



Identifikasi Risiko Kecelakaan Perlintasan Sebidang di Kota Madiun

Septiana Widi Astuti^{1✉}, Puspita Dewi², Muhamad Nurhadi³, Windi Nopryanto⁴, Muhammad Kesuma Cesarasyid⁵

Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun, Kota Madiun, Jawa Timur, Indonesia ^(1,2,3,4,5)

DOI: 10.31004/jutin.v7i1.22484

✉ Corresponding author:

[septiana@ppi.ac.id]

Article Info

Abstrak

Kata kunci:

Jalan Perlintasan

Langsung;

Hazard index;

Probabilitas Kecelakaan;

Perlintasan sebidang kereta api adalah titik potensial yang rentan terhadap risiko kecelakaan serius. Seiring dengan pertumbuhan infrastruktur transportasi, pentingnya keselamatan di perlintasan sebidang semakin meningkat. Persamaan prediksi kecelakaan yang dikembangkan oleh United State Department of Transportation (U.S. DOT) merupakan salah satu formula yang paling sering digunakan dikarenakan akurasi dalam memperidksi jumlah kecelakaan di perlintasan sebidang. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan indeks bahaya dan indeks bahaya dan probabilitas kecelakaan untuk beberapa tahun mendatang dengan menggunakan pendekatan formula U.S. DOT pada perlintasan sebidang yang berada di Kota Madiun yaitu JPL 1, JPL 136 dan JPL 138. Berdasarkan hasil perhitungan Hazard Index JPL 136 memiliki nilai hazard indeks tertinggi yaitu 194,859 disusul oleh JPL 138 dan JPL 1. Hasil prediksi kecelakaan tiga tahun kedepan baik pada JPL 1, JPL 136 maupun JPL 138 kemungkinan akan terjadi 2 kecelakaan pada perlintasan tersebut.

Abstract

Keywords:

hazard index;

railroad level crossings;

predicting the number of

accidents;

Railroad level crossings are potential points that are prone to serious accident risks. As transportation infrastructure grows, the importance of safety at level crossings increases. The accident prediction equation developed by the United State Department of Transportation (U.S. DOT) is one of the most frequently used formulas due to its accuracy in predicting the number of accidents at level crossings. In this study, the calculation of hazard index and hazard index and probability of accidents for the next few years using the U.S. DOT formula approach at level crossings located in Madiun City, namely JPL 1, JPL 136 and JPL 138. Based on the results of the Hazard Index calculation, JPL 136 has the highest hazard index value of 194.859 followed by JPL 138 and JPL 1. The results of accident predictions for the next three years at both JPL 1, JPL 136 and JPL 138 are likely to occur 2 accidents at the crossing.

1. PENDAHULUAN

Perkembangannya sarana transportasi jalan raya sering sekali membentuk pertemuan dengan sarana transportasi jalan rel. Pertemuan ini mempunyai aturan bahwa jalan rel (kereta api) menjadi prioritas dibandingkan dengan jalan raya (kendaraan bermotor), untuk itu dibuatlah salah satu alternatif pengaturan dengan perlintasan sebidang yang mempunyai persyaratan tertentu. Salah satu faktor utama yang menyebabkan risiko di perlintasan sebidang adalah ketidakpatuhan dan kesadaran rendah dari pengguna jalan. Kesadaran akan bahaya di perlintasan sebidang harus ditingkatkan melalui kampanye edukasi yang intensif. Pemahaman keselamatan untuk masyarakat dari semua kalangan dari berbagai macam usia dan pendidikan bahkan bagi siswa pendidikan usia dini dimana pengetahuan dasar dan pembentukan kematangan kognitif serta motoric (Astuti et al., 2023). Masyarakat perlu memahami konsekuensi serius dari melanggar tanda perlintasan dan menyeberang ketika palang pintu sudah ditutup. Peningkatan infrastruktur perlintasan sebidang juga memainkan peran penting dalam meningkatkan keselamatan. Pemasangan sinyal perlintasan yang efektif, penggunaan palang pintu otomatis, dan peningkatan pencahayaan di sekitar perlintasan dapat mengurangi risiko kecelakaan. Sistem peringatan dini yang terhubung dengan kereta api juga memberikan waktu tambahan kepada pengguna jalan untuk menghindari kecelakaan. Teknologi modern juga dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap keselamatan di perlintasan sebidang (Dewi et al., 2023)(Leliana et al., 2023).

