

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah

Transportasi umum di Indonesia, khususnya industri perkeretaapian masih memiliki permasalahan akan ketergantungan impor kereta dari berbagai negara untuk memenuhi kebutuhan, baik dari sistem operasi hingga suku cadang. Kereta merupakan kendaraan yang banyak dipilih untuk melakukan perjalanan jauh karena merupakan kendaraan yang memiliki jalur khusus, dan memiliki kapasitas yang besar. Dalam perkembangan zaman, transportasi perkeretaapian ini akan turut dikembangkan. Dari permasalahan yang ada diperlukan solusi untuk membantu mengurangi ketergantungan yang ada untuk tidak terus-menerus terjadi. Perancangan prototipe sistem proteksi ini dibuat untuk memastikan sistem proteksi ini dapat diciptakan secara lokal tanpa perlu bergantung dari negara lain. Prototipe ini dirancang dengan mempertimbangkan kebutuhan keamanan dan kemandirian teknologi.

1.2 Latar Belakang Masalah

Kereta api merupakan salah satu transportasi darat yang memegang peranan penting untuk konektivitas antar daerah. Pembangunan infrastruktur kereta api di Indonesia menjadi salah satu prioritas yang akan dikembangkan oleh pemerintah karena diharapkan dapat meningkatkan perkembangan suatu daerah dan menjadi salah satu transportasi berkelanjutan. Kereta api menjadi salah satu kendaraan yang banyak diminati untuk melakukan perjalanan jauh. Selain memiliki kecepatan tinggi, kereta api memiliki kapasitas angkut yang besar, yang mampu mengangkut logistik lainnya selain manusia. Kereta api juga termasuk transportasi yang rendah emisi jika dibandingkan dengan transportasi umum lainnya. Dengan ruang pembangunan yang hemat juga membuat pembangunan kereta api menjadi lebih fleksibel, karena tidak harus berada di permukaan tanah, seperti *Mass Rapid Transit* (MRT) yang menerapkan rel melayang di atas tanah (*elevated*) dan di bawah tanah (*subway*)[1]

Dengan peningkatan signifikan jumlah penumpang kereta api dari tahun ke tahun, tercatat oleh Badan Pusat Statistik (BPS) jumlah penumpang kereta api di Indonesia, mencakup penumpang di Pulau Jawa dan Sumatra, pada Mei 2024 mencapai 35,15 juta orang. Secara total, jumlah penumpang kereta nasional periode Januari-Mei 2024 meningkat 15,89% dibanding periode yang sama pada tahun lalu[2]. Hal ini menggambarkan bahwa kereta api telah menjadi tulang punggung transportasi publik di Indonesia. Meningkatnya jumlah tersebut

membuat industri kereta api di Indonesia melakukan perkembangan pesat, tidak hanya dalam penambahan jumlah armada dan rute, tetapi juga dalam inovasi teknologi konstruksi kereta.

Sampai pada tahun 2023, diketahui jika Indonesia masih melakukan impor untuk melakukan pemenuhan kebutuhan armada kereta, dikarenakan terdapat unit yang sudah harus dipensiunkan[3]. Salah satu negara yang menjadi eksportir kereta untuk Indonesia adalah Jepang[4]. Ketergantungan ini berawal dari perjanjian bilateral antara Jepang dan Indonesia pada tahun 1958. Pada periode 2008-2015 jumlah KRL bekas dari Jepang sebanyak 784 unit, hal ini dilakukan untuk memenuhi kebutuhan transportasi massal KRL dan mencapai target 1,2juta penumpang pada tahun 2019[3].

Ketergantungan yang tinggi pada impor teknologi kereta bukan hanya menimbulkan risiko terhadap inovasi dan daya saing industri kereta dalam negeri, tetapi juga menghambat kemampuan Indonesia untuk mandiri dalam mengendalikan teknologi yang digunakan dalam infrastruktur transportasi. Diketahui Indonesia tidak hanya bergantung pada teknologi, namun juga bergantung pada sistem operasi, dan suku cadang yang digunakan sehingga Indonesia tidak mampu berdaulat atas produk yang digunakan[5].

