



PENILAIAN KERAWANAN PERLINTASAN SEBIDANG BERDASARKAN TIPOLOGI PENGAMAN DI KOTA PADANG

RIFAN FATHURRAHMAN^{1*}, DEWANTI², SIGIT PRIYANTO³

¹ Magister Sistem dan Teknik Transportasi, Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, D.I. Yogyakarta

² Magister Sistem dan Teknik Transportasi, Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, D.I. Yogyakarta

³ Magister Sistem dan Teknik Transportasi, Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, D.I. Yogyakarta

*Corresponding Author: rifanfathurrahman1996@mail.ugm.ac.id

Naskah diterima: 9 Mei 2026. Disetujui: 25 Juni 2026. Diterbitkan: 31 Juli 2026

ABSTRAK

Perlindungan sebidang masih menjadi titik rawan kecelakaan karena mempertemukan pergerakan kereta api dan kendaraan jalan dalam satu ruang konflik. Di Indonesia tercatat 1.499 kejadian kecelakaan pada 2020–2024, atau sekitar 24 kejadian per bulan. Pada periode yang sama, Kota Padang mencatat 107 kejadian, dengan mobil sebagai kendaraan yang paling dominan terlibat. Tingkat kerawanan dipengaruhi oleh kondisi infrastruktur, visibilitas, geometrik pendekat, frekuensi kereta api, volume lalu lintas, serta konsekuensi kecelakaan. Penilaian yang selama ini lebih banyak bertumpu pada inventarisasi dan riwayat kejadian perlu dilengkapi dengan pendekatan berbasis risiko. Penelitian ini menawarkan novelty berupa penerapan Australian Level Crossing Assessment Model (ALCAM) untuk membandingkan tipologi pengamanan perlintasan sebidang di Kota Padang. Tiga lokasi studi mewakili karakteristik pengamanan yang berbeda, yaitu Jalan Pulai tanpa portal pengamanan, EWS 02 dengan sistem peringatan dini tanpa portal pengamanan, dan JPL 10 dengan portal pengamanan dan sistem peringatan dini. Data diperoleh melalui observasi, wawancara lapangan, survei volume lalu lintas, serta data sekunder frekuensi kereta api dan riwayat kecelakaan dari PT Kereta Api Indonesia Divre II. Skor risiko dihitung berdasarkan faktor infrastruktur, paparan, dan konsekuensi untuk memperoleh tingkat kerawanan, estimasi kecelakaan, fatalitas, serta faktor pemicu. Hasil menunjukkan bahwa Jalan Pulai memiliki risiko tertinggi sebesar 0,21059 dengan estimasi kecelakaan dalam 1 tahun, EWS 02 berada pada risiko sedang sebesar 0,10039 dengan estimasi 2 tahun, sedangkan JPL 10 memiliki risiko terendah sebesar 0,04721 dengan estimasi 4 tahun. Temuan ini menegaskan bahwa kelengkapan infrastruktur dan keberadaan portal pengamanan berperan penting dalam menurunkan risiko kecelakaan, terutama pada perlintasan bervolume tinggi.

Kata kunci : *Early Warning System*, Model ALCAM, Perlindungan Sebidang, Kecelakaan, Penilaian Risiko

1. PENDAHULUAN

Perlindungan sebidang masih menjadi titik kritis konflik yang mempertemukan jalur kereta api dan jalan di bidang jalan yang sama (*at grade*). Dua moda transportasi dengan karakteristik operasional yang berbeda, dimana kereta api memiliki ukuran, massa, kecepatan, dan jarak pengereman yang jauh dibandingkan kendaraan jalan raya, sehingga jika terjadi tabrakan di perlindungan sebidang dapat menghasilkan konsekuensi fatalitas yang berat. Persoalan keselamatan di perlindungan sebidang menjadi lebih kompleks karena di pengaruhi oleh pertumbuhan volume lalu lintas kendaraan, urbanisasi yang cepat, serta tingginya jumlah perlindungan yang tidak dijaga (Kebonsari et al., 2020).

Angka kecelakaan secara nasional tercatat pada periode 2020-2024 sebesar 1.499 kecelakaan dengan 1.226 korban dengan pengguna dominan yaitu kendaraan roda dua (PT. KAI, 2024). Dampak dari kejadian kecelakaan berupa meninggal dunia, luka berat, dan luka ringan yang cukup besar. Pada tahun 2025 terdapat lebih dari 3.000 perlindungan yang ada belum memiliki fasilitas pengaman standar dan sekitar 1.500 perlindungan liar yang tidak terdaftar (Direktorat Keselamatan, 2025). Dalam konteks Padang kejadian kecelakaan dengan kereta api cukup tinggi, tercatat 107 kecelakaan pada periode 2020-2024 dengan kecelakaan didominasi oleh mobil (BTP Kelas II Padang, 2025).

Permasalahan di perlindungan sebidang tidak hanya berkaitan dengan kejadian kecelakaan, tetapi berhubungan dengan faktor infrastruktur, teknis, dan operasional. Keselamatan di perlindungan sebidang dipengaruhi oleh karakteristik fisik, fasilitas pengaman, kecepatan kereta, geometrik jalan dan perilaku pengguna (Read et al., 2021). Pengaruh kondisi geometrik, seperti pendekatan yang curam dapat meningkatkan risiko kendaraan kesulitan dan tersangkut saat menyebrang di atas rel (Budiharjo et al., 2024). Selain itu, meski perlindungan tersebut merupakan perlindungan resmi yang dijaga kecelakaan masih dapat terjadi, contohnya pada perlindungan yang sudah menggunakan peringatan aktif berupa *early warning system* yang dilengkapi sirine dan lampu kepatuhan pengguna jalan masih rendah (Pujindasiwi et al., 2023). Faktor lain yang mempengaruhi adalah perilaku tidak disiplin, seperti menerobos portal pengaman dan berjalan di lajur yang berlawanan (Kamila et al., 2023).

Dalam konteks Padang, di lintas Padang-Pauh Lima lebih banyak perlindungan yang resmi yang tidak dijaga dan perlindungan liar, serta beberapa perlindungan yang belum memenuhi standar fasilitas keselamatan sesuai dengan peraturan (Nugroho et al., 2021). Hal ini diperkuat dengan beberapa lokasi di Padang rawan kecelakaan tinggi yang dipengaruhi kondisi jalan, kapasitas dan geometrik jalan, serta kurangnya fasilitas keselamatan (Puspa Handayani & Triyatno, 2020). Penerapan *early warning system* di Padang di dasari oleh Surat Direktorat Keselamatan Perkeretaapian (2021) tentang Rekomendasi Penataan Perlindungan Sebidang di Lintas Padang-Pariaman Di Kota Padang terdapat variasi tipologi pengamanan, perlindungan dengan portal pengaman, perlindungan dengan *early warning system* tanpa portal pengaman, dan perlindungan tanpa portal pengaman. .

