

Efektivitas Prasarana Jalan dalam Menurunkan Kecelakaan Menggunakan *Crash Modification Factors (CMF)*

Effectiveness of Road Infrastructure in Reducing Accidents Using Crash Modification Factors (CMF)

Afni Zattin Fitra^{1*}, Setia Hadi Pramudi², Raka Pratindy³

^{1,2} Rekayasa Sistem Transportasi Jalan, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Tegal, Indonesia

³ Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Tegal, Indonesia

¹fafnizattin@gmail.com, ²setiahadipramudi@gmail.com, ³raka@pktj.ac.id

Abstrak

Keselamatan lalu lintas merupakan aspek penting dalam perencanaan dan pengelolaan jalan. Penelitian ini mengevaluasi efektivitas prasarana jalan dalam menurunkan angka kecelakaan di Jalan Ngawi–Mantingan dengan pendekatan *Crash Modification Factors (CMF)*. Data yang digunakan mencakup survei geometri jalan, data kecelakaan dari Polres Ngawi, dan lalu lintas harian rata-rata (LHR) dari Dinas Perhubungan. Metode yang digunakan meliputi *Safety Performance Function (SPF)* untuk memprediksi rata-rata kecelakaan berdasarkan volume lalu lintas, *CMF* untuk menilai pengaruh prasarana, serta *Empirical Bayes (EB)* guna meningkatkan akurasi estimasi kecelakaan. Hasil analisis menunjukkan variasi efektivitas antar segmen jalan. Segmen 1 dan 3 menunjukkan peningkatan keselamatan sebesar 1%, sementara segmen 2, 4, dan 5 menunjukkan efektivitas negatif, yang mengindikasikan prasarana jalan tidak berkontribusi signifikan terhadap pengurangan kecelakaan. Temuan ini menegaskan pentingnya evaluasi dan perbaikan prasarana jalan untuk meningkatkan keselamatan lalu lintas secara berkelanjutan.

Kata kunci: keselamatan lalu lintas, *crash modification factors (CMF)*, *safety performance function (SPF)*

Abstract

Traffic safety is an important aspect of road planning and management. This study evaluates the effectiveness of road infrastructure in reducing accident rates on Ngawi-Mantingan Road using the Crash Modification Factors (CMF) approach. The data used includes road geometry surveys, accident data from Ngawi Police, and daily traffic from the Transportation Agency. The methods used include Safety Performance Function (SPF) to predict average crashes based on traffic volume, CMF to assess the influence of infrastructure, and Empirical Bayes (EB) to improve the accuracy of crash estimation. The results of the analysis show variations in effectiveness between road segments. Segments 1 and 3 showed a 1% increase in safety, while segments 2, 4, and 5 showed negative effectiveness, indicating that road infrastructure did not significantly contribute to crash reduction. These findings emphasize the importance of evaluating and improving road infrastructure to sustainably improve traffic safety.

Keywords: traffic safety, crash modification factors (CMF), safety performance function (SPF)

1. Pendahuluan

Prasarana jalan adalah fasilitas yang dirancang untuk mendukung keselamatan dan ketertiban lalu lintas. Pemasangannya bertujuan meningkatkan keselamatan dan keteraturan lalu lintas guna memastikan keamanan, kelancaran, dan kenyamanan pengguna jalan [1]. Ketentuan dalam Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 Pasal 25 mewajibkan setiap jalan memiliki prasarana seperti rambu lalu lintas, marka jalan, alat pemberi isyarat, dan fasilitas bagi pejalan kaki [2]. Prasarana yang memadai berperan penting dalam meningkatkan keselamatan jalan [3].

Keselamatan lalu lintas adalah kondisi di mana pengguna jalan terhindar dari risiko kecelakaan akibat faktor manusia, kendaraan, jalan, atau lingkungan [4]. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009, kecelakaan lalu lintas merupakan peristiwa tak terduga di jalan yang melibatkan kendaraan dan dapat menyebabkan korban jiwa atau kerugian materi. Di Indonesia, tingginya angka kecelakaan terutama terjadi di ruas jalan antar kota akibat mobilitas dan penggunaan kendaraan yang tinggi, sehingga meningkatkan risiko kecelakaan [5].