Untuk mengatasi permasalahan ketergantungan ini, salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah merancang sistem *Automatic Train Protection* (ATP) dengan mengikuti standar-standar proteksi kereta yang sudah ada dan digunakan di beberapa negara menjadi salah satu solusi dalam mengurangi ketergantungan sekaligus meningkatkan keamanan. Sistem ATP merupakan sistem yang diaplikasikan pada persinyalan kereta yang dapat melakukan *relay* terhadap informasi sekitar, sehingga ketika kecepatan kereta mendekati sinyal stop atau terlalu tinggi, secara otomatis kecepatan kereta akan menurun atau diberhentikan[6]. Sistem ini dirancang untuk memberikan lapisan keamanan. Dalam situasi darurat atau keadaan yang memerlukan reaksi cepat, respons otomatis dari sistem ATP dapat lebih efisien. Beberapa sistem persinyalan dan komunikasi perkeretaapian yang sudah ada di Indonesia menggunakan teknologi *Communication Based Train Control* (CBTC) dan *Chinese Train Control System* (CTCS).

1.3 Analisis Masalah

Analisis masalah perlu dilakukan untuk memahami kendala apa saja yang mungkin terjadi. Hal ini membantu membentuk dasar untuk mengatasi permasalahan yang ada.

1.3.1 Aspek Ekonomi

Ketergantungan Indonesia pada impor teknologi kereta api dari negara-negara maju seperti Jepang telah menciptakan beban ekonomi yang signifikan. Kontrak kerja sama jangka panjang LTPA mencakup investasi sebesar Rp 734 miliar untuk periode 2024-2027. Dana ini akan digunakan untuk memastikan bahwa suku cadang dan perawatan kereta rel listrik (KRL) dapat memenuhi kebutuhan operasional PT KAI[4]. Pengeluaran besar untuk pembelian armada, suku cadang, dan teknologi operasional dari luar negeri sebenarnya bisa dialokasikan untuk pengembangan industri dalam negeri.

Berdasarkan hasil audit dari Badan Pengawasan Keuangan dan Pembangunan (BPKP), PT KCI tidak direkomendasikan untuk mengimpor kereta rel listrik (KRL) bekas dari Jepang. Tinjauan BPKP yang diterima pada 29 Maret 2023, menyimpulkan bahwa rencana impor KRL bekas Jepang tidak mendukung perkembangan industri perkeretaapian nasional[5].

Dengan mengembangkan sistem proteksi kereta secara lokal, Indonesia dapat mengurangi beban ekonomi yang ditimbulkan oleh ketergantungan pada impor. Selain itu, ini akan mendorong pertumbuhan industri teknologi dalam negeri. Membangun dan memperkuat industri lokal tidak hanya akan menciptakan lapangan kerja baru, tetapi juga meningkatkan kemampuan teknis dan inovasi dalam negeri.

Investasi dalam pengembangan teknologi lokal juga akan mengurangi ketergantungan pada suku cadang impor dan memberikan stabilitas lebih pada sektor perkeretaapian. Dengan demikian, alokasi anggaran yang lebih bijak dapat memperkuat ekonomi domestik dan mengurangi beban hutang luar negeri. Peningkatan kapasitas produksi dalam negeri juga akan membuka peluang ekspor ke negara lain, sehingga memperluas pasar dan meningkatkan pendapatan nasional.

1.3.2 Aspek Keamanan dan Kenyamanan

Impor kereta bekas oleh Jepang untuk Indonesia memiliki beberapa poin untuk diperhatikan, seperti kelayakan dan keamanan. Hal ini menjadi yang utama untuk diperhatikan karena kereta bekas berusia tua berpotensi memiliki kelemahan dalam sistem sinyal dan teknik. Masalah teknis yang ada tentunya dapat memengaruhi keselamatan penumpang. Gangguan teknis yang terjadi juga akan membuat kenyamanan pengguna terganggu. Seperti gangguan teknis yang terjadi pada jurusan Manggarai-Angke, membuat 4 KRL batal diberangkatkan[7]. Jika hal ini terus-menerus terjadi, minat penumpang pada penggunaan kereta sebagai transportasi umum akan berkurang.

1.4 Tujuan Capstone

Berdasarkan latar belakang masalah yang diangkat, tujuan dari penelitian ini adalah mengimplementasikan sistem proteksi yang dapat memantau dan mengatur kecepatan kereta, serta melakukan pengereman otomatis untuk memastikan kepatuhan terhadap parameter keselamatan yang telah ditentukan.

1.5 Analisis Solusi yang Ada

Sub bab ini membahas berbagai sistem proteksi keamanan otomatis atau sistem ATP yang telah ada dan digunakan dalam industri perkeretaapian. Berikut adalah beberapa sistem yang sudah ada dan bekerja dengan baik, bahkan menjadi standar industri perkeretaapian.

