



Available online at :
<http://ejournal.unim.ac.id/index.php/produktiva>

Jurnal Produktiva

| ISSN (Print) xxxx-xxxx | ISSN (Online) xxxx-xxxx |

Analisis Kecelakaan Kerja Bidang Transportasi (Studi Kasus: Kereta Coromandal Express dan Howrah Express Di India)

Imaduddin Bahtiar Efendi¹, Emma Budi Sulistiarini², Achmad Dani Affandi¹, M. Alfian Syarif Romadhoni¹, Silvi Agustina¹

¹ Prodi Teknik Industri, Universitas Islam Majapahit, Mojokerto

² Prodi Teknik Industri, Universitas Widya Gama, Malang

ARTICLE INFORMATION

Diajukan: 28 Juli 2024
Direvisi: 12 Agustus 2024
Disetujui: 20 Oktober 2024

KEYWORDS

Kecelakaan Kerja Transportasi Kereta,
Coromandal Express, Howrah Express

CORRESPONDENCE

Phone: +62 85933250888
E-mail: imaduddinbe@gmail.com

ABSTRACT

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) adalah suatu upaya untuk menjamin dan juga mencegah terjadinya kecelakaan kerja. Kurangnya penerapan K3 dalam melakukan pekerjaan dapat menimbulkan risiko bahaya seperti halnya dalam bidang transportasi, yang terjadi pada kecelakaan kereta api di kota Balasore negara bagian Odisha pada tanggal 2 juni 2023. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui potensi bahaya kecelakaan dan upaya yang dilakukan untuk mengurangi risiko kecelakaan yang terjadi. Metode yang digunakan adalah jenis penelitian deskriptif kualitatif yang memberikan gambaran suatu keadaan secara jelas tanpa ada perlakuan pada obyek yang diteliti. Hasil dari penelitian ini didapat penyebab utama kecelakaan terjadi karena sistem *interlocking* yang tidak berfungsi dengan baik sehingga menyebabkan kereta Coromandal Express keluar jalur utama dan masuk pada jalur melingkar. Dari beberapa potensi bahaya tersebut, dapat dilakukan upaya pencegahan seperti adanya teknologi *Train Collision Avoidance System* (TCAS) yang merupakan sistem anti-tabrakan kereta yang secara otomatis mengaktifkan rem untuk menghindari tabrakan antar dua lokomotif. Selain itu terdapat beberapa potensi bahaya lainnya seperti, kegagalan sistem *interlocking* yang seharusnya memiliki mekanisme *fail-safe* untuk mencegah terjadinya kecelakaan. Upaya pencegahannya diperlukan analisis menyeluruh dan pengembangan sistem yang adaptif saat *runtime* terutama pada kondisi *safety-critical system*. Sedangkan untuk faktor *human error* dapat dicegah dengan beberapa cara. Pada saat sebelum pemberangkatan masinis perlu dilakukan *medical check up* dan *assessmen kecil* di setiap stasiun pemberhentian. Sedangkan untuk operator diberikan *treatment* secara berkala untuk menghilangkan kebosanan maupun penurunan konsentrasi dalam mengontrol perjalanan kereta api. Selain *treatment* juga diperlukan pendamping yang diharapkan dapat saling menjaga agar *awareness* tetap prima, sehingga dapat bekerja dengan baik dalam bertugas sebagai pengontrol dan penjamin keselamatan perjalanan kereta api.

PENDAHULUAN

Era globalisasi industri 4.0 yang identik dengan teknologi maju memberikan suatu tantangan dalam meningkatkan kesejahteraan kehidupan masyarakat yang *sustainable*. Teknologi memiliki peran dalam memberikan kemudahan kepada masyarakat maupun industri untuk melakukan aktifitasnya yang sudah pasti akan memanfaatkan sumber daya baik sebagai bahan baku utama maupun pendukung dalam perspektif suatu sistem. Peran tersebut akan memberikan pengaruh dan dampak yang ditimbulkan baik secara positif maupun negatif. Dalam perspektif sistem, teknologi akan mempengaruhi proses produksi dalam industri manufaktur maupun proses bisnis dalam industri jasa. Teknologi dalam hal ini yang lebih spesifik bisa dikatakan sebagai sarana otomatisasi telah diyakini mempunyai efek (*bearing*) langsung atas peningkatan produktivitas (Ouh, 1987).

Produktivitas merupakan tuntutan yang sangat penting dalam kehidupan, hal tersebut dikarenakan merupakan faktor yang akan menjadikan suatu individu, perusahaan, maupun organisasi terjaga eksistensinya dan mampu berdaya saing dalam percaturan bisnis. Sebagai penentu dalam produktivitas, ada beberapa rumus yang melibatkan beberapa variabel sebagai rumusan perbandingan, biasanya merupakan hasil pengukuran kinerja berbanding waktu, biaya, dan juga kualitas hasil yang didapatkan.

Ada banyak sarana yang dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas, salah satu diantaranya adalah berupa prosedur kerja yang sistematis. Adanya struktur pekerjaan dan kejelasan dalam tataran operasional juga merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja. Biasanya hal ini tertuang dalam suatu Standar Operasional Prosedur (SOP) yang fungsinya adalah untuk memberikan kemudahan pada para pekerja dalam melaksanakan tugas sehingga memberikan hasil pekerjaan yang berkualitas, dan dapat terhindar dari risiko terpajan atau tertular penyakit (Rizkika et al., 2014).

Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) adalah merupakan salah satu unsur terpenting dalam menentukan tingkat produktivitas suatu perusahaan maupun organisasi. Hal tersebut dikarenakan bahwa SMK3 merupakan suatu upaya untuk menjamin dan juga mencegah terjadinya kecelakaan kerja. Penerapan K3 diharapkan mampu mengoptimalkan proses kerja, sehingga pekerja dapat bekerja dengan selamat, sehat, aman, dan nyaman (Sucipto, 2014). Selain itu dengan adanya perhatian dalam penerapan K3 juga akan memberikan dampak pula terhadap kualitas hasil kerja secara menyeluruh, sehingga akan mampu meningkatkan produktivitas secara signifikan.

