

BAB I USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah dan Kebutuhan

Perkeretaapian komuter modern di Indonesia, seperti MRT Jakarta dan LRT Jabodebek, merupakan moda transportasi yang melayani puluhan ribu penumpang setiap harinya dengan *interval headway* 10-20 menit dan *headway* 5-10 menit pada jam sibuk. Pada September 2023, rata-rata penumpang harian MRT Jakarta mencapai 100,968 penumpang, dengan puncak 126.360 penumpang dalam satu hari, dan berdasarkan data LRT Jabodebek pada Q1 2025, terdapat rata-rata sekitar 85.585 penumpang pada hari kerja, dan sekitar 35.523 pada hari libur.

Kedua sistem ini telah mengadopsi teknologi canggih dalam pengoperasiannya, termasuk sistem persinyalan yang di mana pengoperasian kereta api sudah dilakukan secara semi-otomatis. Keamanan dan keselamatan operasional pada sistem perkeretaapian komuter modern di Indonesia merupakan kunci utama agar dapat mewujudkan moda transportasi yang handal dan dipercaya oleh masyarakat.



Gambar 1.1 MRT Jakarta dan LRT Jabodebek.

Di sisi lain, seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 1.1** di atas, banyaknya penumpang juga berperan dalam menciptakan risiko, misalnya barang yang terjatuh ke jalur, yang dapat menjadi penghalang bagi perjalanan kereta dan membahayakan operasional. Jika *obstacle* ini tidak segera terdeteksi dan ditangani, dapat menyebabkan keterlambatan perjalanan, gangguan operasional, hingga meningkatkan risiko kecelakaan. Yang pada akhirnya berdampak pada jadwal perjalanan serta kepuasan penumpang.

Dengan padatnya penumpang yang menggunakan moda transportasi ini, penggunaan *Platform Screen Door* (PSD) digunakan untuk meningkatkan keamanan penumpang di peron. Integrasi sistem ini juga bertujuan untuk memastikan perjalanan yang lebih aman, efisien, dan tepat waktu. Sebagai contoh, pada tahun 2023 MRT Jakarta mencatat tingkat ketepatan waktu kedatangan kereta mencapai angka impresif, yaitu 99,95% [1]. Angka ini tidak terlepas dari kontribusi berbagai sistem pendukung yang saling terintegrasi, seperti sistem persinyalan MRT Jakarta yang menggunakan *Communication-Based Train Control* (CBTC) dan menggunakan *Grade of Automation Level 2* (GoA2) [2] seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 1.2** di bawah, dan juga LRT Jabodetabek yang menggunakan sistem persinyalan yang sama dengan *Grade of Automation Level 3* (GoA3) [3].

	<u>Grade of Automation</u>	<u>Type of train operation</u>	<u>Setting train in motion</u>	<u>Stopping train</u>	<u>Door closure</u>	<u>Operation in event of disruption</u>
	GoA1	ATP ¹ with driver	Drive	Drive	Drive	Drive
	GoA2	ATP ¹ and ATO ² with driver	Automatic	Automatic	Drive	Drive
	GoA3	Driverless	Automatic	Automatic	Train attendant	Train attendant
	GoA4	UTO ³	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic

¹ ATP: Automatic Train Protection, ² ATO: Automatic Train Operation, ³ UTO: Unattended Train Operation

Gambar 1.2 Perbandingan Grade of Automation (GoA)

Tingginya jumlah penumpang dan kepadatan jadwal perjalanan menambah urgensi terhadap sistem keamanan yang andal [4]. Ketepatan waktu pelayanan yang tinggi sangat bergantung pada efektivitas sistem yang sudah ada, termasuk sistem persinyalan, telekomunikasi, serta pencegahan bencana [5]. Oleh karena itu, segala bentuk gangguan di jalur kereta dapat berdampak signifikan terhadap operasional dan kenyamanan penumpang.

Dalam konteks ini, memastikan ruang bebas di jalur kereta tetap steril dari segala bentuk hambatan menjadi hal yang sangat penting. Jalur kereta memiliki ruang bebas yang harus selalu steril dari segala bentuk penghalang untuk memastikan kelancaran operasional. *Obstacle* di jalur kereta dapat berupa objek fisik seperti tas, payung, koper, ataupun binatang

seperti kucing yang tidak sengaja jatuh atau masuk ke jalur kereta [6]. Risiko ini dapat berdampak signifikan terhadap kelancaran operasional kereta, menurunkan tingkat keamanan, serta mempengaruhi ketepatan waktu perjalanan.