Ruas jalan Ngawi-Mantingan sepanjang 27 km merupakan jalan nasional strategis yang berfungsi sebagai arteri primer, menghubungkan Kabupaten Ngawi, Jawa Timur, dengan Kota Sragen, Jawa Tengah. Jalur utama Surabaya-Yogyakarta ini juga menjadi alternatif antar kota dengan lalu lintas padat [6]. Polres Kabupaten Ngawi mencatat bahwa pada tahun 2024, tingginya intensitas lalu lintas di ruas ini berbanding lurus dengan angka kecelakaan, tercatat 114 insiden dengan 10 korban meninggal, 7 luka berat, dan 158 luka ringan.

Crash Modification Factors (CMF) adalah metode yang dikembangkan oleh *The American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) dalam *Highway Safety Manual* (HSM) edisi 2010. Metode ini menggunakan berbagai parameter prasarana jalan, seperti volume lalu lintas, lebar dan jenis bahu, lebar jalur, kelandaian, radius tikungan, panjang lengkung tikungan, keberadaan lengkung peralihan, kepadatan akses, superelevasi, marka garis tengah, lajur mendahului, lajur khusus belok kiri, penerangan jalan, kondisi tepi jalan, serta penegakan hukum terhadap pelanggaran batas kecepatan menggunakan *speed camera* [7]. Prasarana jalan tersebut digunakan untuk memprediksi frekuensi kecelakaan pada suatu lokasi tertentu [8].

Parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi efektivitas prasarana jalan di ruas Ngawi-Mantingan. Evaluasi ini penting untuk menekan angka kecelakaan, terutama di ruas jalan dengan tingkat kecelakaan tinggi, dengan mempertimbangkan kondisi prasarana yang ada.

2. Metode

Tahap awal penelitian ini dimulai dengan menentukan masalah yang akan dibahas dan dikombinasikan dengan studi literatur. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer meliputi survei inventarisasi jalan dan data geometri jalan, sedangkan data sekunder mencakup data kecelakaan ruas jalan dari Polres Kabupaten Ngawi serta data lalu lintas harian (LHR) dari Dinas Perhubungan Kabupaten Ngawi.

Tahap berikutnya dimulai dengan membagi segmen jalan segmen 1 (km 1 – km 8), segmen 2 (km 8 – km 12), segmen 3 (km 12 – km 16,5), segmen 4 (km 16,5 – km 22), dan segmen 5 (km 22 – km 27). Kemudian pengolahan dan analisis data.

2.1 Safety Performance Function (SPF)

Safety Performance Function (SPF) digunakan untuk mengetahui dampak volume lalu lintas terhadap jumlah kecelakaan rata-rata dalam kondisi tertentu pada suatu tahun tertentu [9]. Nilai SPF dihitung selama tiga tahun di lokasi yang sama dengan mempertimbangkan volume Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR). Faktor utama yang memengaruhi perhitungan SPF meliputi volume LHR dan panjang jalan. Semakin tinggi volume LHR setiap tahunnya, semakin besar pula nilai SPF. Rumus SPF untuk jalan 2/2 TT ditunjukkan pada rumus 1.

$$N_{spf\ rs} = LHR \times L \times 365 \times 10^{-6} \times e^{(-0.312)} \quad (1)$$

Keterangan:

$N_{spf\ rs}$ = Total prediksi frekuensi kecelakaan untuk kondisi dasar ruas.

LHR = Lalu Lintas Harian Rata-rata

L = Panjang ruas jalan (mil).