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi K3, antara lain (Budiono, 2003):

- Beban kerja yang berupa beban fisik, mental, dan sosial
- Kapasitas kerja yang dipengaruhi oleh tingkat pendidikan, ketrampilan, kebugaran jasmani, ukuran tubuh yang ideal, gizi, dan sebagainya
- Lingkungan kerja yang dapat berupa faktor fisik, kimia, biologi, ergonomi, maupun juga psikososial

Namun demikian, terkadang perhatian terhadap urgensi penerapan K3 masih sangat kurang dalam melakukan pekerjaan sehingga tidak dapat mengidentifikasi adanya potensi bahaya yang mengancam, apalagi jika statusnya dapat meningkat menjadi penyebab terjadinya kecelakaan kerja. Padahal semestinya potensi bahaya tersebut dapat dikendalikan dengan menentukan skala prioritas untuk selanjutnya dilakukan pemilihan pengendalian secara hirarkis dalam pengendalian risiko yang terdiri dari lima hirarki yaitu eliminasi, substitusi, *engineering control*, *administrative control*, dan alat pelindung diri (APD), hal ini sesuai <https://doi.org/xx.xxxxx/xxxxx>

standar yang dibuat oleh beberapa lembaga sertifikasi dan lembaga *world class standardization* (OHSAS 18001, 2007).

Dalam bidang apapun K3 mutlak diperlukan karena dalam rangka memberikan jaminan keselamatan dan kesehatan dari sudut pandang pekerja, pun juga akan memberikan nilai positif terhadap peningkatan produktivitas perusahaan, tak terkecuali dalam bidang transportasi yang juga memiliki risiko tinggi terhadap kecelakaan kerja. Secara aplikatif peranan K3 sangat penting karena diharapkan dapat mengurangi risiko kecelakaan.

Kereta api merupakan moda transportasi massal (Adjetey-bahun et al., 1991) yang aman dan ramah lingkungan (Tutmez & Baranovskii, 2019). Meskipun bukan berarti tidak ada kekurangannya, namun faktor keamanannya didapatkan dari sistem pemanfaatan infrastruktur yang tunggal dalam operasionalnya. Hal ini berbeda dengan moda transportasi lainnya yang memanfaatkan satu infrastruktur secara bersama-sama. Sedangkan ramah lingkungan ditentukan oleh status dan posisinya sebagai operator penghasil emisi tunggal tapi mampu menyelesaikan masalah transportasi secara massal dalam satu waktu.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengidentifikasi serta menganalisis adanya potensi bahaya yang menjadi penyebab kecelakaan untuk kemudian merekomendasikan upaya yang perlu dilakukan dalam rangka mengurangi atau bahkan menghilangkan potensi risiko kecelakaan kereta api di kemudian hari.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian jenis deskriptif kualitatif, yaitu penelitian yang memberikan gambaran suatu keadaan secara jelas tanpa ada perlakuan pada obyek yang diteliti (Kountur, 2005).

Adapun metode pendekatan yang dipakai dalam kajian ini adalah merupakan studi pustaka (*library research*) yang berupa rangkaian kegiatan terkait dengan mulai dari pengumpulan data kepustakaan, membaca, mencatat, sampai dengan pengolahan bahan penelitian (Zed, 2003).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Obyek Penelitian

Obyek yang dijadikan bahan penelitian adalah tragedi kecelakaan kereta api yang terjadi pada hari Jum'at tanggal 2 juni 2023 di stasiun Bahanaga Bazar, kota Balasore, wilayah pantai timur negara bagian Odisha, India. Peristiwa kecelakaan tersebut melibatkan 3 kereta, yaitu dua kereta ekspres yang membawa penumpang (Coromandal Express dan Howrah Express) dan sebuah kereta barang terlibat dalam "Kecelakaan tripartit". Kecelakaan tersebut bahkan sampai menelan korban yang cukup banyak, diantaranya sekitar 261 tewas dan sekitar 1000 orang luka-luka. (Aria, 2023).

Bahkan kecelakaan kereta ini dinilai menjadi salah satu kecelakaan yang paling mematikan di India dalam beberapa dekade (Sheptiany, 2023).



Gambar 1. Situasi kecelakaan kereta Coromandal Exppress & Howrah

Express di India

2. *Studi Literatur*

Pada hakikatnya produktivitas kerja akan banyak ditentukan oleh dua faktor utama, yaitu faktor teknis dan faktor manusia. Faktor teknis meliputi pemakaian dan penerapan fasilitas produksi secara baik dengan penerapan metode kerja yang efektif dan efisien. Sedangkan faktor manusia terkait dengan bagaimana pengaruh usaha yang dilakukan manusia dalam menyelesaikan pekerjaan yang menjadi tugas dan tanggung jawabnya. Faktor manusia memiliki dua hal sebagai penentu, yaitu kemampuan kerja (*ability*) dan motivasi kerja (Wignjosoebroto, 2006).

Peristiwa kecelakaan kereta juga dimungkinkan terjadi karena beberapa atau salah satu dari beberapa akar permasalahan yang termasuk dalam kategori *Span of Control* artinya dalam rentang kendali perusahaan yang meliputi sepuluh akar permasalahan, terdiri dari manajemen sumber daya manusia yang tidak maksimal, penerapan sistem ketenagakerjaan yang kurang baik, tingkat penggunaan teknologi pendukung yang masih rendah, suku cadang yang sulit diperoleh, sistem perencanaan tidak dirancang dengan baik, tidak diperhitungkannya perencanaan persediaan di masa yang akan datang, kurang diperhatikannya faktor ergonomi mikro, kedatangan lokomotif tidak sesuai jadwal, tidak maksimalnya integrasi sistem kerja, dan juga lokasi dipo yang tidak strategis. Namun inti permasalahannya adalah terletak pada manajemen sumber daya manusia yang tidak maksimal dengan tingkat persentase sebesar 80 % (Firman, 2006).

Menteri Perkeretaapian Federal India Ashwini Vaishnaw mengatakan bahwa sistem *interlocking* elektronik adalah sistem pengamanan yang dirancang untuk mencegah terjadinya pergerakan saling berlawanan antar-kereta di jalur yang sama. Sandeep Marthur sebagai direktur eksekutif utama persinyalan juga menyebutkan bahwa sistem manajemen jalur yang dikendalikan oleh komputer, atau yang lebih dikenal dengan istilah *interlocking*, mengarahkan kereta api ke jalur yang kosong pada titik pertemuan dua jalur, yang merupakan titik pertemuan antara dua jalur (Ninditya, 2023). Selain itu tujuan dari sistem *interlocking* adalah untuk mengatur keselamatan perjalanan kereta api yang akan memberikan petunjuk apakah kereta tersebut akan berjalan lurus atau akan berpindah jalur pada saat masuk dan keluar dari stasiun. Sistem ini dirancang sebagai sistem gagal aman, karena jika gagal fungsi, maka sinyal akan berubah otomatis menjadi warna merah dan kereta akan diberhentikan.