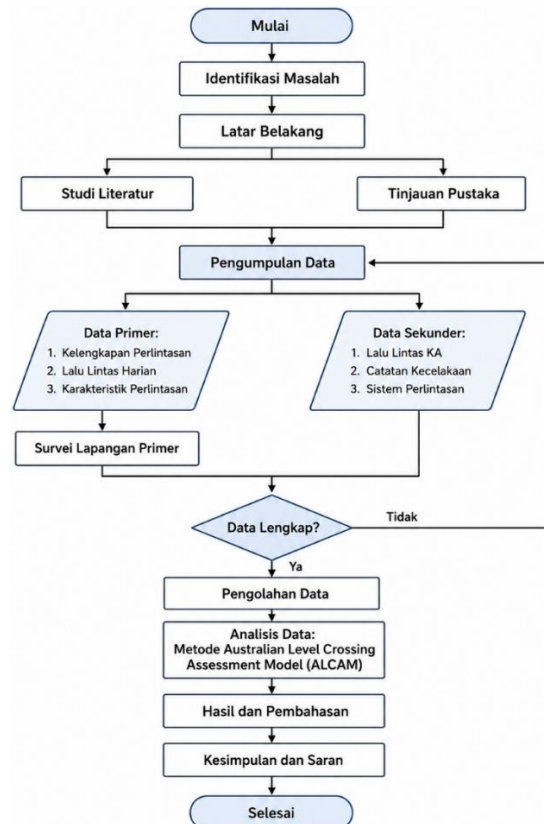
Evaluasi perlindungan sebidang di Padang didasari pada inventarisasi kondisi perlindungan sebidang dan jumlah kecelakaan yang terjadi, sehingga menunjukkan pendekatan yang masih berupa reaktif, dimana dilakukan evaluasi saat sudah terjadi kecelakaan. Begitu pula penelitian yang memetakan lokasi rawan kecelakaan berdasarkan jumlah korban pada lokasi yang telah mengalami kejadian kecelakaan dengan metode *Equivalent Accident Number* yang bersifat reaktif (Puspa Handayani & Triyatno, 2020). Serta meninjau keselamatan perlindungan sebidang dengan membandingkan standar keselamatan berdasarkan peraturan mengenai perlindungan sebidang di Indonesia dan belum ada yang membahas tipologi tingkat

perlindungan dengan tiga jenis, infrastruktur dan paparan lalu lintas di Kota Padang. Namun, belum terdapat penelitian yang membahas mengenai penilaian kerawanan perlindungan sebidang yang menggunakan *early warning system*.

Penilaian risiko dilakukan menggunakan *Australian Level Crossing Assessment Model* (ALCAM) yang menilai risiko perlindungan berdasarkan kombinasi faktor infrastruktur, faktor paparan lalu lintas, karakteristik operasional kereta, serta dampak/konsekuensi kecelakaan. Penelitian sebelumnya yang menerapkan ALCAM dalam penilaian risiko terdapat di Yogyakarta yang melakukan penilaian risiko pada JPL 739 jalan HOS Cokroaminoto (Juliyanto, 2025) dan penggunaan ALCAM untuk analisis risiko di perlindungan sebidang di medan resmi dan tidak resmi yang menemukan perlindungan resmi berportal justru memiliki *risk score* lebih tinggi dibanding dengan tanpa portal karena dipengaruhi kedekatan dengan persimpangan jalan dan volume lalu lintas yang tinggi (Hamdani, 2025). Pada penelitian ini bertujuan menilai dan membandingkan tingkat risiko kecelakaan pada perlindungan sebidang dengan variasi tipe pengamanan di Kota Padang yang salah satunya menempatkan *early warning system* yang merupakan peringatan aktif yang menggunakan audio (sirine) dan visual (lampu) untuk memberi peringatan kepada pengguna jalan bahwa terdapat perlindungan sebidang.

2. METODE PENELITIAN

Flowchart merepresentasikan tahapan penelitian dari identifikasi masalah, latar belakang, studi literatur dan tinjauan pustaka, data primer dan sekunder, analisis *Australian Level Crossing Assessment Model*. Gambar 1 menunjukkan *flowchart* yang juga menjelaskan interpretasi hasil, pembahasan, serta kesimpulan dan saran



Gambar 1 *Flowchart* Penelitian

Penelitian ini menggunakan *Australian Level Crossing Assessment Model* yang merupakan pendekatan sistematis untuk menilai tingkat risiko keselamatan pada perlintasan sebidang secara kuantitatif dengan mengintegrasikan tiga komponen yaitu faktor infrastruktur, faktor paparan, dan faktor konsekuensi. Ketiga komponen tersebut dikombinasikan melalui formulasi matematis untuk menghasilkan nilai risiko ALCAM disajikan pada Persamaan 1 (National ALCAM Committee, 2016). Data diperoleh melalui survei lapangan terstruktur yang mencakup pengamatan langsung terhadap kondisi fisik perlintasan, jenis perangkat pengaman yang ada, visibilitas pengemudi, serta volume lalu lintas kendaraan dan geometri jalan.

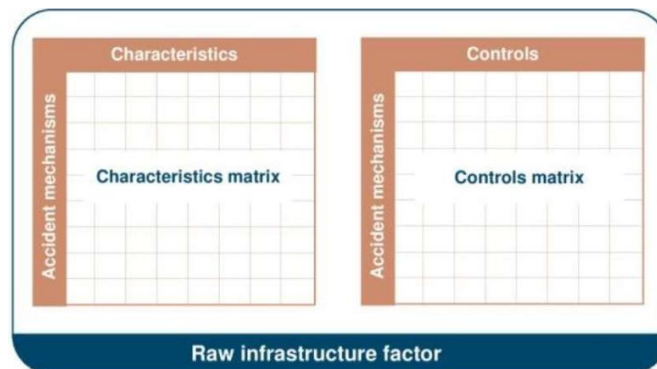
$$\text{Risk Score} = \text{Infrastructure Factor} \times \text{Exposure factor} \times \text{Consequence factor} \quad (1)$$

2.1. Infrastructure Factor

Faktor ini diperoleh melalui proses evaluasi berbasis algoritma yang digunakan untuk menilai pengaruh kondisi fisik perlintasan dan operasional perlintasan terhadap perilaku pengguna jalan. Komponen ini dinyatakan sebagai nilai scalar yang menunjukkan tingkat pengaruh karakteristik fisik dan operasional perlintasan terhadap perilaku pengguna jalan disajikan dalam Persamaan 2 (National ALCAM Committee, 2016).

$$\text{Infrastructure Factor} = \text{Raw Infrastructure Factor} \times \text{Infrastructure Modifier} \quad (2)$$

Raw infrastructure factor merupakan angka dasar yang dihasilkan dari penjumlahan kontribusi masing-masing variable fisik pada suatu perlintasan sebidang yang mencakup karakteristik dan kontrol lokasi yang mempengaruhi kemungkinan terjadinya kecelakaan. Angka dihitung dengan menggunakan matriks hubungan antara karakteristik dan kontrol perlintasan terhadap berbagai mekanisme kecelekaan di perlintasan sebidang. yang di jelaskan dalam pedoman ALCAM (National ALCAM Committee, 2016). Gambar 1 menunjukkan matriks hubungan *raw infrastructure factor*.



Gambar 2. Matriks Raw Infrastructure Factor

Accident mechanism didapatkan melalui matriks pembobotan karakteristik, atribut fisik, teknis dan operasional perlintasan sebidang. Nilai yang didapat digunakan untuk memperkirakan peluang tabrakan secara keseluruhan dengan mempertimbangkan munculnya mekanisme kecelakaan. Mekanisme tersebut dikelompokkan dalam tiga kategori utama yaitu :

- 1) *Unaware*, tidak menyadari adanya kondisi berbahaya;
- 2) *Unable*, menyadari adanya bahaya, tetapi tidak mampi menghindarinya; dan

- 3) *Unwilling*, menyadari adanya bhaya, tetapi tetap memilih untuk melanggar peringatan.

Infrastructure modifier diperoleh melalui persamaan linear yang mengkorelasikan data kecelakaan dan karakteristik perlintasan sebidang selama sekitar 10 tahun, yang umumnya nilai ini didapatkan dengan penggunaan *software* LXM ALCAM. Namun, karena keterbatasan akses nilai *infrastructure modifier* didapatkan dengan mengadopsi dari referensi dan ekivalensi pada laporan ALCAM dengan mencocokkan fasilitas pengamanan dengan di lokasi studi.