2.2 Crash Modification Factors (CMF)

Crash Modification Factors (CMF) menunjukkan perubahan frekuensi kecelakaan akibat tindakan atau penanganan terhadap kondisi tertentu. Analisis *Crash Modification Factors* (CMF) dilakukan untuk menilai prasarana jalan terhadap kecelakaan berdasarkan pedoman *Highway Safety Manual* (HSM). Jika tingkat kecelakaan lebih tinggi dari kondisi dasar, nilai CMF akan melebihi 1. Sebaliknya, jika tingkat kecelakaan rata-rata lebih rendah dari kondisi dasar, nilai CMF akan kurang dari 1 [10]. Terdapat 12 kondisi untuk menentukan nilai Crash Modification Factors (CMF) sebagai berikut:

CMF 1rd = Lebar jalur;

CMF 2rd = Jenis dan lebar bahu jalan;

CMF 3rd = Alinyemen horizontal : panjang, radius, dan ada tidaknya transisi spiral;

CMF 4rd = Alinyemen horizontal: superelevasi;

CMF 5rd = Kelandaian ;

CMF 6rd = Kepadatan akses;

CMF 7rd = Rumble strips;

CMF 8rd = Lajur mendahului;

CMF 9rd = U Turn;

CMF 10rd = Desain tepi jalan;

CMF 11rd = Penerangan jalan ;

CMF 12rd = Automated speed enforcement.

2.3 Calibration Factors (Ci)

Faktor kalibrasi adalah perbandingan antara total frekuensi kecelakaan lalu lintas yang diamati pada lokasi terpilih dengan total frekuensi kecelakaan yang diprediksi untuk lokasi yang sama. Analisis faktor kalibrasi dilakukan

untuk menyesuaikan *Safety Performance Function* (SPF) agar lebih sesuai dengan kondisi aktual menggunakan rumus 2.

$$Ci = \frac{\Sigma \text{ observed crashes}}{\Sigma \text{ predicted crashes}} \quad (2)$$

Keterangan:

Ci = Faktor kalibrasi untuk lokasi

Observed Crashes = Jumlah kecelakaan teramati

Predicted Crashes = Prediksi kecelakaan ($N_{spf} \times CMF$ yang tidak mengalami perubahan $\times$ total tahun data)

2.4 Jumlah Kecelakaan Prediksi ($N_{predicted}$)

Prediksi jumlah kecelakaan lalu lintas pada setiap segmen jalan ($N_{predicted}$) dihitung berdasarkan kondisi lalu lintas (N_{spf}), kondisi geometrik dan fasilitas jalan (CMF), serta rasio N_{spf} terhadap N_{aktual} . Perhitungan ini mengikuti rumus 3.

$$N_{predicted} = SPF \times CMF_{comb} \times Ci \quad (3)$$

Keterangan:

$N_{predicted}$ = Prediksi jumlah kecelakaan;

CMF_{comb} = Faktor modifikasi kecelakaan untuk segmen jalan tidak terbagi;

Ci = Faktor kalibrasi.

2.5 Metode *Empirical Bayes* (EB)

Metode EB bertujuan untuk memperkirakan jumlah kecelakaan dengan menggabungkan frekuensi kecelakaan aktual (N_{aktual}) dan prediksi ($N_{predicted}$). Metode EB menggunakan faktor pembanding, yang bergantung pada parameter overdispersi. Nilai frekuensi kecelakaan yang diharapkan dinyatakan dalam rumus 4 dan 5.

$$k = \frac{0.236}{L} \quad (4)$$

$$w = \frac{1}{1+k \times \Sigma N_{predicted} \text{ all study years}} \quad (5)$$

Keterangan:

w = Faktor pembanding;

k = Parameter overdispersi;

L = Panjang segmen (*miles*).

Estimasi jumlah kecelakaan pada segmen jalan dihitung berdasarkan nilai parameter overdispersi dengan mempertimbangkan panjang segmen jalan yang diteliti.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis *Safety Performance Functions* (SPF) dilakukan untuk memperkirakan rata-rata frekuensi kecelakaan lalu lintas berdasarkan kondisi volume lalu lintas harian rata-rata (LHR) ruas jalan. Selanjutnya, analisis *Crash Modification Factors* (CMF) digunakan untuk menilai efektivitas prasarana jalan pada suatu segmen jalan dengan mempertimbangkan dua belas parameter, yaitu CMF 1 hingga CMF 12. Kemudian, analisis nilai kalibrasi (Ci) dilakukan untuk menghitung perbedaan antara jumlah kecelakaan yang diperkirakan menggunakan pedoman HSM dan jumlah kecelakaan aktual. Berikut merupakan contoh perhitungan Ci .