3. *Identifikasi Penyebab Kecelakaan*

Setelah melakukan pengumpulan data kepustakaan melalui pemberitaan di berbagai media yang menginformasikan tentang peristiwa tersebut didapatkan beberapa data tentang dugaan penyebab kecelakaan kereta api tersebut.

Pihak penyelidik menduga kerusakan pada sistem manajemen jalur dan sinyal kereta menjadi penyebab kecelakaan fatal kereta api. Kegagalan sistem manajemen jalur merupakan fokus utama dari investigasi yang dilakukan (Dewitri, 2023). Karena sistem manajemen jalur yang dikendalikan oleh komputer, atau yang dikenal sebagai sistem *interlocking*, mengarahkan kereta api ke jalur kosong di titik pertemuan antar dua jalur.

Analisis lain menyebutkan bahwa penyebab utama kecelakaan karena sistem *interlocking* tidak berfungsi dengan baik yang menyebabkan kereta Coromandel Express yang melaju dengan kecepatan 128 kilometer per jam keluar dari jalur utama dan masuk pada jalur melingkar. sehingga menabrak kereta yang diparkir pada jalur melingkar.

4. *Pembahasan*

Moda transportasi kereta api memiliki kekhususan dibanding dengan mode transportasi lainnya. Ciri kekhususan tersebut tampak pada sarana prasarana dan metode operasional yang melengkapinya yaitu adanya jalan rel. Kekhususan usaha perusahaan jalan rel bukan hanya pada organisasi perusahaannya saja, tetapi teknologi yang mendasarinya juga sangat menentukan kekhususan dan ruang lingkup yang harus dipenuhi oleh perusahaan jalan rel, diantaranya adalah: konstruksi trek, wesel (media untuk perpindahan spur), sinyal dan jalur perjalanan. Disamping itu diperlukan operator jalan rel tersebut sebagai pengontrol dari stasiun untuk menentukan jalur kereta api (Darmawan, 2001).

Kekhususan tersebut memberikan dampak yang lebih kompleks terutama menyangkut aspek keselamatan dalam operasionalnya. Analisis keselamatan sistem perkeretaapian yang saling terkait melibatkan verifikasi bebas dari tabrakan, penggelinciran, dan *run-through* (yaitu, kereta api terguling pada titik yang salah dalam penentuan) (James et al., 2014).

Studi keselamatan dalam sistem perkeretaapian sangat dipengaruhi oleh sistem *interlocking* kereta api berbasis komputer yang canggih dan algoritmanya harus didasarkan atas kemungkinan kesalahan yang terjadi dalam operasional, lalu dirumuskan melalui pohon kesalahan otomatis agar memudahkan dan mempercepat dalam perancangan studi keselamatan. Namun perlu dicatat bahwa simulasi pemilihan kejadian sebagai bahan analisis cukup rumit, karena kasus keselamatan tidak boleh hanya berfokus pada satu jenis kerusakan sistem tetapi harus mencakup semua kemungkinan sistem tingkat tinggi (Szabó & Tárnai, 2000).

Sistem keselamatan dalam perkeretaapian adalah merupakan sistem otonom yang harus dapat beradaptasi tidak hanya dengan lingkungannya, namun juga harus mampu menyadari serta mampu menyesuaikan perilaku dan strukturnya. Hal ini karena sistem tersebut dirancang untuk dapat beroperasi pada kondisi yang krisis keselamatan (*safety-critical system*) sehingga bisa jadi tidak diketahui secara langsung, dinamis, dan tidak terstruktur. Dalam konteks ini teknik jaminan keselamatan tradisional tidak lagi memadai. Oleh karena itu, untuk menjamin perilaku yang aman dalam operasional, maka setiap saat dalam semua situasi yang memungkinkan, diperlukan suatu metodologi yang dapat mengamati status sistem saat *runtime* dan memastikan keamanannya yang sesuai denganuntutannya (Haupt & Liggesmeyer, 2019).

Dengan demikian maka konsep keselamatan fungsional dalam arsitektur pemrograman yang dapat diandalkan pada sistem *interlocking* kereta api menjadi sangat penting, hal tersebut seiring dengan masih adanya kecelakaan berbahaya di industri perkeretaapian (Eriş et al., 2013).

Sistem *interlocking* yang dapat dianggap sebagai komponen pengambilan keputusan utama dari sistem persinyalan kereta api blok tetap (*fix block*), secara langsung bertanggung jawab untuk memastikan keselamatan pergerakan kereta api (Mutlu et al., 2013). Sistem *interlocking* berisi saluran logika, yang memproses perintah, dan saluran keamanan, yang memeriksa perintah sesuai dengan aturan keselamatan. Perintah yang hanya diperbolehkan dalam keadaan tertentu untuk dijalankan jika ada instruksi yang dihasilkan oleh pemrosesan perintah dalam saluran logika yang telah diperiksa dan dilakukan oleh penanggung jawab keamanan (Klein, 1991).

Upaya pemberian jaminan dalam keselamatan saat sistem *runtime* yaitu dengan cara penggunaan monitor keselamatan berbasis aturan yang mengamati sistem untuk mengetahui adanya penyimpangan yang kritis terhadap keselamatan. Pendekatan ini membuat sistem yang adaptif, berperilaku seperti mekanisme adanya toleransi otomatis terhadap kesalahan. Sistem terus memantau dan memperbaiki dirinya sendiri saat terjadi kegagalan yang kritis terhadap keselamatan, sehingga dapat membantu sistem untuk mempertahankan perilaku

aman saat *runtime* (Haupt & Liggesmeyer, 2019).

Namun demikian perilaku adaptif sistem tersebut masih belum cukup karena perlu dukungan verifikator yang dapat memastikan kebenaran sistem komputer yang digunakan dalam aplikasi penting pada saat *runtime*, meskipun hal itu sangat sulit. Selama ini metode yang digunakan dalam verifikasi, simulasi dan pengujian pada umumnya, tidak menyeluruh dan terdapat kesalahan. Semestinya kesalahan bisa diidentifikasi sebelum *safety-critical system* diterapkan di lapangan. Manfaatnya adalah bukan hanya sekedar menghilangkan sumber masalah yang sangat serius, namun juga membuat proses debug sistem jauh lebih murah. Oleh karena itu, diperlukan adanya verifikator *interlocking* sistem kritis keselamatan kereta api yang disebut sebagai ACC. Sistem ini telah dimodelkan dan dianalisis dengan alat Verus dengan menggunakan algoritma simbolik yang efisien untuk verifikasi pada sistem kritis keselamatan yang kompleks sebagai rancangan untuk mengendalikan stasiun kereta api tipe sedang maupun besar (Hartonas-Garmhausen et al., 1998).

