengembangkan metode RCM yang fleksibel dan adaptif untuk sistem transportasi otonom. Hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi RCM dapat secara efektif mengidentifikasi risiko tersembunyi, meningkatkan sistem monitoring, dan merancang tindakan pemeliharaan yang proaktif berdasarkan kondisi aktual.
9. ***“A hybrid reliability-centered maintenance approach for mining transportation machines: a real case in Esfahan”*** Oleh Jafarpisheh et al., (2020). Penelitian ini bertujuan untuk menawarkan pendekatan *hybrid* RCM dalam sistem transportasi pertambangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model pemeliharaan yang menggabungkan data operasional dengan analisis keandalan untuk meningkatkan efisiensi sistem transportasi alat berat. Dengan menggunakan metode kuantitatif dan teknik analisis statistik terhadap data kerusakan serta kegagalan mesin, hasilnya menunjukkan bahwa model *hybrid* RCM berhasil menurunkan *downtime* dan meningkatkan nilai *Mean Time Between Failures* (MTBF), memperpanjang masa kerja alat berat secara signifikan.
10. ***“Perancangan Penjadwalan Perawatan Mesin Sewing Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM II) Di PT Apparel One Indonesia”*** Oleh Fikri Sahal & Syakhroni (2019). Penelitian ini bertujuan untuk

merancang sistem penjadwalan perawatan mesin jahit secara lebih efisien di PT Apparel One Indonesia dengan menerapkan metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II). Dengan pendekatan kualitatif deskriptif dan teknik analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), penelitian ini mengidentifikasi mode kegagalan pada komponen-komponen mesin untuk menentukan tindakan perawatan yang tepat berdasarkan tingkat risiko. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode RCM II berhasil menurunkan frekuensi kerusakan, mengurangi *downtime*, dan meningkatkan efisiensi proses produksi. Temuan ini menegaskan bahwa RCM dapat menjadi alat strategis dalam merancang sistem pemeliharaan yang andal dan terstruktur.

Berdasarkan sejumlah penelitian sebelumnya, sebagaimana pada penelitian milik Sahal & Syakhroni (2019), Armanda (2023), Muthoriq et al. (2025), Setiawan et al. (2023), dan Rohmat (2022), terdapat keterkaitan yang relevan dengan fokus penelitian ini, yakni penggunaan pendekatan RCM dalam meningkatkan keandalan sistem dan mengurangi *downtime*. Sementara penelitian dari Fernandes et al. (2022), Jafarpisheh et al. (2020), Celestin (2023), Ochando et al. (2023), dan Eriksen et al. (2021) menunjukkan kesamaan pendekatan, yaitu pemanfaatan integrasi sistem monitoring dan data *real-time* dalam mendukung implementasi RCM secara lebih adaptif dan prediktif. Perbedaannya, penelitian-penelitian tersebut lebih menekankan pada aspek digitalisasi sistem pemeliharaan dan penerapannya di sektor logistik, transportasi, serta sistem otonom, di lingkungan industri pertambangan. Sedangkan fokus penelitian peneliti lebih ditekankan pada peran integrasi data *Fleet Management System* (FMS) terhadap efektivitas strategi RCM dalam konteks pengelolaan armada kendaraan operasional.

Berdasarkan penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) telah terbukti efektif dalam menurunkan *downtime* di berbagai sektor industri. Selain itu, teknologi informasi seperti *on-board diagnostics* dan *sensor-based maintenance* menjadi faktor pendukung dalam implementasi strategi prediktif. Namun, belum ada penelitian yang secara spesifik menelaah integrasi antara RCM dan FMS dalam konteks operasional armada logistik di perusahaan Indonesia, khususnya dengan pendekatan studi kasus berbasis kualitatif. Inilah gap yang hendak diisi oleh penelitian ini, yakni mengkaji bagaimana optimalisasi data FMS melalui penerapan metode RCM dapat secara strategis menurunkan *downtime* armada di PT Indocitra Logistics Express Bekasi.