2.2. Exposure Factor

Komponen ini menggambarkan intensitas interaksi antara frekuensi kereta api dan volume lalu lintas pengguna jalan. Faktor paparan dalam keselamatan perlintasan sebidang dapat diartikan sebagai fungsi yang dipengaruhi oleh jenis sistem pengendalian serta volume lalu lintas kendaraan dan frekuensi kereta api. Dalam analisis kuantitatifnya faktor paparan dihitung dengan menggunakan *Peabody-Dimmick* Formula, dengan Persamaan 3 dan 4 (Pasha et al. 2020).

$$A5 = (lu + K) \times \text{Adjustment Factor} \quad (3)$$

$$lu = 1,28 \times (V^{170}) \times (T^{0,151}) / P \quad (4)$$

A5 merupakan estimasi kecelakaan dalam jangka waktu 5 tahun, *unbalanced factor* (lu) yaitu komponen ketidakseimbangan volume kendaraan dan frekuensi kereta, K Adalah parameter tambahan sebagai faktor koreksi yang didapatkan dari grafik yang terdapat pada pedoman ALCAM (National ALCAM Committee, 2016), V adalah volme kendaraan yang melintasi perlintasan sebidang, T merupakan frekuensi kereta dan P merupakan koefisien proteksi yang merefleksikan tingkat pengamanan yang nilainya didapatkan berdasarkan penelitian Pasha et al. (2020).

Adjustment factor digunakan untuk merepresentasikan kondisi aktual dimana nilai ini didapatkan dari *software* LXM ALCAM yang mana merupakan pengembangan di Australia dan Selandia Baru menggunakan data kecelakaan periode 10 tahun. Dikarenakan keterbatasan tersebut sehingga digunakan pendekatan kalibrasi local dengan menggunakan *Safety Performance Function* untuk menghasilkan estimasi tingkat kecelakaan yang representative terhadap kondisi actual di wilayah perlintasan. Rumus kalibrasi pada Persamaan 5 (Aziz & Dissanayake, 2015). Penggunaan *Safety Performance Function* (SPF) di suatu wilayah memerlukan proses kalibrasi agar distribusi kecelakaan yang digunakan sesuai dengan kondisi lokal dan periode waktu terkini. Dalam penelitian ini, nilai *calibration factor* lokal dihitung berdasarkan total kecelakaan pada tiga perlintasan sebidang di Padang selama periode 2020–2024 sebanyak 5 kejadian, dengan total nilai prediksi kecelakaan berdasarkan model *Peabody-Dimmick* sebesar 33,31. Hal ini didukung penelitian di Zambia dimana model prediksi keselamatan memerlukan penyesuaian faktor local (N'cube et al., 2025).

$$C = \frac{\text{observed crashes}}{\text{predicted crashes}} \quad (5)$$

2.3. Consequence Factor

Komponen ini merupakan parameter yang menggambarkan tingkat keparahan dampak yang mungkin timbul akibat suatu kecelakaan di perlintasan sebidang. Untuk memudahkan

proses kuantifikasi dan perbandingan antar kejadian, seluruh tingkat cedera tersebut kemudian dikonversi ke dalam satuan ekuivalen kematian per tabrakan. Konversi ini dilakukan dengan menerapkan rasio bobot yang telah ditetapkan, yaitu 1 untuk satu kematian, 1/10 untuk satu cedera serius, dan 1/200 untuk satu cedera ringan. Disajikan pada Persamaan 6 dan 7 (National ALCAM Committee, 2016).

$$\text{Equivalent Fatality} = \text{Fatality} + \frac{1}{10} \text{Major injuries} + \frac{1}{200} \text{Minor injuries} \quad (6)$$

$$\text{Consequence Factor} = \frac{\text{Equivalent Fatality}}{\text{Jumlah Kecelakaan}} \quad (7)$$

2.4. Output ALCAM

Hasil keluaran dari ALCAM berupa peluang kecelakaan (*likelihood*) yang merupakan probabilitas tahunan terjadinya kecelakaan di perlintasan sebidang tertentu. Didapat dari Persamaan 8 (National ALCAM Committee, 2016).

$$\text{Likelihood} = \text{Infrastructure Factor} \times \text{Exposure Factor} \quad (8)$$

Years Between Collisions merupakan estimasi rata-rata jumlah tahun antara satu kejadian tabrakan dengan tabrakan berikutnya di suatu perlintasan sebidang. Rumusnya pada Persamaan 9 (National ALCAM Committee, 2016).

$$\text{Years Between Collisions} = \frac{1}{\text{Likelihood}} \quad (9)$$

Years Between Fatalities merupakan testimasi rata-rata jumlah tahun antara satu korba fatal dengan korban fatal berikutnya akibat kecelakaan di perlintasan sebidang. Rumusnya pada Persamaan 10 (National ALCAM Committee, 2016).

$$\text{Years Between Fatalities} = \frac{1}{\text{Risk}} \quad (10)$$

Tabel 1 berisi definisi dari variable dan satuan yang terdapat pada masing-masing persamaan.

Tabel 1 Variabel dan Satuan

No.	Simbol/Variabel	Definisi Singkat	Satuan/Skala
1	Infrastructure Factor	Faktor kondisi infrastruktur perlintasan.	Skor indeks
2	Raw Infrastructure Factor	Nilai dasar dari karakteristik fisik perlintasan.	Skor indeks
3	Infrastructure Modifier	Faktor penyesuaian fasilitas pengamanan.	Koefisien
4	Exposure Factor	Faktor paparan kendaraan dan kereta api.	Skor indeks
5	A5	Estimasi kecelakaan selama lima tahun.	Kejadian/5 tahun
6	Lu	Faktor ketidakseimbangan paparan kendaraan dan kereta.	Tidak bersatuan
7	K	Faktor koreksi dalam perhitungan paparan.	Koefisien
8	Adjustment Factor	Faktor penyesuaian terhadap kondisi aktual.	Koefisien
9	V	Volume lalu lintas kendaraan	Kendaraan/hari
10	T	Frekuensi kereta api	Kereta/hari
11	P	Koefisien tingkat proteksi perlintasan.	Koefisien
12	C	Faktor kalibrasi lokal model prediksi.	Koefisien