Madiun merupakan sebuah kota yang terletak di Provinsi Jawa Timur, Indonesia Kota ini memiliki daya tarik unik yang membuatnya berbeda dari kota-kota lain di sekitarnya. Salah satu elemen yang mencirikan Madiun adalah aktivitas lalu lintas kereta api yang begitu ramai dan salah satu yang menjadi pusat perhatian yaitu keberadaan Daerah Operasi (Daop) 7 Madiun. Daop 7 adalah bagian dari PT Kereta Api Indonesia (Persero) yang mengelola operasional kereta api dengan wilayah operasionalnya mencakup sejumlah stasiun penting, dan Madiun menjadi salah satu pusat utama dalam jaringan kereta api di wilayah tersebut. Terdapat tiga jalan perlintasan langsung (JPL) di Kota Madiun yaitu JPL 1 yang terletak diantara Jalan Mojopahit dan Jalan Gajah Mada, JPL 138 yang terletak diantara Jalan Yos Sudarso dan Jalan Pahlawan serta JPL 136 yang terletak diantara Jalan S. Parman dan Jalan Basuki Rahmat. Perlintasan sebidang di Kota Madiun menjadi titik fokus lalu lintas yang memerlukan perhatian khusus. Berbagai faktor memengaruhi kondisi lalu lintas di perlintasan tersebut, termasuk jumlah kereta api yang melintas dan volume kendaraan bermotor yang menggunakan jalur tersebut. Ramainya lalu lintas di perlintasan sebidang seringkali dapat menjadi tantangan keselamatan. Meskipun telah dilakukan upaya untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang aturan dan tanda-tanda keamanan di perlintasan, tetap ada risiko pelanggaran dan kecelakaan(Leliana et al., 2023).

Pembangunan berbagai model prediksi kecelakaan kereta api di perlintasan sebidang telah dikembangkan di beberapa negara antara lain Amerika Serikat, Kanada, Inggris, Nigeria, dan Hongaria (Austin & Carson, 2002)(Borsos et al., 2016)(Abioye et al., 2020). Bahkan Departemen Transportasi USA sudah mulai mengembangkan model prediksi kecelakaan di perlintasan sebidang mulai tahun 1970 dengan model yang biasa digunakan disebut U.S. DOT Accident Prediction Model. Model ini dikembangkan untuk memberikan dukungan terhadap Proyek seleksi proses peningkatan grade perlintasan. Dimana tujuan dari proyek ini adalah menentukan prosedur pengujian dan penentuan alokasi pembiayaan peningkatan grade pada perlintasan kereta api dengan jalan raya maupun dengan pejalan kaki. Model prediksi U.S. DOT digunakan oleh 19 negara bagian di Amerika Serikat untuk mendukung perangkaan bahaya dalam rangka seleksi proyek perbaikan maupun peningkatan perlintasan. FRA telah melakukan penelitian terhadap kejadian kecelakaan di perlintasan sebidang dengan mengkomodir variabel – variabel antara lain perkalian faktor LHR jalan raya dan Lalu lintas kereta api yang lewat, jumlah kereta api yang lewat perhari, kecepatan kereta api yang lewat, Jumlah track/sepur, jumlah jalur pada jalan raya dan tipe perkerasan jalan raya terbukti berpengaruh terhadap jumlah kejadian kecelakaan pada perlintasan sebidang (Abioye et al., 2020). Persamaan prediksi kecelakaan yang dikembangkan oleh US DOT merupakan salah satu formula yang paling sering digunakan dikarenakan akurasi dalam memperidksi jumlah kecelakaan di perlintasan sebidang. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan perhitungan indeks bahaya dan indeks bahaya dan probabilitas kecelakaan untuk beberapa tahun mendatang dengan menggunakan pendekatan formula U.S. DOT pada perlintasan sebidang yang berada di Kota Madiun yaitu JPL 1, JPL 136 dan JPL 138.

2. METODE

Diagram Alir

Diagram alir dapat dilihat pada gambar 1.