Tabel 2.1 Kajian Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian, Oleh dan Tahun	Tujuan	Metode	Hasil	Persamaan	Perbedaan
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1.	<i>Reliability-Centered Maintenance (RCM) Approach in Fleet Maintenance To Enhance Transportation Efficiency and Safety</i> (Muthoriq et al., 2025)	Mengoptimalkan kebijakan pemeliharaan armada <i>bus</i> Scania di PT. SPS Solo untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi.	Kualitatif dan Kuantitatif dengan Metode RCM.	Mengidentifikasi delapan komponen kritis pada pengereman, <i>stabilizer</i> , dan <i>tie rod</i> , serta menentukan interval pemeliharaan untuk efisiensi biaya dan pengurangan <i>downtime</i> .	Menggunakan Metode RCM untuk fokus pada penurunan <i>downtime</i> .	Penelitian terdahulu fokus pada pemeliharaan armada <i>bus</i> jarak jauh berbasis komponen. Sedangkan, penelitian penulis fokus pada armada logistik berbasis FMS.
2.	Perencanaan Perawatan Mesin dengan Metode <i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i> Pada PT. XYZ (Armanda, D. D. 2023)	Menentukan komponen kritis dan jadwal perawatan optimal pada mesin <i>standing pouch</i> untuk menurunkan <i>downtime</i> produksi.	Kualitatif dan Kuantitatif dengan Metode RCM.	Komponen kritis seperti <i>bearing</i> , <i>cam</i> , dan <i>gripper</i> diperbaiki setiap 4,23–5,37 jam operasi, di mana penerapan RCM menghasilkan jadwal pemeliharaan yang efektif serta meningkatkan keandalan komponen.	Menggunakan Metode RCM untuk fokus pada penurunan <i>downtime</i> .	Penelitian terdahulu fokus pada mesin produksi manufaktur (kemasan minyak goreng). Sedangkan, penelitian penulis fokus pada armada logistik berbasis FMS.

No	Judul Penelitian, Oleh dan Tahun	Tujuan	Metode	Hasil	Persamaan	Perbedaan
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
3.	Penerapan <i>Preventive Maintenance</i> Menggunakan Metode <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) Untuk meminimasi <i>Downtime</i> Mesin CNC Di PT MTAT (Agus Setiawan et al., 2023)	Meningkatkan keandalan mesin CNC dan meminimalkan <i>downtime</i> melalui <i>preventive maintenance</i> berbasis RCM.	Kualitatif dan Kuantitatif dengan Metode RCM.	<i>Downtime</i> tahunan berhasil dikurangi dari 88 jam menjadi 56 jam atau setara penurunan sebesar 36%. Tingkat keandalan komponen motor spindle meningkat dari 37% menjadi 55%, sedangkan keandalan <i>V-Belt Turret</i> mengalami peningkatan signifikan dari 21% menjadi 84%.	Menggunakan Metode RCM untuk fokus pada penurunan <i>downtime</i> .	Penelitian terdahulu fokus pada mesin CNC di industri manufaktur. Sedangkan, penelitian penulis fokus pada armada logistik berbasis FMS.
4.	<i>How Predictive Maintenance In Logistics Fleet Is Reducing Equipment Downtime And Operational Losses</i> (Celestin, 2023)	Menganalisis dampak <i>predictive maintenance</i> terhadap pengurangan <i>downtime</i> dan kerugian operasional di armada logistik.	Kuantitatif dengan metode studi kasus, metode RCM.	Penerapan <i>Predictive maintenance</i> menurunkan <i>downtime</i> , biaya, dan kegagalan alat, meningkatkan <i>uptime</i> , menekan emisi, serta mempercepat ROI dalam 10–18 bulan tergantung skala armada.	Fokus pada <i>fleet logistics</i> , dan pengurangan <i>downtime</i> .	Penelitian terdahulu berfokus pada <i>predictive maintenance AI-driven, big data, dan IoT</i> . Sedangkan penelitian penulis mengedepankan integrasi metode RCM dan FMS.