1.5.1 TPWS (*Train Protection Warning System*)

TPWS adalah sistem keselamatan yang digunakan untuk mencegah kecelakaan kereta api yang disebabkan oleh kecepatan yang berlebihan atau sinyal yang dilewati dalam keadaan bahaya. TPWS menggunakan peralatan di pinggir rel untuk memantau kecepatan dan lokasi kereta dan mengirimkan peringatan ke peralatan di dalam kereta jika mendeteksi bahwa kereta mendekati sinyal yang membahayakan atau melebihi batas kecepatan. Secara garis besar TPWS berfungsi untuk menghentikan kereta secara otomatis jika kereta melewati batas kecepatan tertentu[8]. Terdapat dua tipe TPWS yang ada yaitu TPWS instalasi dasar yang melayani kecepatan kereta hingga 100 Km/jam (75 mph), dan versi kedua (TPWS+) yang dapat memenuhi kecepatan 135 Km/jam (100 mph)[9]

1.5.2 AWS (*Automatic Train Protection*)

Automatic Warning System (AWS) disediakan sebagai perlindungan terhadap pengemudi yang gagal merespons sinyal atau salah membaca aspeknya. Jika pengemudi gagal mengenali peringatan AWS dalam waktu sekitar dua detik, aplikasi rem penuh akan dimulai secara otomatis. Karena intervensi ini terjadi pada sinyal jauh atau aspek hati-hati dan pengereman berlanjut hingga peringatan diketahui, AWS dapat menghentikan kereta sebelum mencapai sinyal berhenti di depan. Sistem AWS ini juga merupakan peringatan otomatis yang digunakan pada kereta api di Inggris. Sistem ini memberikan peringatan kepada masinis ketika kereta mendekati sinyal merah atau kecepatan yang tidak aman.

1.5.3 PTC (*Positive Train Control*)

Di Amerika Serikat, sistem yang melindungi kereta api secara otomatis dikenal sebagai *Positive Train Control* (PTC). Untuk mencegah kecelakaan kereta yang disebabkan oleh kesalahan manusia, sistem PTC menggunakan teknologi kontrol kereta berbasis komunikasi

dan prosesor untuk mencegah tabrakan antar kereta, tergelincir dengan kecepatan berlebih, masuknya kereta ke dalam zona kerja yang telah ditetapkan, dan pergerakan kereta melalui sakelar pada posisi yang salah. Meskipun PTC adalah teknologi keamanan penting yang memastikan jaringan kereta api aman dan mencegah kecelakaan, biaya dan kesulitan implementasi dan pemeliharaan harus dipertimbangkan dengan cermat, dan risiko keamanan siber yang terkait dengan sistem PTC harus ditangani untuk menjamin keamanan jaringan kereta api[10]. Secara fungsional PTC dapat menentukan lokasi, arah dan kecepatan kereta yang tepat, memperingatkan operator kereta akan masalah yang dapat terjadi dan menghentikan kereta dengan aman jika operator tidak melakukan apa-apa.

1.5.4 ETCS (*European Train Control System*)

ETCS (*European Train Control System*) adalah sistem standar yang dapat dioperasikan, merupakan sistem perlindungan kereta otomatis yang canggih di Eropa[11]. Sistem ini merupakan sistem persinyalan yang dirancang untuk mengganti beberapa sistem keamanan yang digunakan di Eropa karena sistem keamanan ini tidak kompatibel lagi untuk digunakan di jalur kereta yang berkecepatan tinggi[12]. Sistem ini menggunakan dua elemen penting, yaitu *balise*, odometer dan GNSS (*Global Navigation Satellite System*)[13]. Kedua komponen ini yang memainkan peran penting untuk sistem ini. *Balise* digunakan sebagai *beacon* yang akan ditempatkan sepanjang rel, bertanggung jawab untuk mengirimkan informasi penting ketika kereta api lewat[14]. kemudian untuk odometer dan GNSS akan bertanggung jawab untuk mengukur kecepatan kereta dan memantau jarak tempuh kereta, keduanya digunakan untuk meningkatkan sensitivitas deteksi kesalahan pada sistem[15].