Perancangan sistem keselamatan pada jalur kereta api didahului dengan proses pemodelan formal sistem *interlocking* yang kemudian dilanjutkan dengan verifikasi. Model tersebut harus menggambarkan dua hal, yaitu bagian yang menggambarkan sistem fisik dan bagian yang menggambarkan sistem yang saling terkait. Sebagai dukungan dari proses pemodelan tersebut, maka diperlukan adanya simulator yang dapat menyediakan visualisasi versi model yang dapat dieksekusi dan dapat digunakan untuk mengeksplorasi cara kerja sistem (Gjaldbaek & Haxthausen, 2003).

Strategi untuk memverifikasi prinsip-prinsip persinyalan untuk mengendalikan sistem *interlocking* kereta api juga telah dilakukan pemodelan yang ditulis dalam logika tangga (Kanso et al., 2009). Langkah penerjemahan juga telah diterapkan dan diuji pada contoh sistem *interlocking* kereta api secara riil. Adapun langkah-langkah penerjemahan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan model matematika sistem *interlocking* kereta api dengan penerjemahan logika tangga ke dalam model
2. Pengembangan kondisi verifikasi yang menjamin kebenaran kondisi keselamatan
3. Verifikasi kondisi keselamatan menggunakan *satisfiability solver*
4. Pembangkitan kondisi keselamatan dari prinsip persinyalan menggunakan model topologi stasiun kereta api

Meskipun demikian, kompleksitas komputasi akan tumbuh secara eksponensial ketika mencoba memverifikasi sistem yang saling terkait dengan penugasan yang semakin banyak.

Selain itu, pembuatan perangkat lunak untuk keselamatan fungsional transportasi kereta api juga telah dibuat dalam bentuk pemrograman versi-N, yang pertukaran datanya antar komponen pada sistem yang saling terkait bersifat intensif serta memerlukan dukungan protokol komunikasi yang aman (Eriş et al., 2013).

Pendekatan-pendekatan yang ada di pemodelan perkeretaapian dalam hal ini terhambat oleh kerangka kerja yang digunakan dalam pemodelan tersebut. Hal ini dikarenakan pemodelan dalam domain perkeretaapian melibatkan komponen berbasis peristiwa dan juga komponen berbasis negara. Apabila penggunaan kerangka kerja yang hanya berbasis peristiwa atau kerangka kerja yang berbasis negara saja akan berhasil dalam merepresentasikan komponen-komponen yang relevan, namun mengalami kesulitan dalam merepresentasikan komponen-komponen lain melalui pengkodean yang dilakukan (James et al., 2014).

Tantangan lain dalam pemodelan adalah banyak stasiun kereta api yang memiliki topologi yang tidak ideal. Dalam kasus seperti ini, pembuatan tabel *interlocking* sebagai bahan pemodelan menjadi

<https://doi.org/xx.xxxx/xxxx>

sulit, karena harus diselesaikan secara bertahap serta dapat memakan waktu yang lebih lama. Selain itu juga, algoritma yang diusulkan dalam literatur menjadi tidak berguna. Apabila kondisi seperti ini terjadi, maka pembuatan tabel *interlocking* otomatis untuk jalur kereta api blok tetap dengan topologi yang non-ideal juga mungkin agak sulit direalisasikan (Mutlu et al., 2013). Yang lebih mencengangkan lagi adalah kurangnya standar dalam metode konstruksi logika *interlocking* sehingga dapat menyebabkan pengembangan sistem kendali perkeretaapian menjadi semakin mahal (Kawalec & Rzyzko, 2015).

Dalam konteks pandangan yang disesuaikan dengan kondisi riil, maka diperlukan proses penyempurnaan pengembangan beberapa alternatif solusi yang memungkinkan untuk diimplementasikan. Diantara solusi pertama adalah diperlukan adanya perluasan jaring petri untuk mengurangi strategi pengendalian sistem *interlocking* kereta api. Sebenarnya proses penyempurnaan langkah demi langkah dalam pengembangan sifat keselamatan sistem *interlocking* blok bergerak atau yang dikenal dengan *Moving Block Interlocking System* (MBRIS) telah dilakukan, bahkan mulai abstraksi hingga properti keamanan berbasis fuzzy menggunakan Z dan kemudian bahasa spesifikasi multi agen fuzzy. Namun demikian kelemahan dari sistem ini adalah pengendalian satu dimensi pada kereta api yang melewati saklar dan perlintasan sebidang tidak dibahas. Padahal dalam proses kendali kereta satu dimensi adalah satu-satunya otoritas untuk mengendalikan saklar dan perlintasan sebidang yang diperlukan untuk pengoperasian yang diinginkan. Oleh karena itu diperlukan adanya konsep agen seluler dengan jaring Petri untuk mengembangkan jaring Petri seluler atau disebut sebagai *Mobile Petri Net* (MPN) yang diharapkan dapat mendukung mobilitas dan konkurensi. Dengan pemanfaatan MPN untuk memodelkan properti keselamatan MBRIS di sepanjang saklar dan perlintasan sebidang maka akan memberikan kontrol satu dimensi pada kereta api di sepanjang saklar dan perlintasan sebidang yang akan meningkatkan keamanan sistem *interlocking* kereta api (Khan et al., 2014).

Selain itu untuk mengatasi adanya kondisi beberapa stasiun kereta api yang memiliki topologi tidak ideal, misalnya jalur yang tidak diberi sinyal atau penggunaan saklar atau sinyal yang tidak standar maka diperlukan adanya tabel *interlocking* otomatis yang efisien dengan mempertimbangkan situasi tersebut. Hal ini dikarenakan sistem *interlocking* merupakan komponen pengambilan keputusan utama dari sistem persinyalan kereta api blok tetap, yang secara langsung bertanggung jawab untuk memastikan keselamatan pergerakan kereta api (Mutlu et al., 2013).

Analisis tentang tingkat keselamatan sistem kendali sinyal kereta api yang berbasis komputer, penggunaan datanya dalam pemodelan sistem keselamatan pun juga harus tetap dicermati secara perilaku. Hal ini dengan asumsi bahwa setiap data akan menggambarkan kondisi lapangan yang dihadapi. Dengan demikian perlu adanya logika orde tingkat tinggi yang berfungsi sebagai pengontrol berbasis data yang perilakunya dikendalikan oleh aturan yang disimpan dalam *database* geografis, seperti yang selama ini telah diperankan oleh *British Rail's Solid State Interlocking*. Kebenaran data yang terverifikasi adalah sangat penting dalam rangka memberikan jaminan keamanan dalam pengoperasian sistem, terlebih lagi dalam konteks kondisi *safety-critical system* (Morley, 1994).