Sistem persinyalan dan keselamatan yang ada saat ini belum dirancang untuk secara otomatis mendeteksi *obstacle* di jalur, sehingga dibutuhkan pendekatan baru yang lebih efektif. Oleh karena itu, diperlukan teknologi inovatif yang mampu bekerja secara mandiri, tanpa ketergantungan penuh pada perhatian manusia. Saat ini, pemantauan *obstacle* di jalur kereta masih bergantung pada metode manual, seperti patroli petugas, dan pengawasan menggunakan CCTV, yang keduanya memiliki keterbatasan dalam hal cakupan area, kecepatan respons, serta akurasi dalam mendeteksi *obstacle* yang berpotensi mengganggu operasional kereta.

Dengan memahami risiko dan keterbatasan yang ada, diperlukan pendekatan baru yang lebih efektif untuk memastikan jalur kereta tetap steril dari *obstacle*. Pendekatan ini harus mempertimbangkan integrasi teknologi modern, seperti otomatisasi pemantauan hambatan di jalur kereta, untuk meningkatkan efektivitas pemantauan dan deteksi hambatan di jalur kereta [7].

Penulis berkesempatan melakukan analisis langsung di PT MRT Jakarta, dengan terlibat dalam observasi lapangan guna mengkaji permasalahan serta potensi risiko yang dapat ditimbulkan akibat hambatan di jalur kereta. Dalam proses ini, penulis juga melakukan wawancara dan survei dengan pihak perusahaan, khususnya di Departemen Sinyal dan Telekomunikasi, untuk memahami urgensi serta dampak dari permasalahan ini terhadap operasional kereta. Berdasarkan hasil diskusi dengan perusahaan, ditemukan bahwa hingga saat ini belum terdapat sistem khusus yang secara spesifik dirancang untuk mendeteksi dan menangani hambatan di jalur secara otomatis. Hal ini menimbulkan potensi risiko keselamatan bagi perjalanan kereta serta gangguan operasional yang dapat berdampak pada ketepatan waktu dan efisiensi layanan. Oleh karena itu, pengembangan solusi otomatisasi pemantauan *obstacle* dinilai dapat memberikan manfaat yang signifikan, baik bagi perusahaan untuk meningkatkan keandalan operasional, maupun bagi pengguna transportasi dalam memastikan perjalanan yang lebih aman dan nyaman

1.1.1 Complex Engineering Problem

Identifikasi dan pemahaman terhadap *complex engineering problem* menjadi penting karena menjadi dasar dalam merancang solusi yang relevan, efektif, dan berkelanjutan, terutama dalam konteks sistem kritikal seperti transportasi publik dan infrastruktur modern. Beberapa faktor-faktor yang menjadi permasalahan antara lain:

A. Permasalahan memerlukan pengetahuan teknis yang mendalam.

Pendeteksian *obstacle* di jalur kereta, khususnya pada sistem perkeretaapian modern, membutuhkan pengetahuan yang mendukung mengenai sistem yang memfasilitasi jalannya perkeretaapian, seperti persinyalan, otomasi, dan operasional kereta. Dengan mengetahui kelebihan dan keterbatasan sistem yang sudah ada, masalah dapat diidentifikasi dengan mudah sehingga dapat menyelesaikan masalah tersebut memerlukan pemahaman teknis yang mendalam.

B. Permasalahan tingkat tinggi yang meliputi beberapa bagian.

Sebuah moda transportasi modern memiliki sistem terintegrasi yang mencakup banyak bagian seperti pengendalian, pemantauan, dan pengoperasian. Untuk mewujudkan moda transportasi yang aman, efisien, dan inovatif, diperlukan berbagai cara untuk menutup risiko yang dapat mengganggu kelancaran dari pengoperasian moda transportasi tersebut. Oleh karena itu, untuk menutup risiko dan keterbatasan sistem yang sudah ada, banyak bagian yang harus dipertimbangkan seperti yang sudah disebutkan sebelumnya.