Tabel 1. 1 Analisis Keunggulan, Kekurangan dan Keterbatasan solusi yang ada

Solusi yang ada	Keunggulan	Kekurangan	Keterbatasan
TPWS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistem TPWS dirancang untuk berhenti di 3 situasi. 2. Berhasil diuji dengan kecepatan maksimum 200 Km/jam di Inggris 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Output</i> kebutuhan rem dari TPWS tidak terhubung ke sistem pengereman kereta selama pengujian dengan kecepatan maksimum 200 Km/jam untuk menghindari risiko 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sinyal umumnya memiliki batas aman sekitar 180 m setelah pemberitahuan sebelum benar-benar berhenti. 2. Efektif dalam membawa kereta yang melaju 75 mph

		<p>roda kereta menjadi kempis.</p> <p>2. TPWS dapat menyebabkan alarm palsu, yang dapat mengganggu layanan kereta dan menyebabkan keterlambatan.</p> <p>3. Untuk operator kereta api dengan anggaran terbatas, pemasangan dan pemeliharaan TPWS terbilang mahal.</p>	<p>untuk berhenti sebelum mencapai bahaya.</p> <p>3. TPWS hanya dapat mendeteksi kecepatan maksimum 135 Km/jam .</p>
AWS	<p>1. AWS memberikan peringatan di dalam kabin ketika kereta mendekati sinyal hati-hati atau bahaya. Juga peringatan saat mendekati pembatasan kecepatan.</p>	<p>1. AWS dapat memberikan peringatan palsu jika terjadi gangguan pada sistem atau jika sinyal tidak terdeteksi dengan benar.</p> <p>2. Sistem ini merupakan sistem peringatan yang tidak memantau respons pengemudi terhadap peringatan.</p>	<p>1. Memerlukan waktu untuk dapat menggunakan data yang telah di persiapkan, terutama pada keadaan rel kereta.</p>
PTC	<p>1. Menggunakan kombinasi GPS, komunikasi nirkabel, dan komputer di dalam kereta untuk memantau kecepatan dan lokasi kereta.</p>	<p>1. Biaya implementasi PTC terbilang berat bagi beberapa perkeretaapian yang lebih kecil.</p> <p>2. Risiko keamanan <i>cyber</i> yang semakin rawan.</p>	<p>1. PTC hanya diperlukan pada jalur kereta api tertentu, seperti jalur yang mengangkut bahan berbahaya, operasi komuter yang dijadwalkan secara teratur, atau jalur yang mengangkut penumpang antar Kota. Karena itu,</p>

			beberapa jalur kereta api mungkin tidak memiliki PTC yang terpasang, membuatnya rentan terhadap kecelakaan.
ETCS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Integrasi sinyal dan pengendalian di tingkatan yang berbeda (Level 1, Level 2, Level 3). 2. Memungkinkan adopsi teknologi yang seragam di seluruh jaringan perkeretaapian 3. Lebih terfokus pada memastikan keamanan dan efisiensi sistem perkeretaapian secara menyeluruh. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Transisi dari sistem lama ke ETCS akan mempengaruhi layanan kereta api yang sudah ada. Pemeliharaan, <i>upgrade</i>, atau penyesuaian infrastruktur dapat menyebabkan gangguan dalam operasional sehari-hari. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bergantung pada kemampuan dan kebijakan koordinasi antarnegara.

1.6 Kesimpulan dan Ringkasan CD-1

Penggunaan transportasi kereta api dalam beberapa tahun terakhir mengalami pertumbuhan yang sangat signifikan, baik dalam peningkatan jumlah penumpang ataupun perkembangan teknologi konstruksi kereta. Meskipun kereta dianggap sebagai transportasi yang efisien dan ekonomis, ketergantungan impor kereta menjadi salah satu risiko terhadap inovasi teknologi dalam negeri, daya saing produk, serta kedaulatan produk yang digunakan. Pembuatan prototipe sistem ATP menjadi salah satu upaya dalam mengatasi ketergantungan pada impor dalam meningkatkan keamanan operasional perkeretaapian. Sistem ATP diterapkan pada kereta sebagai suatu lapisan keamanan tambahan yang dapat mengurangi peran manusia dalam situasi tertentu dan untuk memastikan operasi kereta aman.

Dalam proses pengembangan sistem ATP, dilakukan perbandingan dengan solusi yang sudah ada seperti TPWS, AWS, PTC dan ETCS dengan tujuan untuk memahami kelebihan dan kekurangan dari sistem yang telah teruji dan beroperasi di dunia. Hasil evaluasi memahami kelebihan dan kekurangan dari setiap sistem yang ada, ETCS menjadi standar yang dipilih

untuk membuat sistem ATP. Pilihan ini berdasarkan pertimbangan keandalan dan efektivitas sistem. Dengan menerapkan ETCS sebagai standar akan dapat menciptakan sistem ATP yang tidak hanya memenuhi kebutuhan standar keamanan operasional, tetapi juga membawa inovasi dan kemajuan dalam industri perkeretaapian di dalam negeri.