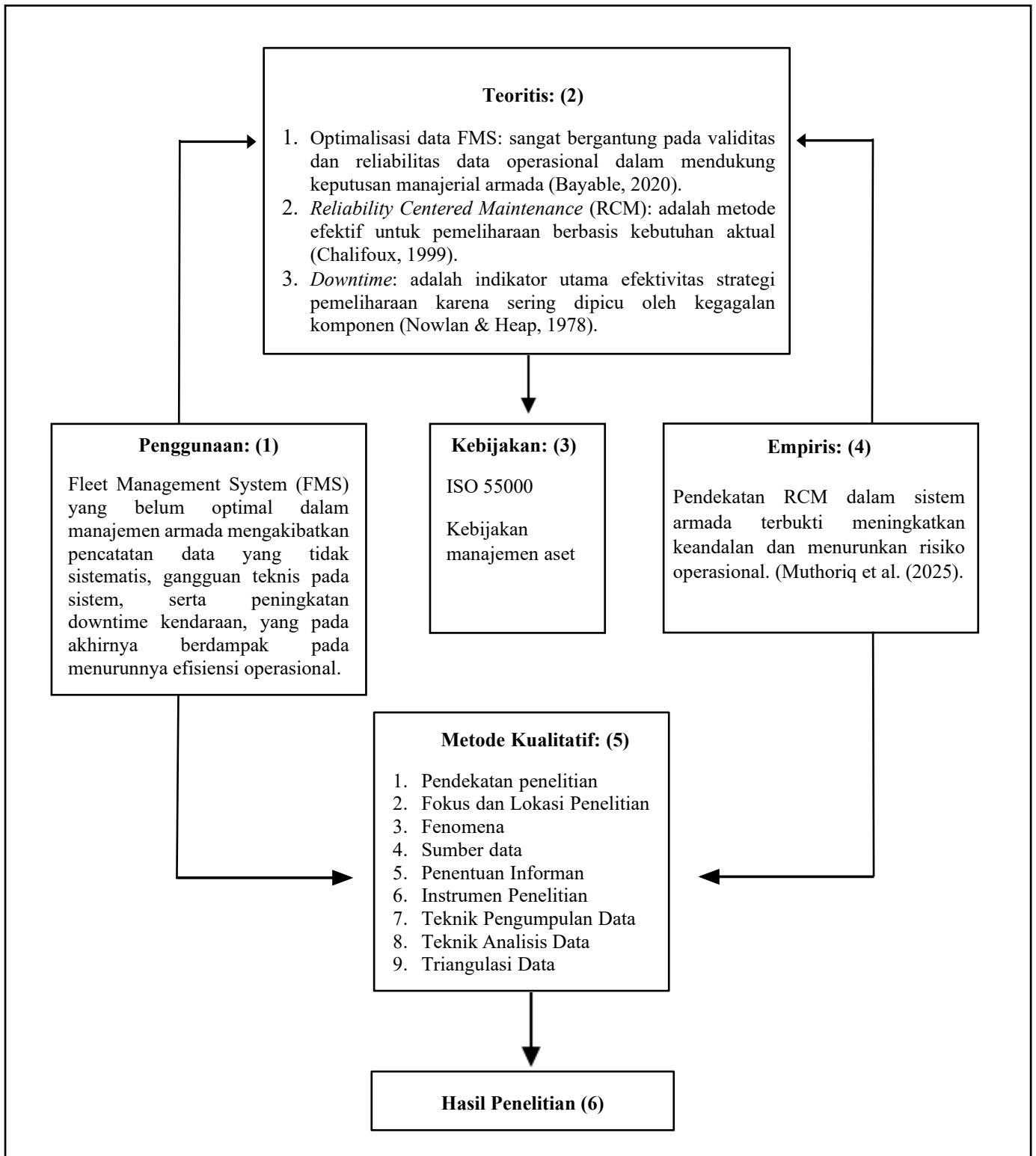
No	Judul Penelitian, Oleh dan Tahun	Tujuan	Metode	Hasil	Persamaan	Perbedaan
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
5.	<i>Data Acquisition for Condition Monitoring in Tactical Vehicles: On-Board Computer Development</i> (Ochando et al., 2023)	Mengembangkan sistem komputer <i>on-board</i> untuk pemantauan kondisi kendaraan taktis dan mendukung pemeliharaan prediktif.	Kuantitatif dengan Metode RCM berbasis FMEA (<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>).	Sistem berhasil mencatat dan menganalisis data <i>real-time</i> dari kendaraan militer; mengidentifikasi fault melalui sensor dan modul CAN bus mendukung CBM dan integrasi FMS efisien dalam penggunaan <i>bandwidth</i> dan penyimpanan data.	Fokus menggunakan pendekatan FMS dan data <i>real-time</i> kendaraan untuk mendukung strategi <i>maintenance</i> .	Penelitian terdahulu berfokus pada kendaraan militer dengan pendekatan FMEA. Sedangkan penelitian penulis mengedepankan integrasi metode RCM berbasis FMS.
6.	Analisis Perawatan Mesin Conveyor Dengan Metode <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) (Rohmat, 2022)	Menentukan elemen yang penting dan menyusun rencana pemeliharaan yang efisien untuk meminimalkan <i>downtime</i> pada mesin conveyor di PT WINGS.	Kualitatif dan Kuantitatif dengan Metode RCM.	Perawatan rutin setiap 100 jam pada komponen kritis seperti <i>carrier roller</i> , <i>support carrier</i> , dan <i>rubber seal</i> meningkatkan keandalannya hingga lebih dari 90%.	Menggunakan Metode RCM untuk fokus pada penurunan <i>downtime</i> .	Penelitian terdahulu fokus pada perawatan mesin conveyor industri. Sedangkan, penelitian penulis fokus pada armada logistic berbasis FMS.