Untuk menjamin keamanan dan keselamatan perjalanan kereta api, komponen terpenting dari sistem persinyalan adalah adanya proses saling mengunci. Hal tersebut karena sistem *interlocking* akan membantu pergerakan kereta api pada rute yang diinginkan dalam sistem persinyalan blok tetap. Langkah pertama dalam perancangan sistem *interlocking* adalah membuat tabel *interlocking*, lalu mengkompilasi data yang saling bertautan untuk stasiun skala kecil atau tergantung pada kebutuhan kereta api mungkin dapat diwujudkan

dengan mudah. Namun, ketika topologi stasiun rumit, pembuatan tabel *interlocking* yang sesuai menjadi sangat sulit. Dalam studi ini, dijelaskan sebuah program yang secara otomatis menghasilkan tabel yang saling bertautan untuk keadaan kereta api tertentu. Salah satu keuntungan utama dari program ini adalah, saklar dan lampu sinyal ditempatkan secara otomatis untuk stasiun atau jalur rel kereta api tertentu yang tergantung pada topologinya (Yildirim et al., 2012).

Salah satu tahapan dalam proses pembuatan tabel *interlocking* otomatis adalah diperlukan adanya uji laboratorium. Hal itu dilakukan dalam rangka melakukan proses simulasi operasional keselamatan kereta api, untuk memastikan bahwa kode *interlocking* yang dibuat dengan bantuan tabel tersebut telah berfungsi dengan benar atau belum.

Pembuatan kerangka model juga harus dikembangkan bersama-sama dengan para insinyur perkeretaapian. Tugas mereka adalah untuk memvalidasi model dan memverifikasi kondisi yang telah digambarkan dalam desain model pada saat simulasi untuk mendemonstrasikan program yang telah dibuat. Para insinyur perkeretaapian diharapkan dapat memberikan respon terhadap hasil uji tersebut yakni dengan cara memberikan masukan jika terjadi kesalahan baik dalam menggambarkan kondisi lapangan maupun pembuatan modelnya (James et al., 2014).

Yang tidak kalah pentingnya adalah perlu dipertimbangkan perhitungan keamanan, hasil pengujian, dan pengalaman dalam mengimplementasikan model untuk memastikan kebenaran sistem komputer yang digunakan dalam aplikasi penting pada saat *runtime* (Eriş et al., 2013) dan (Hartonas-Garmhausen et al., 1998).

Dinas kementerian India sebenarnya juga telah membangun sebuah teknologi *Train Collision Avoidance Sistem* (TCAS) atau yang biasa disebut teknologi Kavach. Teknologi ini merupakan sebuah sistem anti-tabrakan yang dikembangkan untuk mencapai tujuan "*zero accident*". Kavach memanfaatkan komunikasi radio frekuensi tinggi dan beroperasi dengan prinsip pembaruan gerakan secara terus menerus untuk mencegah tabrakan. Sistem ini menggunakan rem untuk menghindari tabrakan antara dua lokomotif yang dilengkapi dengan sistem kontrol yang memadai (Hardiansah, 2022).

Namun demikian, selain faktor teknis ada pula faktor non teknis sebagai penyebab terjadinya kecelakaan kerja, yaitu faktor manusia, karena sebagai subyek yang menjadi penentu dalam menjalankan sistem tersebut. Sehingga dalam sistem apapun termasuk untuk menjamin keselamatan transportasi kereta api juga diperlukan para ahli dalam bidang ergonomi/*human factor*, hal tersebut karena berdasarkan survey yang dilakukan oleh *International Ergonomic Association* bahwa anggota *ergonomics/human factor societies* terdiri dari berbagai disiplin ilmu, antara lain permesinan (*engineering*), ilmu pengetahuan (*science*), ergonomik, keselamatan kerja, psikologi, fisioterapi, kesehatan (*medicine*), terapi tempat kerja (*occupational therapy*), dan lain-lain. Lebih lanjut dikatakan bahwa anggota *International Ergonomic Association* terdiri dari sekitar 30% dari kalangan akademisi, 10% dari konsultan, dan 27% dari praktisi industri (Kothiyal, K., 2004).

Peranan ahli ergonomi/*human factor* diharapkan akan membantu dalam penyempurnaan proses perancangan sistem yang mudah, aman, dan nyaman dioperasikan oleh tenaga kerja. Selain berperan dalam perancangan sistem, diharapkan akan berkontribusi dalam membuat suatu prosedur kerja yang lebih aman dan nyaman, sehingga akan meningkatkan probabilitas keselamatan.

Dari telaah beberapa literatur didapatkan bahwa produktivitas kerja dalam konteks ini adalah prosentase kemungkinan terjadinya kecelakaan kereta akan banyak ditentukan oleh dua faktor utama, yaitu faktor teknis dan faktor manusia.

Adapun hasil identifikasi beberapa *potential hazards* pada kasus ini <https://doi.org/xx.xxxxx/xxxxx>

adalah sebagai berikut :

1. Kegagalan teknis pada sistem *interlocking*

Pada kasus kecelakaan kereta api ini, faktor prasarana berupa sistem *interlocking* semestinya memiliki mekanisme *fail-safe* untuk mencegah kecelakaan, yang jika terjadi kegagalan tertentu maka secara otomatis semua sinyal akan berubah menjadi merah dan semua operasi kereta akan berhenti, namun ternyata justru tidak berfungsi sehingga berakibat kereta keluar jalur. Kegagalan sistem mengindikasikan adanya masalah yang perlu diteliti lebih lanjut. Kemungkinan penyebab kegagalannya dikarenakan kerusakan kabel sistem elektronik akibat penggalian di area tersebut, korsleting, atau kegagalan mesin (KB Sahaki, 2023). Selain itu anti-*collision system* tidak berfungsi dengan baik padahal sistem ini merupakan sarana komunikasi dengan komponennya melalui frekuensi radio ultra-tinggi sementara pengembangan sistem berbasis 4G LTE sedang berlangsung. Fungsi sistem ini dapat memperingatkan masinis lokomotif dan mengendalikan rem serta menghentikan pergerakan kereta secara otomatis saat mengetahui ada kereta lain di jalur yang sama dalam jarak yang ditentukan, karena perangkat ini terus memantau pergerakan kereta api dan mengirimkan sinyal ke lokomotif, yang sangat membantu dalam operasional misal kondisi cuaca buruk seperti kabut. Prasarana lain juga perlu lebih diperhatikan, mungkin seperti kerusakan bantalan rel maupun kerusakan lainnya. Selain itu semua, faktor sarana keselamatan seperti pengereman, as roda rusak, *bearing* (gir) yang macet, kelebihan muatan, atau lainnya dapat juga terjadi karena suku cadang yang tidak sesuai standar.