C. Permasalahan bukan masalah yang dapat diselesaikan dengan solusi atau praktek-praktek standar.

Permasalahan yang ada tidak dapat diselesaikan hanya dengan pendekatan yang selama ini sudah dilakukan, sistem yang mengandalkan tenaga kerja manusia tidak akan lepas dari *human error*, yang dimana menimbulkan risiko yang dapat memungkinkan terjadinya hal yang tidak diinginkan. Permasalahan ini membutuhkan pendekatan yang lebih canggih, seperti pemanfaatan teknologi untuk dilakukan otomatisasi, dengan adanya implementasi teknologi, permasalahan dapat dihadapi dengan lebih efektif dan efisien.

D. Permasalahan melibatkan pemangku kepentingan yang beragam dengan berbagai kebutuhan.

Risiko yang dihadapi tidak hanya menyangkut aspek-aspek teknis, namun juga melibatkan kebutuhan dari berbagai pihak yang terlibat. Mulai dari operator kereta, petugas lapangan, penumpang, hingga lembaga pengatur keselamatan transportasi. Masing-masing pihak memiliki kepentingan yang berbeda. Permasalahan yang dihadapi dapat mempengaruhi berbagai kepentingan pihak, yang dimana solusi yang dibutuhkan akan harus bisa dikembangkan untuk bisa menjaga kebutuhan dan ekspektasi dari semua pihak tersebut.

1.2 Analisis Masalah

Perkeretaapian komuter modern di Indonesia, termasuk MRT Jakarta dan LRT Jabodebek, memiliki tantangan besar dalam menjaga keamanan dan kelancaran operasionalnya. Dengan tingginya tingkat kepadatan penumpang dan jadwal perjalanan yang padat, segala bentuk gangguan di jalur kereta dapat berdampak signifikan terhadap kualitas layanan. Oleh karena itu, analisis mendalam diperlukan untuk memahami berbagai aspek yang mempengaruhi potensi hambatan di jalur kereta, antara lain:

1.2.1 Aspek Teknis

Sistem pemantauan *obstacle* saat ini masih bergantung pada metode manual melalui patroli petugas dan pengawasan menggunakan *closed-circuit television* (CCTV). Kedua metode ini memiliki keterbatasan signifikan dalam cakupan area dan akurasi deteksi. Kamera CCTV seringkali memiliki keterbatasan sudut pandang dan dapat terhalang oleh *Platform Screen Door* (PSD), sehingga tidak semua area jalur dapat terpantau dengan jelas. Selain itu, respons manual dari petugas dalam menangani hambatan seringkali membutuhkan waktu lebih lama, terutama di area dengan aktivitas penumpang yang tinggi.

1.2.2 Aspek Operasional

Secara operasional, hambatan di jalur kereta dapat menyebabkan keterlambatan yang berdampak pada jadwal perjalanan dan rotasi kereta. Gangguan pada jalur yang tidak segera terdeteksi dapat menyebabkan antrian kereta yang panjang dan mengganggu efisiensi operasional. Tingkat ketepatan waktu yang menjadi indikator utama keberhasilan layanan

kereta komuter dapat terganggu oleh hambatan pada jalur yang seharusnya dapat ditangani dengan cepat dan tepat oleh petugas.

1.2.3 Aspek Keamanan

Hambatan di jalur kereta dapat berpotensi merusak komponen vital pada kereta, seperti roda dan sistem traksi. Kondisi ini tidak hanya mengganggu operasional, tetapi juga dapat menyebabkan risiko keselamatan bagi penumpang dan. Risiko ini semakin tinggi di area peron dengan aktivitas yang padat dan konsentrasi penumpang yang besar

1.2.4 Aspek Ekonomi

Gangguan akibat hambatan di jalur kereta memiliki dampak ekonomi yang signifikan. Keterlambatan operasional dapat meningkatkan biaya operasional dan menurunkan angka *ridership* [8]. Jika gangguan ini terjadi secara berulang, potensi kerugian jangka panjang dapat mempengaruhi keberlanjutan finansial operator kereta komuter [9].

1.2.5 Aspek Regulasi

Dalam regulasi perkeretaapian, jalur kereta harus bebas dari hambatan untuk memastikan perjalanan yang aman dan efisien [6]. Namun, implementasi regulasi ini masih menghadapi tantangan di lapangan, seperti keterbatasan teknologi dalam mendeteksi hambatan secara otomatis dan akurat. Selain itu, sistem pemantauan yang ada belum sepenuhnya diintegrasikan dengan teknologi yang lebih modern.