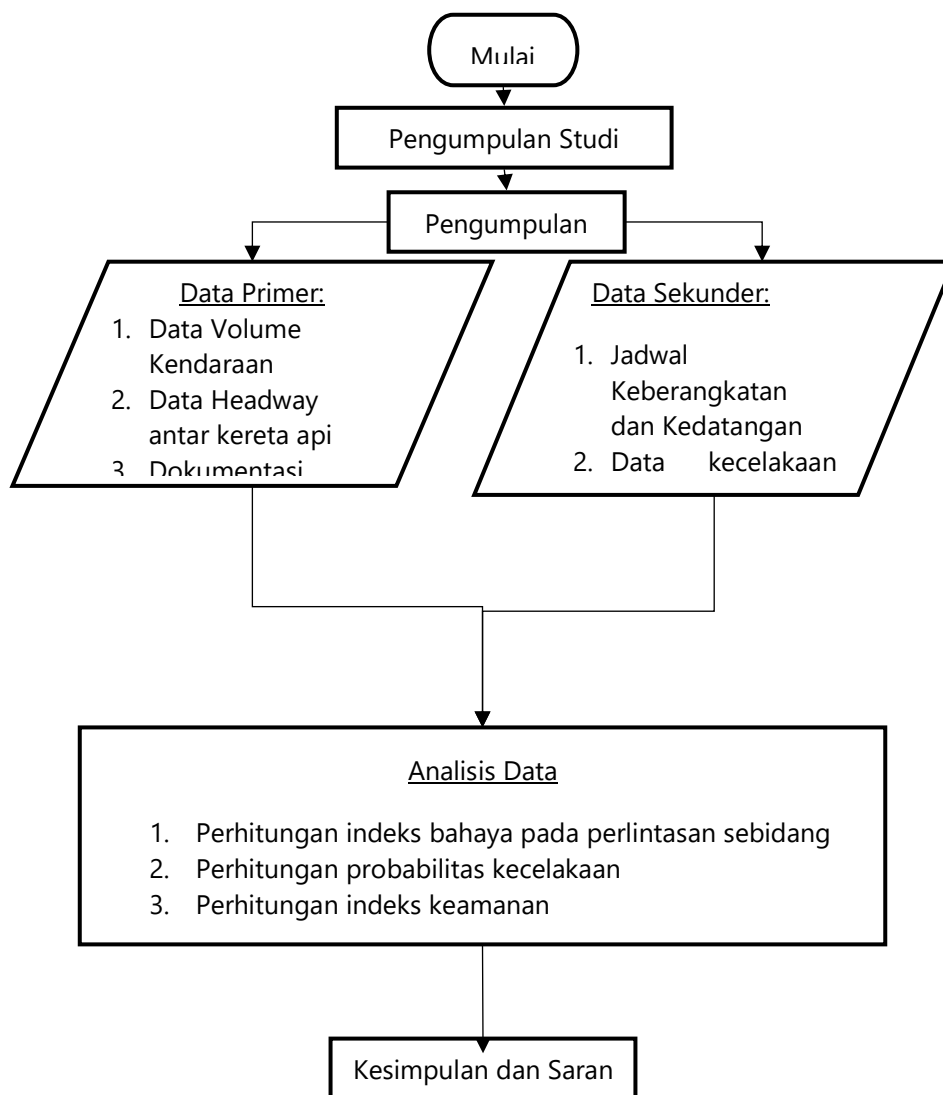
Sumber Data

a. Data Primer

Data primer yang digunakan merupakan hasil survey volume lalu lintas yang dilakukan selama satu minggu. Perhitungan volume lalu lintas dan Lalu lintas Harian Rata-rata (LHR) untuk tiap-tiap lokasi survey, masing-masing jenis kendaraan yang di data dikalikan terhadap faktor Satuan Mobil Penumpang (SMP). Periode Pengamatan Data di lapangan diambil dengan interval waktu 15 menit. Periode pengamatan untuk lokasi ini adalah selama 12 jam yaitu (jam 06.00 – 18.00).

b. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari dokumen DAOP VII Madiun yaitu data kecelakaan pada perlintasan sebidang tahun 2020 – 2022 dan dokumen Direktorat Jenderal Perkeretaapian yaitu data Gapeka tahun 2023.



Gambar 1. Diagram Alir

Analisis Data

1. Perhitungan Indeks bahaya pada perlintasan sebidang

Perhitungan indeks bahaya menggunakan rumus dari New Hampshire yang dimodifikasi (Abioye et al., 2020).

$$HI = \frac{(T+1) \times (A+1) \times AADT \times PF}{100} \tag{1}$$

dengan

HI : Hazard Index

T : Jumlah kereta yang melintas perlintasan tiap hari

A : Jumlah kecelakaan pada perlintasan dalam 5 tahun

AADT : Lalu Lintas Harian Rata-rata

PF : Faktor Proteksi dimana

- 1,250 – No Active or Passive Warning Devices (Tidak ada alat peringatan)
- 1,000 – Stop Sign Control (ada rambu Stop)
- 0,750 – Stop and Protect Control
- 0,750 – Manually – Activated Traffic Signal
- 0,250 – Railroad Flashing Lights
- 0,250 – Traffic Signal Control with Preemption
- 0,010 – Gates with railroad Flashing Lights
- 0,001 – Inactive Rail Line
- 0,000 – Closed Crossing