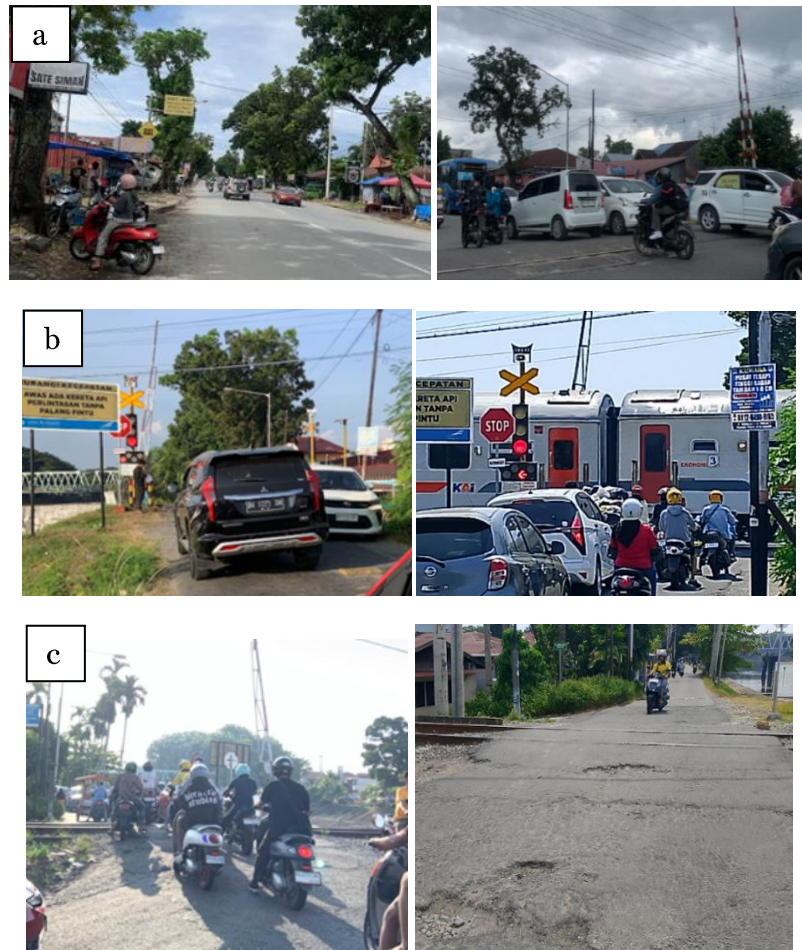
No.	Simbol/Variabel	Definisi Singkat	Satuan/Skala
13	Observed Crashes	Jumlah kecelakaan aktual.	Kejadian
14	Predicted Crashes	Jumlah kecelakaan hasil prediksi model.	Kejadian
15	Equivalent Fatality	Nilai ekuivalen kematian.	Ekuivalen kematian
16	Fatality	Jumlah korban meninggal.	Orang
17	Major Injuries	Jumlah korban luka berat.	Orang
18	Minor Injuries	Jumlah korban luka ringan.	Orang
19	Jumlah Kecelakaan	Total kejadian kecelakaan yang dianalisis.	Kejadian
20	Consequence Factor	Faktor tingkat keparahan dampak kecelakaan.	Kematian/kejadian
21	Likelihood	Peluang tahunan terjadinya kecelakaan.	Kejadian/tahun
22	Risk	Nilai risiko akibat peluang dan konsekuensi.	Fatalitas/tahun
23	Years Collisions	Between Rata-rata tahun antar kejadian tabrakan.	Tahun/kejadian
24	Years Fatalities	Between Rata-rata tahun antar korban fatal.	Tahun/fatalitas

2.5. Lokasi Penelitian

Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada perbedaan karakteristik tingkat perlindungan dan fasilitas keselamatan yang tersedia pada masing-masing perlintasan. Pemilihan lokasi juga mengacu pada data (BTP Kelas II Padang, 2025) yang menunjukkan bahwa kejadian kecelakaan terbanyak terjadi pada lintas Stasiun Padang–Stasiun Alai dan Stasiun Tabing–Stasiun Duku. Gambar 3 menunjukkan lokasi perlintasan sebidang tempat studi dilakukan. Gambar 4 menunjukkan kondisi aktual pada masing-masing perlintasan sebidang.



Gambar 3 Lokasi Wilayah Studi di Kota Padang



Gambar 4. Kondisi Aktual Perlintasan Sebidang : a) JPL 10 KM 11+458 antara stasiun Alai – Stasiun Air Tawar, Jl. Jhoni Anwar Koordinat lokasi : $0,907020^{\circ}$ LS; $100,354790^{\circ}$ BT; b) EWS 02 KM 8+630 antara stasiun Padang – Stasiun Alai, Jl Banjir Kanal Koordinat lokasi : $0,929261^{\circ}$ LS; $100,367766^{\circ}$ BT; c) KM 8+850 Tanpa Portal Pengaman Jl. Pulau, Padang Koordinat lokasi : $0,929764^{\circ}$ LS; $100,368013^{\circ}$ BT

2.6. Data Primer dan Sekunder

Data primer diperoleh dengan observasi di lokasi perlintasan sebidang. Pengumpulan data difokuskan untuk mendapatkan data yang tidak tersedia dalam data sekunder seperti volume kendaraan di lokasi studi. Data primer lainnya dikumpulkan berupa karakteristik perlintasan sebidang, seperti fasilitas pengamanan, geometrik jalan dan perlintasan, data kelengkapan, dan visibilitas perlintasan. Data sekunder yaitu berupa data frekuensi kereta api berdasarkan grafik perjalanan kereta api (DIRJEN KA, 2024), riwayat kecelakaan, informasi perlintasan dan peraturan-peraturan terkait perlintasan sebidang untuk penentuan standar keselamatan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, model ALCAM disesuaikan dengan kondisi Indonesia menggunakan data kecelakaan perlintasan sebidang selama sepuluh tahun terakhir, meliputi jumlah perlintasan, kejadian kecelakaan, dan jumlah korban. Data tersebut menjadi dasar perhitungan risiko dengan beberapa penyesuaian pada parameter yang tidak dapat diakses. ALCAM menilai karakteristik fisik perlintasan dan sistem pengendalian yang memengaruhi

interaksi lalu lintas jalan dan kereta api. Namun, karena model ini dikembangkan dan digunakan secara resmi di Australia dan Selandia Baru, akses terhadap prosedur teknisnya terbatas bagi peneliti di luar wilayah anggota ALCAM. Penelitian ini menelaah karakteristik fisik dan fasilitas pengamanan di tiga perlintasan sebidang berdasarkan kerangka konseptual ALCAM dimana hasil telaah digunakan untuk menyusun adaptasi model penilaian risiko sesuai kondisi setempat.

3.1. Kondisi Eksisting Perlindungan Sebidang Wilayah Studi

Berdasarkan hasil observasi lapangan didapatkan kondisi eksisting masing-masing perlintasan sebidang untuk mengetahui kondisi di perlintasan sebidang yang bertujuan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat keselamatan dan kelancaran operasi kereta api maupun lalu lintas. Dimana gambaran kondisi aktual menjadi dasar penilaian kerawanan pada tiap perlintasan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Antar Perlindungan Sebidang