2. Faktor *human error*

Selain faktor teknis adapula faktor non teknis yang sering kita kenal sebagai *human error*. Terdapat banyak faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya *human error* ini antara lain tidak terdapat standar operasional prosedur, tertidur, serta pengaturan tugas dinas perkeretaapian yang kurang baik (Augusthiko, 2019). Salah satu dugaan pada studi kasus ini ditengarai terjadi pada bagian pengontrol sistem *interlocking* yang kemungkinan disebabkan lalai karena petugas sedang mengalami kelelahan.

Upaya pencegahan yang dapat dilakukan agar kecelakaan serupa tidak terjadi lagi di masa yang akan datang, oleh karena itu diperlukan *preventive procedure* sebagai berikut:

1. Pencegahan kegagalan teknis pada prasarana kereta api.

Perlu dilakukan investigasi dan analisis secara komprehensif dari seluruh sistem serta penyebab yang mengindikasikan terjadinya *error* saat kecelakaan tersebut. Adanya teknologi *Train Collision Avoidance System* (TCAS) atau Kavach harus didukung oleh setidaknya lima elemen teknologi, mulai dari relay based, UHF radio, RFID, GSM, dan GPS. relay based berfungsi sebagai interface antara sistem kavach dan *interlocking*. UHF radio berfungsi mengkomunikasikan informasi pensinyalan fixed ke lokomotif dan posisi lokomotif ke stasiun. RFID berfungsi memberikan lokasi dari rel ke lokomotif, GSM untuk radio *security*, dan GPS sinkronisasi waktu. Kelima sistem tersebut berfungsi untuk mencegah tabrakan antar kereta, karena sudah terdapat sistem anti-tabrakan kereta yang disebut sistem Kavach. Sistem ini dikembangkan oleh Organisasi Desain dan Standar Penelitian (RDSO) untuk mencapai tujuan "nol kecelakaan". Kavach memanfaatkan komunikasi radio frekuensi tinggi dan beroperasi dengan prinsip pembaruan gerakan untuk mencegah tabrakan. Sistem ini secara otomatis mengaktifkan rem untuk menghindari tabrakan antar dua lokomotif.

Selain melakukan pemeriksaan kondisi sistem *interlocking*, juga perlu adanya pengembangan sistem yang menjamin keselamatan saat *runtime*. Diantaranya yang berhubungan dengan bahasa pemrograman dalam pemodelan harus disesuaikan dengan

topologi stasiun maupun jalur. Rancangan sistem harus lebih adaptif ketika terjadi penyimpangan atas perintah bersyarat terutama pada kondisi *safety-critical system* saat *runtime*, tujuannya agar dapat memverifikasi kondisi keselamatan menggunakan satisfiability solver, satu contoh diantaranya adalah terbebas dari tabrakan. Dengan demikian sistem tersebut akan dapat melakukan *self control* lebih sempurna untuk menjamin keamanan dan keselamatan kereta api.

Disamping itu juga perlu dilakukan perhitungan ulang tentang keamanan, hasil pengujian, serta pengalaman implementasi model untuk memastikan kebenaran sistem saat *runtime*.

Sedangkan prasarana lain yang perlu dilakukan investigasi dan pengujian ulang adalah terkait dengan teknologi jalan rel.

2. Langkah *preventive* untuk mencegah terjadinya *human error*.

Human error dapat dicegah dengan beberapa cara. Untuk masinis pada saat sebelum pemberangkatan terlebih dahulu dilakukan *medical check up* di titik awal pemberangkatan. Hal ini untuk memastikan masinis siap menjalankan kereta api dengan baik dan benar sesuai prosedur. Selain itu, langkah antisipatif agar tampak rekam jejak kesiapan masinis dalam bertugas melanjutkan perjalanan ke stasiun berikutnya mungkin juga diperlukan adanya instrumen *assessment* kecil di setiap stasiun pemberhentian kereta api untuk mengukur tingkat kelelahan baik fisik maupun mental yang dialami masinis, sehingga dapat diprediksi layak atau tidaknya masinis dalam menjalankan kereta api sampai pada stasiun berikutnya.

Perlakuan lain pada masinis saat dalam perjalanan, hendaknya melakukan relaksasi otot untuk mengurangi ketegangan, agar senantiasa dalam kondisi prima secara kontrol motorik yang akan berpengaruh secara fisik maupun psikologis untuk menghindari terjadinya *human error* yang menjadi faktor utama terjadinya kecelakaan.

Sedangkan untuk menjamin kinerja operator sistem prasarana, hendaknya diberikan *treatment* secara berkala untuk menghilangkan kebosanan maupun penurunan konsentrasi dalam mengontrol perjalanan kereta api. Jumlah petugas pengatur perjalanan kereta api mungkin juga perlu ditambah lebih dari satu orang dalam satu *shift*, hal ini untuk memastikan kepada operator pengatur perjalanan kereta api dapat saling mengontrol apabila salah satu dari operator terjadi gangguan fisik maupun mental, termasuk kelelahan akibat kerja. Dengan adanya pendamping tersebut diharapkan dapat saling menjaga agar *awareness* tetap prima, sehingga dapat bekerja dengan baik dalam bertugas sebagai pengontrol perjalanan kereta api dan keselamatan perjalanan kereta api pun juga terjamin.