Dengan memahami berbagai aspek ini, jelas bahwa pengembangan sistem pemantauan otomatis yang lebih efektif dan terintegrasi sangat diperlukan untuk memastikan keamanan, efisiensi, dan keberlanjutan operasional perkeretaapian komuter modern di Indonesia.

1.3 Analisis Solusi Yang Sudah Ada

Setelah memahami permasalahan yang ada dalam sistem perkeretaapian komuter modern di Indonesia, termasuk MRT Jakarta dan LRT Jabodebek, penting untuk mengkaji solusi-solusi yang telah diterapkan dalam menangani hambatan di jalur kereta. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi kekuatan (*strength*), kelemahan (*weakness*), dan keterbatasan (*limitation*) dari setiap solusi yang ada sebagai dasar untuk merumuskan pendekatan yang lebih efektif.

1.3.1 Pemantauan Manual oleh Petugas

Pemantauan jalur kereta dengan metode patroli manual oleh petugas merupakan salah satu solusi yang paling umum digunakan. Kelebihan dari metode ini adalah fleksibilitas dan kemampuan petugas untuk langsung menangani hambatan yang ditemukan di lokasi. Namun, metode ini memiliki keterbatasan signifikan, seperti efektivitas pemantauan sangat bergantung pada kewaspadaan, keterampilan, dan kondisi fisik petugas di lapangan. Selain itu, cakupan area pemantauan yang terbatas, dan potensi kesalahan manusia (*human error*) dapat menyebabkan keterlambatan respons dan kemungkinan hambatan terlewatkan.

1.3.2 Pemantauan Menggunakan CCTV

Sistem CCTV digunakan umumnya untuk memantau fasilitas dan keseluruhan area pelayanan dan operasi secara *real-time* dari ruang kontrol stasiun. Keunggulan dari solusi ini adalah kemampuannya untuk memantau area yang luas dan merekam aktivitas di area pelayanan dan operasi secara keseluruhan. CCTV juga memungkinkan petugas untuk memantau area yang diinginkan tanpa harus berada langsung di lokasi. Namun, sistem ini juga memiliki kelemahan. Sudut pandang kamera seringkali terbatas, terutama jika ingin memantau jalur kereta di peron, yang mungkin terhalang oleh *Platform Screen Door* (PSD) atau hambatan struktural lainnya. Selain itu, jumlah kamera yang banyak memerlukan pengawasan intensif oleh petugas. Hal ini menyulitkan pemberian perhatian khusus, karena banyaknya area lain yang juga harus dipantau dapat menyebabkan keterlambatan dalam mendeteksi hambatan yang ada.

1.3.3 Pemantauan Menggunakan Kamera Termal

Kamera termal telah diterapkan di beberapa negara seperti Inggris, Kanada, serta beberapa sistem metro di Eropa dan Amerika Serikat untuk mendeteksi hambatan di jalur kereta, terutama dalam kondisi cahaya rendah atau malam hari. Teknologi ini efektif dalam mendeteksi objek hidup, seperti manusia atau hewan liar, dengan menganalisis perbedaan suhu, sehingga dapat meningkatkan keselamatan operasional. Selain itu, kamera termal dapat beroperasi tanpa memerlukan sumber cahaya tambahan, memungkinkan pemantauan di lingkungan berkabut atau minim pencahayaan. Namun, teknologi ini memiliki keterbatasan dalam mendeteksi objek non-hidup seperti batu atau puing dan memerlukan

perangkat dengan resolusi tinggi agar akurasi optimal, yang dapat meningkatkan biaya implementasi. Akurasi deteksi juga dapat dipengaruhi oleh suhu lingkungan, terutama pada siang hari ketika suhu rel atau tanah yang mendekati suhu tubuh manusia dapat menyebabkan kesalahan deteksi.

Analisis terhadap metode pemantauan saat ini, seperti patroli manual oleh petugas, pemantauan melalui CCTV, dan penggunaan kamera termal, menunjukkan adanya keterbatasan signifikan. Ketiga metode ini sangat bergantung pada kewaspadaan dan perhatian petugas, yang dapat terganggu oleh berbagai faktor eksternal dan internal. Selain itu, kamera thermal, meskipun efektif dalam mendeteksi objek hidup dalam kondisi cahaya rendah, memiliki keterbatasan dalam mengidentifikasi objek non-hidup seperti puing atau barang kecil yang jatuh ke jalur kereta, sehingga masih diperlukan pendekatan yang lebih komprehensif untuk memastikan jalur tetap steril dari hambatan. Aktivitas tinggi di area peron dan jadwal perjalanan yang padat semakin mengurangi efektivitas metode ini dalam memastikan jalur bebas dari bahaya. Kelelahan dan distraksi pada operator kereta api dapat menyebabkan penurunan konsentrasi. Hal ini dapat berujung pada respons yang lambat, meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan [10].