$$Ci = \frac{48}{397.59} \\ = 0.12$$

Semakin mendekati satu nilai faktor kalibrasi suatu lokasi jalan, semakin sesuai kondisi lokasi tersebut dengan kondisi jalan di Amerika. Tahap terakhir adalah analisis nilai prediksi kecelakaan lalu lintas ($N_{predicted}$), yang menggunakan SPF, CMF, dan faktor kalibrasi (Ci) sebagai elemen pembanding. Contoh perhitungan disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan $N_{predicted}$ setiap segmen

Segmen	SPF			CMF _{comb}			Ci	$N_{predicted}$ (kecelakaan/tahun)			Total
	2022	2023	2024	2022	2023	2024		2022	2023	2024	
KM 1 – KM 8	22.88	23.73	25.45	5.20	5.20	5.20	0.12	14.27	14.80	15.88	44.95
KM 8 – KM 12	13.07	13.30	14.54	7.36	7.36	7.36	0.16	15.39	15.66	17.12	48.17
KM 12 – KM 16,5	14.71	15.41	16.36	5.15	5.20	5.20	0.39	29.54	31.25	33.17	93.96
KM 16,5 – KM 22	17.97	18.83	20.00	6.48	6.48	6.48	0.15	17.46	18.30	19.44	55.20

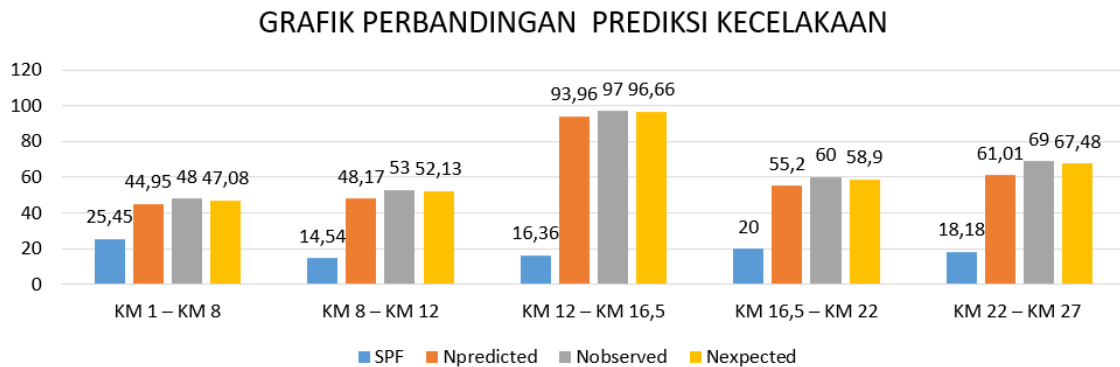
Segmen	SPF			CMF _{comb}			Ci	$N_{predicted}$ (kecelakaan/tahun)			Total
	2022	2023	2024	2022	2023	2024		2022	2023	2024	
KM 22 – KM 27	16.34	17.12	18.18	13.13	13.13	13.13	0.09	19.30	20.23	21.48	61.01

Setelah diperoleh nilai $N_{predicted}$, metode *Empirical Bayes* (EB) diterapkan untuk menggabungkan dua informasi terkait identitas yang diamati, yaitu data jumlah kecelakaan lalu lintas dan prediksi jumlah kecelakaan lalu lintas. Tujuan metode ini adalah meningkatkan presisi estimasi kecelakaan. EB digunakan untuk menentukan estimasi jumlah kecelakaan ekspektasi ($N_{expected}$) dengan mengombinasikan frekuensi kecelakaan aktual (N_{aktual}) dan $N_{predicted}$ berdasarkan hasil perhitungan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan $N_{expected}$ setiap segmen