Secara umum tingkat kelelahan yang berhasil diketahui sebelum proses pemberangkatan kereta api akan dijadikan sebagai dasar untuk memberikan keputusan kepada masinis dan operator apakah layak mengendalikan kereta api atau tidak layak. Apabila hasil pengukuran kelelahan menunjukkan pada standar yang tidak memungkinkan untuk mengendalikan kereta, maka pihak yang berwenang bisa melakukan proses rotasi (penggantian) masinis maupun operator yang akan mengendalikan kereta api. Hal ini perlu dilakukan secara *preventive* agar memberikan jaminan bahwa kondisi masinis dan operator siap bekerja dalam keadaan segar, bugar, aman, dan nyaman untuk menjamin keselamatan kereta api.

teridentifikasi sebagai *potential hazard* faktor penyebab kecelakaan kereta Coromandal Express dan Howrah Express. Penyebab teknis kecelakaan dari prasarana adalah adanya sistem *interlocking* yang tidak berfungsi sehingga mengakibatkan kereta keluar jalur. Sistem *interlocking* seharusnya memiliki mekanisme *fail-safe* yang jika terjadi kegagalan tertentu maka secara otomatis semua sinyal akan berubah menjadi merah dan semua operasi kereta akan berhenti. Dengan demikian diperlukan adanya proses verifikasi dan validasi ulang terhadap bahasa pemrograman yang telah dimodelkan, melibatkan verifikasi untuk menjamin bebas dari tabrakan, penggelinciran, maupun lainnya. Diantara upaya untuk pencegahan terjadinya kecelakaan kereta api antara lain perlu dilakukan investigasi dan analisis secara komprehensif dari seluruh sistem termasuk *Train Collision Avoidance System* (TCAS) serta penyebab lainnya yang mengindikasikan terjadinya *error* saat kecelakaan terjadi. Karena teknologi ini sebenarnya merupakan sebuah sistem anti-tabrakan yang dikembangkan untuk mencapai tujuan "*zero accident*". Pada saat *runtime* kereta api, terdapat beberapa cara pencegahan kecelakaan yaitu dengan cara penggunaan monitor keselamatan berbasis aturan yang mengamati sistem untuk mengetahui adanya penyimpangan atau kesalahan terhadap keselamatan. Semestinya kesalahan tersebut bisa teridentifikasi dalam kondisi *safety-critical system* saat diterapkan di lapangan, misalnya tidak adaptif terhadap perbedaan topologi stasiun maupun jalur yang dilewati. Manfaatnya bukan hanya sekedar menghilangkan sumber masalah yang sangat serius, tetapi juga dapat membuat proses debug sistem jauh lebih murah. Oleh karena itu, agar dapat melakukan *self control* dengan baik diperlukan adanya verifikator *interlocking* sistem kritis keselamatan kereta api. Selain sistem *interlocking* perlu juga dilakukan pemeriksaan kondisi prasarana lainnya seperti jalan rel, dan lain-lain. Sedangkan faktor sarana juga perlu dilakukan investigasi, diantaranya menyangkut pada sistem pengereman maupun lainnya.

Adapun faktor non teknis diduga adanya *human error* pada operator pengontrol *interlocking* maupun juga diduga terjadinya kelalaian masinis dalam membaca indikator pengontrol perjalanan kereta api. Langkah preventif dapat dilakukan dengan beberapa cara, untuk masinis pada saat sebelum pemberangkatan terlebih dahulu dilakukan *medical check up* di titik awal pemberangkatan untuk memastikan masinis siap menjalankan kereta api dengan baik dan benar sesuai prosedur. Selain *medical check up* perlu adanya instrumen *assessment* kecil di setiap stasiun transit pemberhentian kereta api untuk mengukur tingkat kelelahan baik fisik maupun mental yang dialami masinis, sehingga dapat diprediksi layak atau tidaknya masinis dalam menjalankan kereta api sampai pada stasiun berikutnya. Selain masinis, faktor *human error* lainnya yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan yaitu kinerja operator sistem prasarana *interlocking*, hendaknya diberikan *treatment* secara berkala untuk menghilangkan kebosanan maupun penurunan konsentrasi dalam mengontrol perjalanan kereta api. Meskipun *treatment* dilakukan, masih mungkin terjadi adanya kelelahan operator, untuk itu adanya pendamping operator diharapkan dapat saling menjaga agar *awareness* tetap prima, agar dapat bekerja dengan baik sebagai pengontrol perjalanan kereta api untuk menjamin keselamatan.

Secara umum variabel kelelahan dapat dijadikan sebagai dasar untuk memberikan keputusan kepada masinis dan operator apakah layak mengendalikan kereta api atau tidak layak. Hal ini dilakukan secara *preventive* untuk memberikan jaminan bahwa kondisi masinis dan operator siap bekerja dalam keadaan segar, bugar, aman, dan nyaman untuk menjamin keselamatan kereta api.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis literatur dan hasil dari pembahasan disimpulkan bahwa ada beberapa hal yang patut diduga <https://doi.org/xx.xxxxx/xxxxx>