2. Perhitungan probabilitas kecelakaan 5 tahun kedepan

Perhitungan probabilitas kecelakaan menggunakan formula yang terdapat pada U.S. DOT *Accident Prediction Model* (Abioye et al., 2020). [Click or tap here to enter text.](#)

$$a = K \times EI \times MT \times DT \times HP \times MS \times HT \times HL \tag{2}$$

$$B = \frac{T_0}{T_0+T} (a) + \frac{T_0}{T_0+T} \left(\frac{N}{T}\right) \tag{3}$$

$$A = B \times C \tag{4}$$

dengan

a : Prediksi Awal, prediksi kecelakaan per tahun di perlintasan

K : Formula Konstanta

EI : Faktor Eksposur Indeks

MT : Jumlah Main Track

DT : Jumlah kereta yang lewat dalam sehari

HP : Jenis Perkerasan Jalan

MS : Kecepatan maksimum

HL : jumlah lajur jalan

B : kejadian kecelakaan per tahun

To : Faktor Pembobotan = (1/(0,05+a))

T : jumlah tahun

N : Jumlah kecelakaan yang terjadi pada T tahun

C : 0,8644 untuk palang pintu otomatis; 0,8131 pasif; 0,8887 lampu kedip.

3. Formula untuk memprediksi kemungkinan atau peluang terjadinya kecelakaan yang menyebabkan korban meninggal dunia dapat dirumuskan sebagai berikut (Dulebenets, 2012):

$$P (FA / A) = 1 / (1 + KF \times MS \times TT \times TS \times UR) \tag{5}$$

dimana :

P(FA / A) = Kemungkinan kecelakaan yang menyebabkan korban meninggal pertahun;

KF = Konstanta;

MS = Kecepatan maksimum kereta api yang lewat;

TT = Jumlah kereta api yang lewat tiap hari;

TS = Jumlah kereta langsir perhari;

UR = Karakteristik perlintasan dalam kota atau luar kota.

Tabel Persamaan Faktor Karakteristik Perlintasan sebidang untuk Kecelakaan Fatal

Faktor karakteristik perlintasan sebidang	Persamaan Faktor Karakteristik untuk perlintasan sebidang
Rumus Konstanta	CF =695

Faktor jadwal kecepatan kereta maksimum	$MS=ms^{-1,074}$
Melalui kereta per hari	$TT=(tt+1)^{-0,1025}$
Faktor Ganti Kereta per Hari	$TS=(ts+1)^{0,1025}$
Faktor Perlintsdsn Perkotaan - Penyeberangan	$UR=e^{0,1880ur}$

dengan

ms = kecepatan kereta jadwal maksimum (km/jam)

tt = jumlah kereta api per hari

ts = jumlah pergantian kereta api per hari

ur = 1,207 penyeberangan kota

=1,000 penyeberangan desa

4. Formula untuk memprediksi kemungkinan atau peluang terjadinya kecelakaan yang menyebabkan korban luka – luka dapat dirumuskan sebagai berikut (Dulebenets, 2012):

$$P(CA / A) = 1 / (1 + KC \times MS \times TK \times UR) \tag{6}$$

dimana :

P(CA / A) = Kemungkinan kecelakaan yang menyebabkan korban luka pertahun;

KC = Konstanta ;

MS = Kecepatan maksimum kereta api yang lewat;

TK = Jumlah trek;

UR = Karakteristik perlintasan dalam kota atau luar kota.

Formula untuk memprediksi kecelakaan yang menyebabkan korban meninggal dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$FA = P (FA / A) \times A \tag{7}$$

dimana :

FA = Prediksi kecelakaan fatal pertahun;

P(FA / A) = Peluang prediksi kecelakaan fatal;

A = Nilai prediksi kecelakaan akhir; Sedangkan formula untuk memprediksi kecelakaan yang menyebabkan korban luka – luka dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$CA = P (CA / A) \times A \tag{8}$$

dimana :

CA = Prediksi kecelakaan yang menyebabkan korban luka pertahun;

P(CA / A) = Peluang prediksi kecelakaan yang menyebabkan korban luka;

A = Nilai prediksi kecelakaan akhir;

Tabel Persamaan Faktor Karakteristik Perlintasan sebidang untuk Kecelakaan Cedera