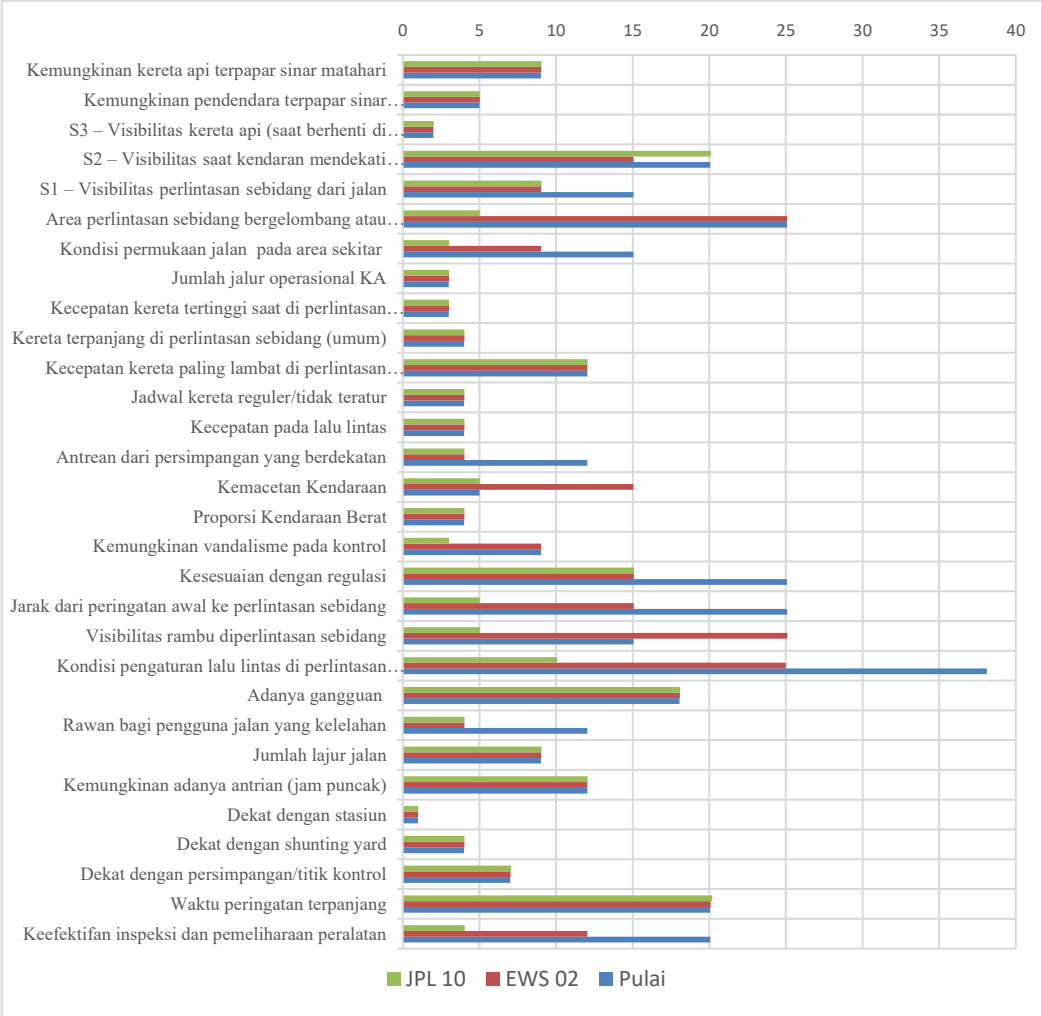
Karakteristik	Jalan Pulai	EWS 02	JPL 10
Jenis Pengaman	Tanpa portal pengaman	<i>Early warning system</i>	Dengan portal pengaman (<i>half barriers</i>), penjaga
Kecepatan KA (km/jam)	32	32	28
Lebar jalan (m)	7	7	12
Volume lalu lintas	10.262	12.104	25.576
Frekuensi KA	19	19	19
<i>Advance warning distance (m)</i>	150	300	450
<i>Distance between junction (m)</i>	62	124	196
Kelandaian (max 10%)	13%	15%	9%

Dari hasil temuan lapangan didapatkan kondisi besarnya volume lalu lintas tidak selalu berbanding lurus dengan tingginya risiko kecelakaan dimana dengan kondisi infrastruktur yang mendukung seperti penyediaan perlindungan fisik, geometri jalan yang baik, penyediaan waktu reaksi yang memadai bagi pengguna jalan, dan tersedianya ruang untuk antrean dengan simpang terdekat. Dimana faktor infrastruktur diharapkan dapat menjadi *guide* pengguna jalan untuk berkendara dengan selamat di sekitar area perlintasan sebidang.

3.2. Infrastructure Factor

Faktor infrastruktur dievaluasi melalui variabel yang merepresentasikan kondisi geometrik serta kelengkapan perangkat keselamatan pada perlintasan sebidang. Dimana variabel tersebut meliputi jenis perlintasan, jumlah jalur rel, kondisi permukaan jalan, sudut perpotongan, ketersediaan fasilitas keselamatan, jarak peringatan awal, visibilitas, dan geometrik jalan. Semakin terbatas kualitas dan kelengkapan unsur infrastruktur di suatu perlintasan, maka akan semakin menunjukkan tingkat risiko kecelakaan yang lebih besar. Sehingga faktor infrastruktur dapat memberikan gambaran kondisi teknis perlintasan sekaligus dasar dalam penentuan prioritas penanganan keselamatan.

Raw Infrastructure Factor menilai secara kuantitatif indikator tingkat risiko awal yang bersumber dari kondisi infrastruktur. Penilaian menggunakan pembobotan dengan mengaitkan hubungan antara matriks karakteristik dan kontrol perlintasan terhadap kemungkinan mekanisme kecelakaan di perlintasan sebidang tersebut. Gambar 5 menunjukkan nilai karakteristik di tiap perlintasan.



Gambar 5. Nilai Karakteristik Setiap Perlintasan Sebidang

Berdasarkan hasil matriks dapat dilihat bahwa absennya kondisi pengaturan lalu lintas seperti tidak adanya portal pengaman, sirene, lampu, dan petugas dapat menyebabkan meningkatnya risiko kecelakaan karena semua itu berkaitan dengan kepatuhan pengguna jalan yang sangat rentan akan adanya *human error*. Ketiadaan fasilitas ini menyebabkan sistem keselamatan kehilangan garis pertahanan terakhir ketika terjadi kelengahan atau pelanggaran oleh pengemudi. Jarak peringatan awal yang pendek juga mendapatkan nilai yang tinggi dimana hal ini dapat menyebabkan pengemudi tidak menyadari bahwa sedang mendekati area berbahaya perlintasan sebidang yang dapat menyebabkan tidak siapnya pengemudi untuk bereaksi, serta melakukan pengeraman mendadak yang dapat membahayakan pengemudi lainnya. Hal lainnya yaitu area perlintasan yang gradiennya curam dimana hal ini dapat memaksa pengemudi melambat secara tiba-tiba dan dapat menyebabkan kendaraan seperti mobil atau truk tersangkut atau mogok diatas rel.

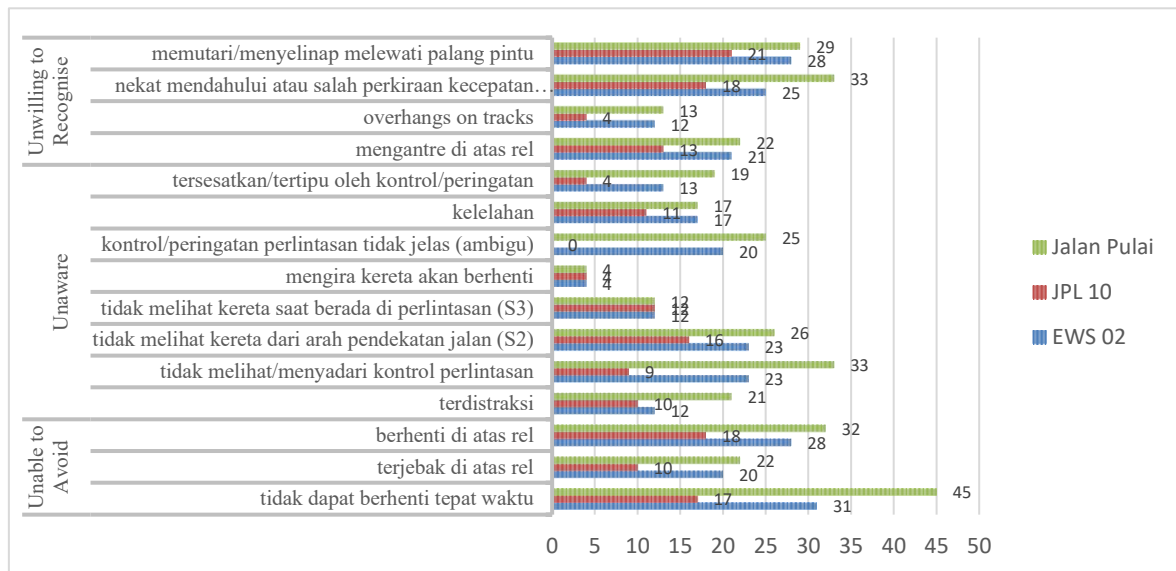
Tabel 3. Nilai Raw Infrastructure Factor

Perlintasan Sebidang	Jalan Pulai	EWS 02	JPL 10
Raw Infrastructure Factor	356	292	170

Hasil penilaian matriks *raw infrastructure factor* pada Tabel 3 menunjukkan nilai dari masing-masing perlintasan sebidang, dimana berdasarkan standar nilai *raw infrastructure*

ALCAM berkisar 0-800, maka semakin tinggi nilai maka tingkat risiko kecelakaan semakin tinggi dari sisi infrastruktur.