REFERENSI

Adjetey-bahun, K., Birregah, B., & Planchet, J. (2016). A model to

- quantify the resilience of mass railway transportation systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 34(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.res.2016.03.015>
- Aria, N. (2023). Mengungkap Fakta Kecelakaan Kereta di India, Kenapa Sering Keluar Jalur?. Diakses 06 Juni 2023. <https://news.okezone.com/read/2023/06/05/18/2825467/meng-ungkap-fakta-kecelakaan-kereta-di-india-kenapa-sering-keluar-jalur>
- Augusthiko, M G dan Pratiwi, H. (2019). Pengembangan Sistem Kendali Palang Pintu Kereta Berbasis Mikrokontroler. In: Seminar Nasional Sains dan Teknologi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta tanggal 16 Oktober 2019. TINF-019 p. 1-4.
- Budiono, S., dkk. (2003). Bunga Rampai Hiperkes dan Keselamatan Kerja. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Darmawan. (2001). Teknologi Jalan Rel (p. 109-137; 147-152). Edisi Pertama. Bandung: Jatayu Dalam II/5.
- Dewitri, K. (2023). Ini Penjelasan Penyebab Kecelakaan Kereta Api Maut di India. Diakses 07 Juni 2023. <https://kabar24.bisnis.com/read/20230606/19/1662646/ini-penjelasan-penyebab-kecelakaan-kereta-api-maut-di-india>
- Eriş, O., Anik, V. G., Yildirim, U., Söylemez, M. T., & Kurtulan, S. (2013). Comparison of the parallel and serial architectures for n-version programming as applied to railway interlocking systems. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 1(PART 1), 60–64. <https://doi.org/10.3182/20130916-2-tr-4042.00032>
- Firman, F dan Rahayu, T. (2006). Evaluasi Kualitas Pelayanan Jasa Transportasi Kereta Api dengan Pendekatan Ergonomi Makro (Studi Kasus Analisis Sistem Kerja di Dipo Lokomotif Jatinegara). In: Seminar Nasional Ergonomi – Keselamatan & Kesehatan Kerja 2006. Jurusan Teknik Industri – FTI ITS.
- Gjaldback, T., & Haxthausen, A. E. (2003). Modelling and verification of interlocking systems for railway lines. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 36(14), 233–238. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)32425-4](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)32425-4)
- Hardiansah, A. (2022). Inilah Kavach, Teknologi Asli India Cegah Dua Kereta Tabrakan”. Diakses 17 maret 2022. <https://www.kabarpemupang.com/inilah-kavach-teknologi-asli-india-cegah-dua-kereta-tabrakan/>
- Hartonas-Garmhausen, V., Campos, S., Cimatti, A., Clarke, E., & Giunchiglia, F. (2000). Verification of a safety-critical railway interlocking system with real-time constraints. *Science of Computer Programming, volumes 36 (2000)*, 53–64. [https://doi.org/10.1016/S0167-6423\(99\)00016-7](https://doi.org/10.1016/S0167-6423(99)00016-7)
- Haupt, N. B., & Liggesmeyer, P. (2019). A Runtime Safety Monitoring Approach for Adaptable Autonomous Systems. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 11699 LNCS(August), 166–177. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26250-1_13
- James, P., Moller, F., Nga Nguyen, H., Roggenbach, M., Schneider, S., & Treharne, H. (2014). On modelling and verifying railway interlockings: Tracking train lengths. *Science of Computer Programming*, 96(P3), 315–336. <https://doi.org/10.1016/j.scico.2014.04.005>
- Kanso, K., Moller, F., & Setzer, A. (2009). Automated Verification of Signalling Principles in Railway Interlocking Systems. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 250(2009), 19–31. <https://doi.org/10.1016/j.entcs.2009.08.015>
- Kawalec, P., & Rzyzsko, M. (2015). Algorithms and hardware description languages in railway interlocking logic design. *IFAC-PapersOnLine*, 28(4), 498–503. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.07.084>
- KB., Sahaki. (2023). Kecelakaan kereta api di India: diduga kegagalan sistem manajemen jalur elektronik. Diakses 05 Juni 2023. <https://www.kabarbuana.com/global/9069035722/kecelakaan-kereta-di-india-diduga-kegagalan-sistem-manajemen-jalur-elektronik>
<https://doi.org/xx.xxxxx/xxxxx>
- Khan, S. A., Zafar, N. A., Ahmad, F., & Islam, S. (2014). Extending Petri net to reduce control strategies of railway interlocking system. *Applied Mathematical Modelling*, 38(2), 413–424. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.06.002>
- Klein, P. (1991). The safety-bag expert system in the electronic railway interlocking system elektra. *Expert Systems With Applications*, 3(4), 499–506. [https://doi.org/10.1016/0957-4174\(91\)90175-E](https://doi.org/10.1016/0957-4174(91)90175-E)
- Kothiyal, K. (2004). Ergonomics, Productivity and Safety. USA: School of Safety Science.
- Kountur, R. (2005). Metode Penelitian untuk Penulisan Skripsi dan Tesis. Jakarta: PPM.
- Ninditya, F. (2023). Kecelakaan kereta di India terjadi akibat perubahan interlocking. Diakses pada 05 juni 2023. <https://www.antaraneews.com/berita/3571875/kecelakaan-kereta-di-india-terjadi-akibat-perubahan-interlocking>
- Morley, M. J. (1994). Safety in railway signalling data: A behavioural analysis. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 780 LNCS(January), 464–474. https://doi.org/10.1007/3-540-57826-9_156
- Mutlu, I., Yildirim, U., Durmuş, M. S., & Söylemez, M. T. (2013). Automatic interlocking table generation for non-ideal railway yards. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 1(PART 1), 55–59. <https://doi.org/10.3182/20130916-2-tr-4042.00035>
- OHSAS (Occupational Health and Safety Assessment Series) 18001. (2007). Occupational Health and Safety Management Sistem Requirements
- Ouh, Yoon-Bae et al., (1987). Factors Which Hinder or Help Productivity Improvement, Country Report-Korea, Alih bahasa oleh S. Peka: Faktor Pendukung dan Penghambat Produktivitas (p.70). Jakarta: Lembaga Sarana Informasi dan Produktivitas.
- Rizkika, S.; Restuastuti, T.; dan Fatmawati., (2014). Hubungan Pengetahuan dan Sikap Petugas Laboratorium Patologi Klinik Terhadap Penerapan *Standard Operating Precedures (SOP)*. Penangan Bahan Infeksius di RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Riau*, 1(2), 1-11.
- Sheptiany, C., (2023). Kesalahan sistem persinyalan jadi penyebab kecelakaan di India. Diakses 04 juni 2023. <https://www.metrotvnews.com/play/kELC1aLm-kesalahan-sistem-persinyalan-jadi-penyebab-kecelakan-kereta-di-india>
- Sucipto, C., (2014). Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Yogyakarta: Gosyen Publishing.
- Szabó, G., & Tárnái, G. (2000). Automatic Fault-Tree Generation as a Support for Safety Studies of Railway Interlocking Systems. *IFAC Proceedings Volumes*, 33(9), 437–442. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)38183-1](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)38183-1)
- Tutmez, B., & Baranovskii, A. (2019). Quantifying uncertainty in railway noise measurement. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 137(April), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.024>
- Wignjosobroto, S., (2006). Ergonomi-Studi Gerak dan Waktu, Teknik Analisis untuk Peningkatan Produktivitas Kerja (p. 9). Edisi Pertama Cetakan keempat. Surabaya: Guna Widya.
- Yildirim, U., Durmuş, M. S., & Söylemez, M. T. (2012). Automatic interlocking table generation for railway stations using symbolic Algebra. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 45(24), 171–176. <https://doi.org/10.3182/20120912-3-BG-2031.00035>
- Zed, M. (2003). Metode Penelitian Kepustakaan. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.

BIOGRAFI PENULIS



Imaduddin Bachtiar Efendi, ST, MT

Dosen Teknik Industri di Universitas Islam Majapahit di Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur. Bidang Keilmuan yang diminati ada beberapa, diantaranya adalah: Occupational Health and Safety, Ergonomics, Industrial Ecology, Industrial Phsycology.

Alamat kantor : Jln. Raya Jabon No. KM.07,Tambak Rejo, Gayaman, Kec. Mojoanyar, Kabupaten Mojokerto.

Email : imaduddinbe@gmail.com



Dr. Emma Budi Sulistiarini, ST.,MT.,IPM.

Lahir di kabupaten Trenggalek, besar di kota Malang Jawa Timur, merupakan Doktor Teknik Industri Manufaktur. Bidang keilmuan yang diminati adalah tentang *Industrial*

Engineering and Management, *Ergonomics and Product Development*, *Sustainable Development*. Pada saat ini bekerja sebagai dosen LLDIKTI VII di **Universitas Widyagama Malang**.

Alamat kantor : Jl. Borobudur Nomor 35 Malang, Jawa Timur, Indonesia.

emma_budi@widyagama.ac.id

emma.budi.sulistiarini@gmail.com