Faktor karakteristik perlintasan sebidang	Persamaan Faktor Karakteristik perlintasan sebidang
Rumus Konstanta	CI =4,280
Faktor jadwal kecepatan kereta maksimum	$MS=ms^{-0,2334}$
Faktor jumlah track	$TK=e^{0,1176 tk}$
Faktor Penyeberangan Perkotaan - Penyeberangan	$UR=e^{0,1844 ur}$

dengan

ms = kecepatan kereta jadwal maksimum, km/jam

tk = jumlah trek pada perlintasan

ur = 1,202 penyeberangan kota

=1,000 penyeberangan desa

Untuk memprediksi jumlah kecelakaan diperlintasan sebidang baik yang menyebabkan korban meninggal maupun luka dikembangkan suatu indek yang nilainya dihitung dari penjumlahan nilai FA dan nilai CA yang dirumuskan sebagai berikut :

$$Combined\ Casualty\ Index\ (CCI) = kFA + CA \tag{9}$$

dimana :

CCI = Indeks kombinasi antara kecelakaan fatal dan korban luka pertahun.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Survey Volume Lalu Lintas

Berdasarkan survei volume lalu lintas terlihat komposisi jenis kendaraan yang melewati perlintasan JPL 138 dapat diketahui bahwa jenis kendaraan yang paling banyak melewati adalah sepeda motor sebanyak 27.153 kendaraan perhari, mobil pribadi 6.082 kendaraan per hari. Demikian juga pada JPL 136 didominasi oleh sepeda motor dan kendaraan pribadi, akan tetapi jenis kendaraan yang melewati JPL 136 lebih beragam mengingat JPL ini masuk pada kategori jalan provinsi dimana berbagai jenis kendaraan berat seperti bis antar kota/antar provinsi, truk 3 sumbu, truk gandeng melewati perlintasan ini.

Tabel 1. Volume Lalu Lintas Berdasarkan Jenis Kendaraan

Ruas Jalan	Volume lalu lintas (kendaraan/hari)											Jumlah
	1	2	3	4	5A	5B	6A	8B	7A	7B	7C	
Mojopahit – Gajah Mada	6993	351	0	108	0	0	27	41	0	0	0	7520
Gajah Mada – Mojopahit	9153	554	0	135	0	0	0	27	0	0	0	9869
Jumlah	16146	905	0	243	0	0	27	68	0	0	0	17389
Pahlawan –Yos Sudarso	11.980	3.517	5	241	0	2	101	0	3	0	0	15.848
Yos Sudarso - Pahlawan	15.173	2.565	2	205	0	5	148	2	1	0	0	18.102
Jumlah	27.153	6.082	7	447	0	7	249	2	4	0	0	33.950
S Parman - Basuki Rahmat	9.074	2.098	46	274	0	125	210	217	2	1	0	12.046
Basuki Rahmat - S Parman	9.223	1.653	262	148	10	57	57	320	34	13	0	11.777
Jumlah	18.297	3.751	308	422	10	182	267	537	36	14	0	23.823

Hasil pada table volume lalu lintas berdasarkan jenis kendaraan akan diubah dalam satuan smp per hari dan ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 2. Volume Kendaraan Berdasarkan Golongan Kendaraan

Ruas Jalan	Volume kendaraan (SMP/hari)											Jumlah (SMP/hari)
	Golongan Kendaraan											
	1	2	3	4	5A	5B	6A	6B	7A	7B	7C	
Mojopahit – Gajah Mada	1748	351	0	108	0	0	32	49	0	0	0	2288
Gajah Mada – Mojopahit	2288	554	0	135	0	0	0	32	0	0	0	3009
											Total	5.297
Yos Sudarso - Pahlawan	2995	3517	5	241	0	2	121	0	4	0	0	6.885
Pahlawan –Yos Sudarso	3793	2565	2	205	0	6	178	2	1	0	0	6.753
											Total	13.638
Basuki Rahmat -S. Parman	2269	2098	46	274	0	150	252	260	2	1	0	5.351
S. Parman-Basuki Rahmat	2306	1653	262	148	12	68	68	384	41	16	0	4.958
											Total	10.310

Berdasarkan survei volume lalu lintas VLHR pada JPL 138 didapat VLHR Tahun 2023 = 6.885 smp/hari arah PT INKA menuju POLRES Kota Madiun dan VLHR Tahun 2023= 6.753 smp/hari arah Polres Kota Madiun menuju PT INKA atau secara total untuk kedua arah 13.638 smp/hari. Sedangkan pada JPL 136 didapatkan VLHR tahun 2023 = 5.351 smp/hari arah Jalan Basuki Rahmat menuju Jalan S. Parman, dan 4.958 smp/hari arah Jalan S. Parman menuju Jalan Basuki Rahmat atau secara total untuk kedua arah 10.310 smp/hari.