Segmen	Panjang jalan (mil)	k	w	$N_{predicted}$	$N_{observed}$	$N_{expected}$
KM 1 – KM 8	4.34	0.05	0.30	44.95	48	47.08
KM 8 – KM 12	2.48	0.09	0.18	48.17	53	52.13
KM 12 – KM 16,5	2.79	0.08	0.11	93.96	97	96.66
KM 16,5 – KM 22	3.41	0.06	0.23	55.2	60	58.90
KM 22 – KM 27	3.10	0.07	0.19	61.01	69	67.48
Total						322.25

Perhitungan nilai $N_{expected}$ dilakukan setiap tahun menggunakan faktor kalibrasi rata-rata tahunan dan parameter overdispersi berdasarkan panjang segmen yang digunakan untuk meningkatkan akurasi hasil. Perhitungan ini menggunakan data kecelakaan selama tiga periode pengamatan, dari 2022 hingga 2024.



Gambar 1. Grafik perbandingan prediksi kecelakaan

Pada Gambar 1 membandingkan frekuensi kecelakaan teramati ($N_{observed}$) dengan hasil prediksi menggunakan metode prediksi ($N_{predicted}$), SPF, dan *Empirical Bayes* ($N_{expected}$). Analisis grafik menunjukkan bahwa jumlah kecelakaan teramati pada semua segmen lebih tinggi dibandingkan dengan prediksi. Hal ini mengindikasikan bahwa prasarana jalan pada segmen tersebut tidak berkontribusi terhadap peningkatan keselamatan atau pengurangan frekuensi kecelakaan.

Crash Modification Factor adalah faktor yang mempengaruhi keselamatan berdasarkan prasarana jalan. Sedangkan CRF (*Crash Reduction Factor*) adalah hasil bagi antara frekuensi kecelakaan teramati dan prediksi kecelakaan yang dihitung dengan metode *Empirical Bayes* atau *odds ratio* (OR). Berikut merupakan hasil perhitungan efektivitas keselamatan (*safety effectiveness*) setiap segmen yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan *Safety Effectiveness*

Segmen	$N_{observed}$	$N_{expected}$	<i>Odds Ratio</i>	<i>Safety Effectiveness</i>
KM 1 – KM 8	48	47.08	1.00	1 %
KM 8 – KM 12	53	52.13	1.01	-1 %
KM 12 – KM 16,5	97	96.66	1.00	1 %
KM 16,5 – KM 22	60	58.90	1.01	-1 %
KM 22 – KM 27	69	67.48	1.02	-2 %

Berdasarkan tabel di atas, terdapat dua segmen dengan efektivitas keselamatan positif dan tiga segmen dengan efektivitas keselamatan negatif. Segmen 1 dan 3 memiliki efektivitas keselamatan sebesar 1%, yang berarti pemasangan prasarana jalan pada segmen tersebut mengurangi frekuensi kecelakaan sebesar 1%. Sementara itu, segmen 2, 4, dan 5 memiliki efektivitas keselamatan negatif, menunjukkan bahwa prasarana jalan yang dipasang tidak meningkatkan keselamatan, karena frekuensi kecelakaan yang teramati lebih tinggi dibandingkan dengan prediksi.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis evaluasi efektivitas prasarana jalan pada Jalan Ngawi – Mantingan sepanjang 27 km yang dilakukan menggunakan metode prediksi kecelakaan, SPF, CMF, dan metode *empirical bayes* menghasilkan nilai efektivitas seluruh fasilitas dan prasarana jalan sebesar 1% pada segmen 1 dan 3. Hal ini dikarenakan prasarana jalan yang terpasang di ruas Jalan Ngawi – Mantingan memiliki desain yang sesuai standar dan berfungsi dengan baik sehingga dapat menurunkan frekuensi kecelakaan sebesar 1%. Sedangkan pada segmen 2 dan 4 sebesar -1%, serta segmen 5 sebesar -2%. Hal tersebut disebabkan karena kondisi prasarana jalan pada segmen tersebut memiliki desain yang tidak standar dan memberikan dampak keselamatan yang rendah bahkan membahayakan pengguna jalan tersebut.