No	Judul Penelitian, Oleh dan Tahun	Tujuan	Metode	Hasil	Persamaan	Perbedaan
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
7.	<i>Integrated Management Analysis Of Production Performance, And PDCA Cycle: A Case Study Of The IPCC Mining Process</i> (Fernandes et al., 2022)	Menganalisis keterpaduan antara kinerja produksi, pengelolaan perawatan, dan implementasi siklus PDCA guna meningkatkan efisiensi operasional.	Kualitatif dan Kuantitatif dengan Metode PDCA.	Produksi yang hanya mencapai 73,82% dari target, disertai penurunan PA dan PU, berhasil ditingkatkan melalui <i>action plan</i> dan pemantauan berbasis sistem FMS (<i>MineStar</i>) pada tahun 2020.	Fokus pada penurunan <i>downtime</i> dan integrasi performa operasional <i>maintenance</i> .	Penelitian terdahulu menggunakan metode PDCA dan analisis <i>Key Performance Indicator</i> (KPI) secara terintegrasi. Sedangkan Penelitian penulis menggunakan Metode RCM.
8.	<i>An RCM approach for assessing reliability challenges and maintenance needs of unmanned cargo ships</i> (Eriksen et al., 2021)	Mengevaluasi penerapan dan batasan metode RCM untuk sistem pemeliharaan kapal kargo tanpa awak, serta mengusulkan perbaikannya.	Kuantitatif dengan Metode RCM.	Penerapan RCM pada kapal tanpa awak dianggap sesuai, namun perlu penyesuaian karena terbatasnya tindakan korektif saat beroperasi, serta dibutuhkan sistem yang <i>redundant</i> dan adaptif terhadap kegagalan jarak jauh.	Menggunakan Metode RCM untuk fokus pada penurunan <i>downtime</i> .	Penelitian terdahulu berfokus pada sistem mesin kapal tanpa awak. Sedangkan penelitian penulis mengedepankan integrasi metode RCM berbasis FMS.

No	Judul Penelitian, Oleh dan Tahun	Tujuan	Metode	Hasil	Persamaan	Perbedaan
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
9.	<i>A hybrid reliability-centered maintenance approach for mining transportation machines: a real case in Esfahan</i> (Jafarpisheh et al., 2020)	Mengembangkan dan mengimplementasikan pendekatan <i>Hybrid</i> RCM untuk mesin transportasi di industri pertambangan.	Kuantitatif dengan Metode RCM.	Penerapan metode <i>hybrid</i> RCM berhasil menurunkan <i>downtime</i> dan meningkatkan keandalan mesin transportasi di Esfahan.	Menggunakan Metode RCM untuk fokus pada penurunan <i>downtime</i> .	Penelitian terdahulu dilakukan di Esfahan, Iran dengan industri pertambangan. Sedangkan, penelitian penulis berlokasi di Bekasi, Indonesia dengan industri logistik.
10.	Perancangan Penjadwalan Perawatan Mesin <i>Sewing</i> Dengan Metode <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM II) Di PT Apparel One Indonesia (Fikri Sahal & Syakhroni, 2019)	Merancang strategi pemeliharaan dan melakukan identifikasi terhadap komponen-komponen kritis, meminimalkan <i>downtime</i> operasional mesin produksi.	Kualitatif dan Kuantitatif dengan Metode RCM.	Mengidentifikasi 26 mode kegagalan serta menetapkan komponen-komponen kritis seperti <i>feed dog</i> , <i>needle</i> , dan <i>rotary</i> , disertai rekomendasi interval dan metode perawatan yang tepat untuk masing-masing komponen.	Menggunakan Metode RCM untuk fokus pada penurunan <i>downtime</i> .	Penelitian terdahulu fokus pada mesin produksi manufaktur. Sedangkan, penelitian penulis fokus pada armada logistik berbasis FMS.

Sumber: Hasil Data Diolah, 2025

2.3 Alur Kerangka Penelitian



Gambar 2.1 Alur Kerangka Penelitian

Sumber: Data di olah 2025