Hasil Perhitungan Hazard Index

Perhitungan *Hazard Index* (HI) untuk perlintasan sebidang kereta api adalah metode untuk menilai risiko atau bahaya di perlintasan tersebut. *Hazard Index* digunakan untuk mengevaluasi seberapa besar potensi bahaya yang terkait dengan perlintasan sebidang dalam konteks keselamatan transportasi. Hasil perhitungan *Hazard index* menggunakan persamaan (1) sebagai berikut :

PF : Faktor Proteksi dimana

Tabel 3. Perhitungan Hazard Index

PJL	T	A	AADT	PF	$HI = \frac{(T + 1)x(A + 1)xAADTxPF}{100}$
JPL 1	62	0	5.297	0,010	33,3711
JPL 138	117	0	13.638	0,010	160,9284
JPL 136	62	2	10.310	0,010	194,859

Jumlah kereta yang melintas pada JPL 138 merupakan jumlahan kereta yang melintas sebanyak 62 kereta dan jumlah langsiran sebanyak 55 langsiran per hari. Jumlah kejadian kecelakaan perlintasan dalam 3 tahun untuk JPL 1 dan JPL 138 tidak terjadi kecelakaan sehingga nilai nya adalah 0 (nol), sedangkan pada JPL 136 terjadi 2 kecelakaan yaitu kendaraan tersangkut atau mogok di perlintasan sebidang. Dari table perhitungan Hazard Index terlihat bahwa PJL 136 memiliki nilai hazard indeks tertinggi yaitu 194,859 disusul oleh JPL 138 dan JPL 1.

Hasil perhitungan nilai CCI (Combined Casualty Index) yang dilakukan menurut FRA (Federal Railroad Administration)

Perhitungan nilai CCI (*Combined Casualty Index*) diawali dengan perhitungan prediksi kecelakaan awal (a), dilanjutkan dengan perhitungan prediksi kecelakaan sesuai histori (B) dan prediksi kecelakaan akhir (A) tiga tahun ke depan sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil Perhitungan Prediksi Kecelakaan Awal (a)

PJL	K	EI	MT	DT	HP	MS	HT	HL	a
JPL 1	0.4846	$(\frac{5,297x62 + 0.2}{0.2})^{0.3116} = 86.4403$	$e^{0.1512(2)} = 1.353102$	1	1	1	1	$e^{0.1512(2-1)} = 1.1633$	136.0625
JPL 138	0.4846	$(\frac{13,638x117+0.2}{0.2})^{0.3116} = 141.4601$	$e^{0.1512(3)} = 1.353102$	1	1	1	1	$e^{0.1512(4-1)} = 1.5739$	301,2601
JPL 136	0.4846	$(\frac{10,310x62 + 0.2}{0.2})^{0.3116} = 106.3750$	$e^{0.1512(2)} = 1.353102$	1	1	1	1	$e^{0.1512(2-1)} = 1.1633$	167.441

Berdasarkan perhitungan pada table 4 terlihat bahwa prediksi kecelakaan awal paling tinggi terdapat pada JPL 138 yaitu 301,2601, disusul dengan JPL 136 dan JPL 1. Hasil yang tinggi dikarenakan jumlah kereta yang melintas dan jumlah langsiran pada JPL 138 lebih banyak dibandingkan dengan JPL 136 dan JPL 1. Demikian juga untuk jumlah kendaraan yang melintasi JPL 138 lebih banyak dibandingkan JPL 136 maupun JPL 1.

Perhitungan selanjutnya yaitu prediksi kecelakaan sesuai histori dan prediksi kecelakaan akhir. Perhitungan prediksi kecelakaan histori dipengaruhi oleh faktor pembobotan, jumlah tahun, prediksi kecelakaan awal dan jumlah kejadian kecelakaan tiga tahun terakhir.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Prediksi Kecelakaan sesuai Histori (B) dan Prediksi Kecelakaan Akhir (A) tiga tahun ke depan

PJL	T_0	T	a	N	$B = \frac{T_0}{T_0 + T}(a) + \frac{T_0}{T_0 + T}(\frac{N}{T})$	A= BxC
-----	-------	---	---	---	---	--------

JPL 1	$1/(0,05+a)=$	3	136.0625	0	0.3324	0,2873
JPL 138	$1/(0,05+a)= 0,003319$	3	301,2601	0	0,3329	0,2878
JPL 136	$1/(0,05+a) =0,00597$	3	167,441	2	0,3338	0,2886

Dikarenakan jumlah kejadian kecelakaan perlintasan dalam 3 tahun untuk JPL 136 terjadi 2 kecelakaan sedangkan untuk JPL 1 maupun JPL 138 tidak terjadi kecelakaan sehingga hasil perhitungan prediksi kecelakaan akhir untuk 3 (tiga) tahun kedepan tertinggi adalah JPL 136 dengan hasil 0.2886.