Accident mechanism ALCAM menilai potensi kecelakaan melalui mekanisme risiko yang muncul dari interaksi pengguna jalan dengan kondisi perlindungan dan fasilitas pengamanannya. Dimana analisis ini membantu menjelaskan bagaimana potensi kecelakaan dapat terjadi. Untuk mekanisme kecelakaan yang didapatkan dari hasil hitungan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Potensi Mekanisme Kecelakaan di Perlindungan Sebidang

Dari hasil matriks mekanisme kecelakaan di dapat di Jalan Pulai yang paling dominan yaitu tidak dapat berhenti tepat waktu dan nekat mendahului atau salah perkiraan karena tidak adanya peringatan aktif yang ada di perlindungan tersebut. Pada EWS 02 masih terjadi hal yang sama dimana sudah terdapat *warning* aktif berupa sirene dan lampu, tapi masih berupa tidak berhenti tepat waktu dan salah perkiraan. Pada JPL 10 kerawannya terletak pada interaksi pada operasional pendekat.

Infrastructure Modifier didapat melalui koefisien empiris yang diperoleh melalui analisis jangka panjang terhadap data kecelakaan historis perlindungan sebidang serta evaluasi berbagai jenis infrastruktur pengaman. Secara metodologis diturunkan melalui persamaan liner antara *raw infrastructure factor* dengan data kecelakaan yang dinormalisasi dengan volume lalu lintas dan frekuensi kereta api, yang umumnya didapat dari *software* LXM ALCAM. Peneliti menggunakan pendekatan ekivalensi teknis dengan mencocokkan sistem pengaman pada lokasi studi dengan laporan ALCAM yang di tunjukkan oleh Tabel 4.

Tabel 4. Ekivalen Nilai *Infrastructure Modifier*

Kondisi di Padang	Referensi	Tipe Proteksi	Justifikasi	IM
Perlindungan sebidang dengan portal pengaman setengah lengan dilengkapi isyarat	Totara Street Crossings (Feary, 2017)	<i>Half Boom with Flashing Lights and audible warning devices</i>	Mekanisme proteksi fisik di Padang memiliki fungsi mekanis yang identik dengan standar <i>Halfboom</i> pada laporan ini. Keduanya memberikan	0,007756

suara dan lampu. (JPL 10)				hambatan fisik untuk memitigasi risiko tabrakan	
Perlindungan tanpa portal pengaman, menggunakan isyarat lampu dan suara (EWS 02)	Heathcote Expressway (Velos, 2019)	<i>Flashing lights and bells warning devices</i>		Kondisi di Padang setara dengan kategori dalam laporan ini, dimana keselamatan bergantung sepenuhnya pada persepsi audio-visual pengemudi terhadap lampu/sirine tanpa adanya hambatan fisik	0,00815 3
Tanpa portal pengaman, menggunakan rambu	Marikiri Road (de Kock, 2017)	Tanpa portal pengaman, menggunakan rambu		Perlindungan rambu kereta dan rambu peringatan. persamaan dengan perlindungan tanpa portal. Bergantung melambat dan memberi jalan kereta berdasarkan jarak pandang visual	0,00941

Keterbatasan penelitian ini terletak pada belum digunakannya *software* LXM ALCAM secara langsung dalam proses perhitungan, khususnya untuk memperoleh nilai *Infrastructure Modifier* yang pada prosedur ALCAM umumnya diturunkan dari basis data kecelakaan dan karakteristik perlintasan di Australia dan Selandia Baru. Keterbatasan akses terhadap perangkat lunak tersebut menyebabkan penelitian ini menggunakan pendekatan ekivalensi teknis berdasarkan kesesuaian tipe fasilitas pengamanan pada lokasi studi dengan referensi ALCAM yang tersedia. Pendekatan ini berpotensi menimbulkan bias karena nilai *Infrastructure Modifier* yang digunakan belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi lokal perlintasan sebidang di Indonesia, terutama terkait perilaku pengemudi, tingkat kepatuhan terhadap peringatan, kualitas pemeliharaan fasilitas pengaman, karakteristik lalu lintas campuran, serta sistem pengawasan di lapangan. Dengan demikian, *risk score* yang dihasilkan lebih tepat diinterpretasikan sebagai estimasi risiko relatif antar lokasi studi, bukan sebagai nilai risiko absolut yang berlaku umum. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan akses penuh LXM ALCAM atau melakukan kalibrasi lokal terhadap nilai *Infrastructure Modifier* dengan memanfaatkan data kecelakaan, data *near-miss*, tingkat kepatuhan pengguna jalan, dan kondisi aktual fasilitas pengamanan perlintasan sebidang di Indonesia..

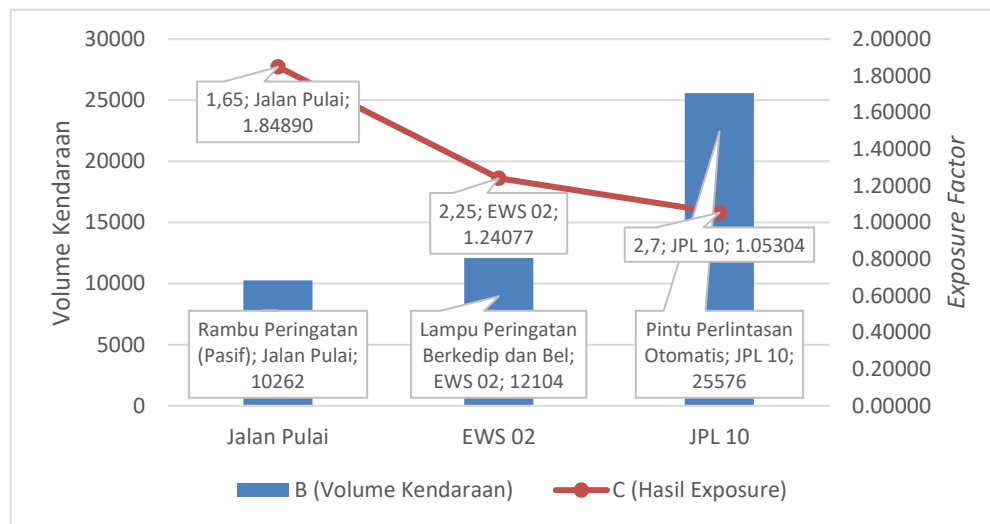
3.3. Exposure Factor

Faktor paparan merupakan komponen utama penilaian risiko perlintasan sebidang yang menggambarkan potensi dasar terjadinya kecelakaan akibat interaksi antara lalu lintas kendaraan dan kereta api. faktor ini merepresentasikan tingkat kesibukan perlintasan dan peluang terjadinya konflik kendaraan–kereta sebelum mempertimbangkan kondisi rinci infrastruktur seperti rambu, jarak pandang, maupun kondisi permukaan perlintasan. Tabel 5 menunjukkan faktor paparan lengkap.

$$\begin{aligned}
 \text{Exposure factor} &= A5 \times \text{Adjustment factor (Calibration Factor)} \\
 &= (lu + K) \times \text{Adjustment factor (Calibration Factor)} \\
 &= ((1,28 \times (V^{0,170}) \times (T^{0,151}) / (P^{0,171})) + K) \times 0,150 \\
 &= ((1,28 \times (12.104^{0,170}) \times (19^{0,151}) / (2,25)) + 3,88) \times 0,150 \\
 &= (4,39 + 3,88) \times 0,150 \\
 &= 1,2405 \text{ (kecelakaan dalam 5 tahun)} \\
 &= 0,24815 \text{ (frekuensi kecelakaan / tahun)}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Hasil Exposure Factor