Kontribusi

Konseptor: Afni Zattin Fitra, Raka Pratindy; Kajian Pustaka: Raka Pratindy, Setia Hadi Pramudi, Afni Zattin Fitra; Metodologi: Setia Hadi Pramudi, Raka Pratindy; Pengumpulan Data: Afni Zattin Fitra; Pengolahan dan Interpretasi Data: Raka Pratindy, Setia Hadi Pramudi; Pelaporan: Afni Zattin Fitra, Setia Hadi Pramudi; Pembahasan dan Simpulan: Seluruh Author.

Referensi

- [1] D. Syifaurrahman, M. Fauzan, and T. Sudibyo, "Evaluasi Geometri dan Perlengkapan Jalan Lingkar Leuwiliang Bogor," *J. Tek. SIPIL DAN Lingkungan*, vol. 04, no. 02, 2019, doi: <https://doi.org/10.29244/jstil.4.2.149-168>.
- [2] S. B. Arianito and D. Heriwibowo, "Evaluasi Kebutuhan Rambu Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Perbatasan Antara Kabupaten Bantul-Gading Di Gunungkidul, Yogyakarta," *J. Penelit. Transp. Darat*, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.25104/jptd.v18i1.107>.
- [3] D. Wicaksono, R. A. Fathurochman, and B. Riyanto, "Analisis Kecelakaan Lalu Lintas (Studi Kasus Jalan Raya Ungaran - Bawen)," *J. Karya Tek. Sipil*, vol. 3, pp. 345–355, 2014, doi: <http://ejournal-sl.undip.ac.id/index.php/jkts>.
- [4] R. Y. Saputra, "Analisis Pengaruh Geometri Jalan Terhadap Tingkat Kecelakaan Pada Jalan Antarkota Dengan Metode Crash Modification Factors (CMF)," *Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan (PKTJ)*, 2024. [Online]. Available: <http://eprints.pktj.ac.id/id/eprint/2659>
- [5] I. Samsudin, "Analisa Faktor Penyebab Kecelakaan Pada Ruas Jalan Ir. H. Alala Kota Kendari Ditinjau dari Prasarana dan Geometrik Jalan," *J. Penelit. Transp. Darat*, vol. 21, no. 1, pp. 59–66, 2019, [Online]. Available: <https://ojs.balitbanghub.dephub.go.id/index.php/jurnaldarat/article/view/1166>
- [6] F. L. Azizah, H. Lesmana, and A. Fitrianiingsih, "Upaya Peningkatan Keselamatan Lalu Lintas Di Ruas Jalan Ngawi - Mantingan, Kabupaten Ngawi," *J. Penelit. Sekol. Transp. Darat*, vol. Vol. 8 No., no. <https://jurnal.ptdisttd.ac.id/index.php/jpstdttd/issue/view/5>, pp. 49–57, 2017, [Online]. Available: <https://jurnal.ptdisttd.ac.id/index.php/jpstdttd/article/view/538>
- [7] F. Idalin, U. G. Mada, S. Malkhamah, U. G. Mada, L. B. Suparma, and U. G. Mada, "Pengembangan metode prediksi probabilitas kecelakaan pada suatu ruas jalan antarkota berdasarkan kondisi geometrik jalan dan karakteristik lalu lintas," *J. Transp.*, vol. 18, no. 2, pp. 145–152, 2018, doi: <https://doi.org/10.26593/jtrans.v18i2.3044.145-152>.
- [8] N. Luh, P. Shinta, E. Setyarini, and D. Linggasari, "Evaluasi Ruas Jalan Gajah Mada Menggunakan Metode Irap Untuk Mencapai Star Rating 4 Dan 5," *Tek. Sipil*, no. 2017, pp. 69–76, 2021, [Online]. Available: <https://journal.untar.ac.id/index.php/PSERINA/article/view/16145>
- [9] AASHTO, "Highway Safety Manual," vol. Vol 2, 2010.
- [10] H. Widyastuti and Rifqah, "Aplikasi Highway Safety Manual (HSM), AASHTO 2010 untuk Memprediksi Jumlah Kecelakaan pada Jalan Tol Surabaya-Gempol," *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 21, pp. 267–274, 2023, doi: <http://dx.doi.org/10.12962/j2579-891X.v21i3.17511>.