Setelah diperoleh prediksi kecelakaan akhir, dilanjutkan dengan perhitungan peluang terjadinya kecelakaan yang menyebabkan korban meninggal dunia dan peluang terjadinya kecelakaan yang menyebabkan korban luka-luka. Peluang terjadinya kecelakaan yang menyebabkan korban meninggal dunia dipengaruhi oleh factor kecepatan kereta maksimum, jumlah kereta api per hari dan jumlah pergantian kereta api per hari.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Peluang Terjadinya Kecelakaan yang Menyebabkan Korban Meninggal Dunia

PJL	KF	MS	TT	TS	UR	P (FA / A)
JPL 1	695	$(120)^{-1,074} = 0,0058$	$(62+1)^{-0,1025} = 0,6540$	$(0+1)^{0,1025} = 1$	$e^{0,1880(1,207)} = 1,2547$	0,2307
JPL 138	695	$(120)^{-1,074} = 0,0058$	$(62+1)^{-0,1025} = 0,6540$	$(55+1)^{0,1025} = 1,0411$	$e^{0,1880(1,207)} = 1,2547$	0,2236
JPL 136	695	$(120)^{-1,074} = 0,0058$	$(62+1)^{-0,1025} = 0,6540$	$(0+1)^{0,1025} = 1$	$e^{0,1880(1,207)} = 1,2547$	0,2307

Peluang terjadinya kecelakaan yang menyebabkan korban luka-luka dipengaruhi oleh factor kecepatan kereta maksimum dan jumlah track pada perlintasan.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Peluang Terjadinya Kecelakaan yang peluang terjadinya kecelakaan yang menyebabkan korban luka – luka

PJL	KC	MS	TK	UR	P (CA / A)
JPL 1	4,280	$(120)^{-0,2334} = 0,3271$	$e^{0,1176(2)} = 1,2652$	$e^{0,1844(1,202)} = 1,2481$	0,0003478
JPL 138	4,280	$(120)^{-0,2334} = 0,3271$	$e^{0,1176(3)} = 1,4230$	$e^{0,1844(1,202)} = 1,2481$	0,0003121
JPL 136	4,280	$(120)^{-0,2334} = 0,3271$	$e^{0,1176(2)} = 1,2652$	$e^{0,1844(1,202)} = 1,2481$	0,0003478

Setelah diperoleh prediksi kecelakaan fatal pertahun dan prediksi kecelakaan yang menyebabkan korban luka – luka diperoleh *Combined Casuality Index* (CCI) yang nilainya dihitung dari penjumlahan nilai prediksi kecelakaan fatal pertahun dan prediksi kecelakaan yang menyebabkan korban luka – luka.

Tabel 8. Hasil Perhitungan *Combined Casuality Index* (CCI)

PJL	Jumlah kecelakaan (per 3 tahun)	Prediksi Kecelakaan Awal (a)	Prediksi Kecelakaan sesuai Histori (B)	Prediksi Kecelakaan Akhir (A)	<i>Combined Casuality Index</i> (CCI)
JPL 1	0	136.0625	0.3324	0,2873	2,0794

JPL 138	0	301,2601	0,3329	0,2878	2,0152
JPL 136	2	167,441	0,3338	0,2886	2,0794

Berdasarkan table di atas terlihat bahwa prediksi kecelakaan tiga tahun kedepan baik pada JPL 1, JPL 136 maupun JPL 138 akan terjadi 2 kecelakaan pada perlintasan tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan *Hazard Index* (HI) menunjukkan tingkat risiko yang tinggi pada suatu perlintasan sebidang kereta api, penting untuk segera mengambil langkah-langkah pencegahan dan perbaikan guna meningkatkan keselamatan. Beberapa langkah-langkah pencegahan dan perbaikan guna meningkatkan keselamatan di perlintasan sebidang antara lain memastikan semua fasilitas keselamatan di perlintasan berfungsi dengan baik dan sesuai standar keselamatan. Meningkatkan sistem palang pintu otomatis, sinyal perlintasan, dan tanda-tanda peringatan. Selain itu perlu dipertimbangkan untuk menambahkan sistem peringatan dini yang dapat memberikan informasi lebih awal kepada pengguna jalan sebelum kereta api tiba di perlintasan. Sistem ini dapat memberikan waktu tambahan untuk reaksi dan mengurangi risiko kecelakaan. Sosialisasi dan edukasi keselamatan di masyarakat setempat juga perlu dilakukan untuk meningkatkan kesadaran tentang risiko di perlintasan sebidang, dan memberikan pemahaman aturan serta tindakan aman kepada pengguna jalan. Keterlibatan dan kolaborasi pihak terkait, termasuk pemerintah daerah, operator kereta api, dan masyarakat setempat, dalam perencanaan dan implementasi langkah-langkah keselamatan dapat meningkatkan efektivitas upaya keselamatan.