<i>Exposure factor (A5= lu + K)</i>			
JPL 10 KM 11+830 Jl. Jhoni Anwar	<i>Lu</i>	<i>K</i>	<i>Calibration Factor</i>
	4,15	2,86	0,150
EWS 02 KM 8+670 Jl. Banjir Kanal	<i>Lu</i>	<i>K</i>	<i>Calibration Factor</i>
	4,39	3,88	0,150
Jalan Pulai 8+530	<i>Lu</i>	<i>K</i>	<i>Calibration Factor</i>
	5,82	6,5	0,150


Gambar 7. Komparasi Volume vs Proteksi terhadap Exposure

Hasil analisis pada Gambar 7 menunjukkan bahwa tingkat proteksi merupakan faktor dominan dalam menentukan besarnya paparan risiko pada perlindungan sebidang. Sistem proteksi yang lebih kuat tidak hanya mampu menekan paparan dasar, tetapi juga membatasi penguatan akibat faktor empiris, sehingga potensi konflik antara kendaraan dan kereta api dapat diminimalkan, bahkan pada kondisi volume lalu lintas yang tinggi.

3.4. Consequence Factor

Faktor konsekuensi menggambarkan tingkat keparahan dampak yang terjadi apabila kecelakaan terjadi di perlindungan sebidang. Pendekatan ini mengintegrasikan seluruh tingkat keparahan korban ke dalam satu indikator tunggal melalui rasio pembobotan 1 : 10 : 200 untuk masing-masing kategori meninggal dunia, luka berat, dan luka ringan

$$EF_{Padang} = 20 + \frac{64}{10} + \frac{113}{200} = 20 + 6,4 + 0,565 = 26,965 \approx 27$$

$$CF_{Padang} = \frac{EF}{N_{collision}} = \frac{27}{159} = 0,16981 \approx 0,17$$

Nilai faktor konsekuensi sebesar 0,17. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa setiap satu kejadian tabrakan di perlindungan sebidang memiliki potensi dampak yang setara dengan 0,17 korban jiwa. Apabila dikonversikan ke dalam tingkat keparahan cedera, nilai tersebut ekuivalen dengan kurang lebih 2 korban luka berat atau 34 korban luka ringan.

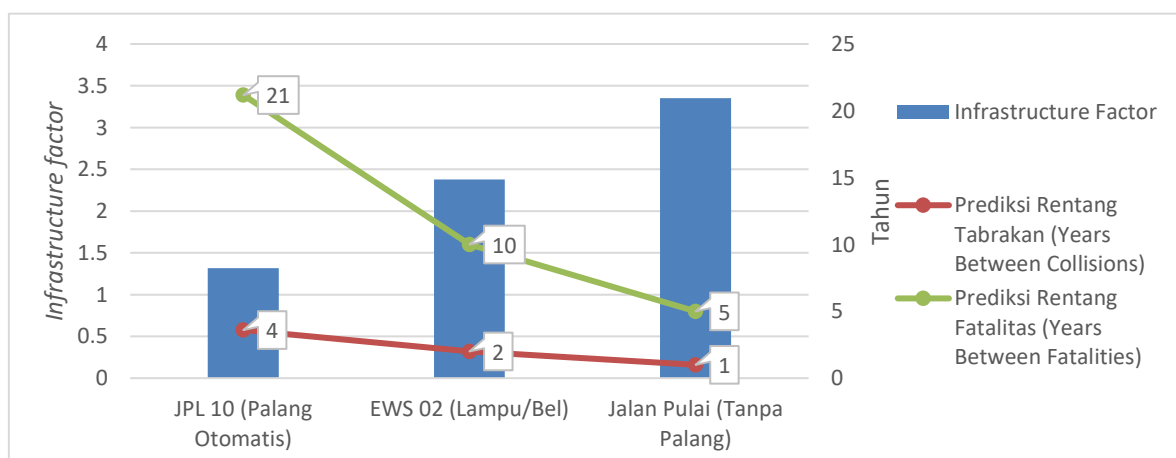
3.5. ALCAM Output

Penilaian tingkat risiko dalam model ALCAM dilakukan melalui proses perkalian tiga komponen utama, yaitu *Infrastructure Factor*, *exposure factor*, dan *consequence factor*. Ketiga komponen tersebut tidak berdiri sendiri, melainkan saling terintegrasi dalam memberikan representasi yang komprehensif terhadap tingkat risiko pada perlintasan sebidang. Tabel 6 menunjukkan *ouput* ALCAM.

Output ALCAM	Jalan Pulai	EWS 02	JPL 10
<i>raw infrastructure factor</i>	356	292	170
<i>infrastructure factor</i>	3,34996	2,37980	1,31852
<i>exposure factor</i>	0,36978	0,24815	0,21061
<i>likelihood factor</i>	1,23875	0,59056	0,27769
<i>consequence factor</i>	0,17	0,17	0,17
<i>risk score</i>	0,21059	0,10039	0,04721
<i>years between collisions</i>	1	2	4
<i>years between fatalities</i>	5	10	21

Klasifikasi tingkat risiko dalam penelitian ini disusun sebagai klasifikasi operasional berdasarkan rentang nilai *risk score* hasil analisis pada lokasi studi. Hal ini dilakukan karena ALCAM tidak menetapkan ambang risiko rendah, sedang, dan tinggi yang bersifat universal untuk semua yurisdiksi. Nilai maksimum *risk score* dalam penelitian ini sebesar 0,21059 digunakan sebagai batas atas, kemudian dibagi ke dalam tiga interval yang sama. Dengan demikian, *risk score* 0,00000–0,07020 dikategorikan rendah, >0,07020–0,14039 dikategorikan sedang, dan >0,14039 dikategorikan tinggi. Berdasarkan klasifikasi tersebut, JPL 10 termasuk kategori risiko rendah, EWS 02 termasuk kategori risiko sedang, dan Jalan Pulai termasuk kategori risiko tinggi. Klasifikasi ini digunakan untuk memudahkan interpretasi dan penentuan prioritas penanganan, sehingga tidak dimaksudkan sebagai ambang baku nasional.

Hasil pemodelan ALCAM memperlihatkan bahwa pengurangan risiko kecelakaan pada perlintasan sebidang menuntut kombinasi antara pengamanan aktif dan perbaikan elemen infrastruktur pendukung, sehingga nilai *likelihood* dapat ditekan, *years between collisions* menjadi lebih panjang, dan *years between fatalities* juga meningkat sebagai indikator membaiknya tingkat keselamatan perlintasan yang tunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Infrastruktur vs Prediksi Kecelakaan dan Fatalitas

Terdapat kecenderungan hubungan berlawanan arah antara nilai *Infrastructure Factor* dengan prediksi rentang tabrakan (*years between collisions*) dan prediksi rentang fatalitas (*years between fatalities*). Semakin tinggi nilai *Infrastructure Factor*, semakin pendek interval prediksi terjadinya tabrakan maupun fatalitas. temuan ini menegaskan bahwa kualitas infrastruktur berperan penting dalam membentuk tingkat keselamatan perlindungan, sehingga peningkatan fasilitas pengaman, pemeliharaan peralatan, dan penyediaan proteksi fisik perlu diprioritaskan, terutama pada lokasi dengan nilai *Infrastructure Factor* yang tinggi.