Tabel 1.1 Keunggulan dan kekurangan solusi yang sudah ada

Solusi Yang Sudah Ada	Keunggulan	Kekurangan
Pemantauan Manual oleh Petugas Peron	<ul style="list-style-type: none"> • Fleksibilitas pemantauan dan penanganan masalah yang ada di sekitar peron oleh petugas. • Kemudahan intervensi oleh petugas saat ada bahaya atau masalah. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bergantung pada kewaspadaan, keterampilan, dan juga kinerja dari masing-masing petugas. • Keterbatasan area pemantauan yang dipengaruhi oleh <i>human error</i>.

Solusi Yang Sudah Ada	Keunggulan	Kekurangan
Pemantauan Menggunakan CCTV	<ul style="list-style-type: none"> • Pemantauan area yang luas dengan kemampuan untuk merekam. • Memungkinkan pemantauan secara <i>remote</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pandangan yang sering terhalang oleh struktur lainnya. • Butuhnya perhatian intensif untuk dijadikan sebagai metode pemantauan yang efektif.
Pemantauan Menggunakan Kamera Termal	<ul style="list-style-type: none"> • Mampu mendeteksi objek berbasis panas tubuh, berguna untuk mendeteksi manusia atau hewan. • Efektif dalam kondisi gelap atau area terpencil. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak dapat mendeteksi objek non-hidup seperti batu, puing, atau sampah. • Harga mahal, terutama untuk kamera dengan resolusi tinggi. • Kurang akurat saat siang hari.

Dengan memahami kelebihan, kekurangan, dan keterbatasan dari masing-masing solusi yang ada pada **Tabel 1.1** di atas, jelas bahwa pendekatan patroli manual, pemantauan CCTV, dan kamera termal belum sepenuhnya efektif dalam memastikan jalur kereta bebas dari hambatan. Patroli manual memiliki keterbatasan dalam cakupan area dan kecepatan respons, CCTV memerlukan pengawasan manusia yang intensif, sementara kamera thermal, meskipun efektif dalam mendeteksi objek hidup dalam kondisi minim cahaya, kurang optimal dalam mengidentifikasi objek non-hidup seperti barang jatuh atau barang non-hidup lainnya yang jatuh ke jalur.

Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan otomatis yang mampu bekerja secara *real-time*, semi-terawasi, dan mengurangi ketergantungan pada pengawasan manusia untuk memastikan keamanan serta kelancaran operasional perkeretaapian komuter modern di Indonesia.

1.4 Kesimpulan Bab I

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, terlihat bahwa sistem perkeretaapian komuter modern di Indonesia, seperti MRT Jakarta dan LRT Jabodebek, menghadapi risiko signifikan dalam menjaga keamanan dan kelancaran operasional. Tingginya kepadatan penumpang dan jadwal perjalanan yang padat menambah urgensi terhadap sistem pemantauan yang andal dan efektif untuk memastikan jalur kereta bebas dari hambatan.

Metode pemantauan manual oleh petugas dan pengawasan menggunakan CCTV telah diterapkan sebagai upaya untuk menjaga keamanan jalur. Namun, kedua metode ini memiliki sejumlah keterbatasan signifikan. Misalnya, keterbatasan sudut pandang, cakupan area yang terbatas, serta ketergantungan pada kewaspadaan dan keterampilan petugas yang rentan terhadap kesalahan manusia (*human error*). Selain itu, aktivitas tinggi di area peron dan padatnya jadwal operasional juga turut mengurangi efektivitas metode ini.

Keterbatasan tersebut menunjukkan bahwa pendekatan yang ada saat ini belum sepenuhnya mampu mengatasi tantangan yang dihadapi dalam memastikan jalur kereta steril dari hambatan. Oleh karena itu, dibutuhkan otomatisasi sistem yang mampu mengurangi ketergantungan pada pengawasan manual oleh manusia.