4. KESIMPULAN

Hasil dari Hazard Index, perlintasan sebidang yang memiliki hazard index tertinggi yaitu PPL 136 dengan nilai 194,859 disusul oleh JPL 138 dan JPL 1. Berdasarkan hasil tersebut, mengingat bahwa pada JPL 136 adalah perlintasan yang memiliki riwayat sebanyak dua kejadian kecelakaan sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai hazard index sangat dipengaruhi oleh factor jumlah riwayat kejadian kecelakaan yang terjadi pada perlintasan tersebut. Risiko kecelakaan yang dihitung berdasarkan formula U.S. DOT meliputi prediksi tumbukan awal dengan hasil paling tinggi yaitu 301,2601 pada JPL 138 disusul oleh JPL 136 dan paling rendah JPL 1. Dapat dikatakan bahwa hasil prediksi tumbukan awal sangat dipengaruhi oleh jumlah kereta yang lewat dan jumlah kendaraan yang melintas pada perlintasan tersebut. Sedangkan untuk prediksi tumbukan akhir paling tinggi terjadi pada JPL 136 kemudian disusul oleh JPL 138 dan JPL 1, sehingga dapat disimpulkan bahwa prediksi tumbukan akhir selain dipengaruhi oleh hasil tumbukan awal juga sangat dipengaruhi oleh jumlah kecelakaan yang pernah terjadi pada perlintasan tersebut. Hasil dari CCI memprediksi kecelakaan yang akan terjadi tiga tahun kedepan pada JPL 1, JPL 136 dan JPL 138 sebanyak 2 kejadian kecelakaan per tahun. Berdasarkan hasil tersebut penting untuk para segera mengambil langkah-langkah pencegahan dan perbaikan guna meningkatkan keselamatan di perlintasan sebidang antara lain melalui peningkatan keterlibatan dan kolaborasi pihak terkait, termasuk pemerintah daerah, operator kereta api, dan masyarakat setempat serta akademisi dalam perencanaan dan implementasi langkah-langkah keselamatan dapat meningkatkan efektivitas upaya keselamatan di perlintasan sebidang.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang sudah membantu terlaksananya penelitian ini terutama kepada DAOP 7 Madiun yang sudah berkenan memberikan dukungan data-data yang diperlukan dan Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun yang sudah memberikan dukungan baik material maupun non material.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abioye, O. F., Dulebenets, M. A., Pasha, J., Kavooosi, M., Moses, R., Sobanjo, J., & Ozguven, E. E. (2020). Accident and hazard prediction models for highway–rail grade crossings: a state-of-the-practice review for the USA. *Railway Engineering Science*, 28(3), 251–274. <https://doi.org/10.1007/s40534-020-00215-w>
- Astuti, S. W., Puspitasari, A., Dewi, P., & Fitria, N. (2023). *Pengenalan Rambu Dan Semboyan Kereta Api Pada Siswa SDN Tambakrama I Kabupaten Ngawi*. 4(1), 757–762.
- Austin, R. D., & Carson, J. L. (2002). An alternative accident prediction model for highway-rail interfaces. *Accident Analysis and Prevention*, 34(1), 31–42. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(00\)00100-7](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(00)00100-7)

- Borsos, A., Gabor, M., & Koren, C. (2016). Safety Ranking of Railway Crossings in Hungary. *Transportation Research Procedia*, 14, 2111–2120. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.226>
- Dewi, P., Astuti, S. W., Damayanti, A. T., & Indonesia, P. P. (2023). *Pengenalan sistem operasi kereta api pada komunitas railfans daop empat dengan metode ceramah interaktif*. 4(4), 3118–3124.
- Dulebenets, M. A. (2012). *Rail Grade Crossing Identification and Prioritizing Model Development*. February. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3255.6565>
- Leliana, A., Imandita, V., Puspitasari, A., & Apriliani, N. F. (2023). The Patterns and Accident Distribution Mapping At Rail Level Crossings in East Java. *Jurnal Teknik Sipil: Rancang Bangun*, 09(01), 56–62. <http://doi.org/xxxWebsite:https://ejournal.um-sorong.ac.id/index.php/rancangbangun>