3.6. Perbandingan Penelitian Terdahulu

Penelitian Juliyanto (Juliyanto, 2025) di Yogyakarta juga menggunakan ALCAM untuk menilai risiko perlindungan sebidang berdasarkan *infrastructure factor*, *exposure factor*, dan *consequence factor*, serta menegaskan bahwa penilaian risiko tidak cukup hanya berdasarkan riwayat kecelakaan, tetapi perlu mempertimbangkan karakteristik spesifik perlindungan. Studi tersebut dilakukan pada JPL 739 di Jalan HOS Cokroaminoto, dengan hasil *risk score* 0,06165, *likelihood* 0,22227, YBC 4 tahun, dan YBF 16 tahun. Faktor sensitif yang ditemukan adalah *longest approach warning time*, *S2 approach visibility to train*, dan *possible sun glare sighting train*.

3.7. Implikasi Teknis

Implikasi teknis dari hasil ini menunjukkan bahwa strategi penanganan perlu dibedakan menurut karakteristik risiko tiap lokasi. Implikasi teknis tiap lokasi dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Implikasi Teknis Perlindungan

Lokasi	Isu	Implikasi Teknis
Jalan Pulai	Tanpa portal pengaman, kelandaian 13%, jarak simpang dekat 62 m, <i>advance warning</i> 150 m	Pemasangan portal pengaman, peningkatan rambu dan marka, perbaikan permukaan dan geometri pendekat, pengaturan antrean, audit keselamatan berkala
EWS 02	EWS tanpa portal pengaman, kelandaian 15%, <i>advance warning</i> 300 m, potensi antrean	Peningkatan EWS menjadi portal pengaman, penambahan rambu pendahulu, perbaikan geometri pendekat, stop line, marka kuning, dan pengendalian antrean
JPL 10	Volume kendaraan tinggi 25.576 kendaraan, tetapi sudah memiliki portal pengaman	Pemeliharaan portal pengaman, inspeksi berkala EWS, pengaturan lalu lintas sekitar perlindungan, audit keselamatan untuk mencegah risiko operasional

4. KESIMPULAN

Penerapan Australian Level Crossing Assessment Model (ALCAM) menegaskan bahwa kerawanan kecelakaan perlindungan sebidang di Kota Padang merupakan hasil kombinasi paparan (*exposure*), kualitas pengamanan dan geometri (*infrastructure*), serta potensi dampak (*consequence*), yang tercermin pada pemeringkatan risiko lintas tipologi: perlindungan tanpa portal di Jl. Pulai menjadi yang paling kritis (Likelihood 1,23875 tabrakan/tahun; Risk 0,21059 fatalitas ekuivalen/tahun; YBC ± 1 tahun; YBF ± 5 tahun), diikuti sistem peringatan dini tanpa portal di EWS 02 (Likelihood 0,59056; Risk 0,10039; YBC ± 2 tahun; YBF ± 10 tahun), sementara perlindungan berpalang relatif lebih terkendali dengan JPL 10 pada tingkat menengah (Likelihood 0,27769; Risk 0,04721; YBC ± 4 tahun;

YBF ± 21 tahun); secara substantif, hasil ini menunjukkan bahwa ketika kontrol fisik yang “memaksa” tidak tersedia atau tidak dominan, keselamatan perlintasan lebih bergantung pada respons dan kepatuhan pengemudi, sehingga risiko meningkat meskipun terdapat perangkat peringatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, S. R., & Dissanayake, S. (2015). *Calibrating Highway Safety Manual for Rural Multilane Highways by Considering Fatal and Injury Crashes in Kansas*.
- BTP Kelas II Padang. (2025). *Data Kecelakaan BTP II Padang*.
- Budiharjo, A., Habibah, F., & Tohom, F. (2024). Evaluation Study of Level Crossings on Direct Crossing Routes (JPL) in Semarang City. *MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL*, 30(2), 215–224. <https://doi.org/10.14710/mkts.v30i2.65494>
- De Kock, C., 2017. Technical Report: Nukumaru Station Road Extension
- Direktorat Keselamatan. (2025). *Data Perlindungan Sebidang (E-Perlindungan)*.
- Direktorat Keselamatan Perkeretaapian. (2021). *Surat Rekomendasi Penataan Perlindungan Sebidang Lintas Padang-Pariaman*.
- DIRJEN KA. (2024). *KP DJKA 226 Tahun 2024 Gapeka Sumbagbar Tahun 2025*.
- Feary, B., 2017. Level Crossing Safety Impact Assessment Totara Street Rail Crossings.
- Hamdani, A. (2025). *Analisis Risiko Kecelakaan Pada Perlindungan Sebidang (Level Crossing) Berdasarkan Karakteristik Fisik dan Operasional (Studi Kasus: Titik Perlindungan di Wilayah Kota Medan)*.
- Juliyanto, R. (2025). *Penilaian Risiko Kecelakaan pada Perlindungan Sebidang (Studi Kasus: Perlindungan Sebidang Berpintu di Kota Yogyakarta)*. <http://etd.repository.ugm.ac.id/>
- Kamila, F. I., Christianto, D., & Angkat, H. R. S. (2023). Analisis Keselamatan Pada Perlindungan Sebidang No.46 JL. KH. Ahmad Dahlan Jakarta Timur. In *Agustus* (Vol. 6, Issue 3).
- Kebonsari, G., Adita Utami, S., Widyastuti, H., & Utami, A. (2020). Study of Society Behaviour to Early Warning in The Railway Level Crossing Without Barrier in Gayung Kebonsari, Surabaya. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri; Journal of Industrial Research and Innovation*, 14(1), 39–46. <https://doi.org/10.29122/MIPI.V14I1.4040>
- N’cube, S. N., Sinyinza, L., Tembo, M. L., Kumaran, G. S., & Mwango, A. (2025). An Investigation into the Highway-Rail At-Grade Intersection Safety& Case Study: Zambia Railways Rail Network. *Journal of Building Construction and Planning Research*, 13(03), 133–150. <https://doi.org/10.4236/jbcpr.2025.133006>
- National ALCAM Committee. (2016). *The Australian Level Crossing Assessment Model (ALCAM) in Detail*.
- Nugroho, O., Okfian, B., Binokri, N., Djundharto Djajasinga, N., Tama, Y. P., & Diterima, D. (2021). *Overview of Transaction Safety On The Impact of Passenger Train Operation*.
- Pasha, J., Dulebenets, M. A., Abioye, O. F., Kavoosi, M., Moses, R., Sobanjo, J., & Ozguven, E. E. (2020). A comprehensive assessment of the existing accident and hazard prediction models for the highway-rail grade crossings in the state of Florida. *Sustainability (Switzerland)*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/su12104291>
- PT. KAI. (2024). *Data Perlindungan Sebidang Dan Data Kecelakaan*. <https://mti.or.id/wp-content/uploads/2025/02/WhatsApp-Image-2025-02-19-at-14.53.50.jpeg>
- Pujindasiwi, N., Leliana, A., Studi Manajemen Transportasi Perkeretaapian, P., & Perkeretaapian Indonesia, P. (2023). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Perilaku Masyarakat Terhadap Early Warning System Saat Melintas di Perlindungan Sebidang Tanpa Palang Pintu. In *Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur* (Vol. 28, Issue 2). Online.
- Puspa Handayani, R., & Triyatno. (2020). *Pemetaan Lokasi Rawan Kecelakaan Kereta Api di Kota Padang*.
- Read, G. J. M., Cox, J. A., Hulme, A., Naweed, A., & Salmon, P. M. (2021). What factors influence risk at rail level crossings? A systematic review and synthesis of findings using systems thinking. *Safety Science*, 138, 105207. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2021.105207>
- Velos, M.C.R., 2019. Heathcote Expressway Level Crossing Safety Impact Assessment (Lcsia)-Scruttons Road