

Aplikasi *Highway Safety Manual* (HSM), AASHTO 2010 untuk Memprediksi Jumlah Kecelakaan pada Jalan Tol Surabaya-Gempol

Rifqah¹, Hera Widyastuti²

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: hera@ce.its.ac.id

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	06 Juli 2023	<i>Surabaya-Gempol Toll Road is one of the toll roads with the highest number of accidents in East Java. In this condition, it is necessary to make efforts to prevent traffic accidents. One of the efforts to prevent traffic accidents is by analyzing the application of the Highway Safety Manual (HSM), AASHTO 2010 on the Surabaya-Gempol Toll Road. The HSM model is applied to obtain a calibration factor value (C), which is a comparison between the actual number of accidents and the number of predicted accidents based on road conditions in America resulting from the values of Safety Performance Functions (SPFs) and Crash Modification Factors (CMFs), and to obtain the number of expected accidents (Nexpectations) using the Empirical Bayes (EB) method. Based on the calculation results, a calibration factor (C) of 0.34 is obtained, which states that the number of accidents on the Surabaya-Gempol Toll Road is 1/3 times the number of accidents that occur on toll roads in America. It was concluded that the level of safety produced by the HSM model on the Surabaya-Gempol Toll Road is low, so it is less effective for use at that location.</i>
Diperbaiki	27 Juli 2023	
Disetujui	28 Agustus 2023	

Keywords: HSM, toll road, calibration factor, traffic accident

Abstrak

Jalan Tol Surabaya-Gempol merupakan salah satu jalan tol dengan jumlah kecelakaan tertinggi di Jawa Timur. Dalam kondisi ini maka perlu dilakukan upaya pencegahan kecelakaan lalu lintas. Salah satu upaya untuk mencegah terjadinya kecelakaan lalu lintas adalah dengan melakukan analisis aplikasi Highway Safety Manual (HSM), AASHTO 2010 pada Jalan Tol Surabaya-Gempol. Pengaplikasian model HSM dilakukan untuk mendapatkan nilai faktor kalibrasi (C) yang merupakan perbandingan antara jumlah kecelakaan aktual dengan jumlah kecelakaan prediksi berdasarkan kondisi jalan di Amerika yang dihasilkan dari nilai Safety Performance Functions (SPFs) dan Crash Modification Factors (CMFs) serta mendapatkan jumlah kecelakaan ekspektasi (Nekspetasi) dengan menggunakan metode Empirical Bayes (EB). Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan faktor kalibrasi (C) sebesar 0,34 atau menyatakan jumlah kecelakaan di Jalan Tol Surabaya-Gempol 1/3 kali jumlah kecelakaan yang terjadi pada kondisi jalan tol di Amerika. Disimpulkan tingkat keselamatan yang dihasilkan model HSM pada Jalan Tol Surabaya-Gempol rendah, sehingga kurang efektif untuk digunakan pada lokasi tersebut.

Kata kunci: HSM, jalan tol, faktor kalibrasi, kecelakaan lalu lintas

1. Pendahuluan

Menurut BPJT, Provinsi Jawa Timur menjadi urutan kedua sebagai penyumbang jumlah kecelakaan tertinggi pada jalan tol di Indonesia setelah Provinsi DKI Jakarta. Pada tahun 2020 jumlah kecelakaan yang terjadi pada Jalan Tol di Provinsi DKI Jakarta sebesar kurang lebih 320 kejadian, Provinsi Jawa Timur sebesar kurang lebih 95 kejadian, Provinsi Jawa Tengah sebesar 90 kejadian, dan disusul Provinsi Jawa Barat sebanyak 80 kejadian. Didapatkan data dari BPJT (2020) dan Baketrans Departemen Perhubungan (2019) bahwa jalan tol dengan jumlah kecelakaan tertinggi di Jawa Timur terdapat pada Jalan Tol Ngawi-Kertosono, Jalan Tol Surabaya-Gempol dan Jalan Tol Waru-Juanda. Oleh karenanya perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai kecelakaan pada Jalan Tol di Jawa Timur dengan mengambil lokasi spesifik pada salah satu jalan tol dengan jumlah

kecelakaan tertinggi di Jawa Timur yaitu pada Jalan Tol Surabaya-Gempol.

Jalan Tol Surabaya – Gempol atau Jalan Tol Surgem adalah jalan tol yang membentang sepanjang 45 kilometer yang menghubungkan antara Kota Surabaya dengan daerah Gempol, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Jalan tol ini terhubung dengan Jalan Tol Surabaya-Mojokerto di sebelah barat, Jalan Tol Surabaya-Gresik di sebelah barat laut, Jalan Tol Waru-Juanda di sebelah timur, serta Jalan Tol Gempol – Pandaan dan Jalan Tol Gempol-Pasuruan di sebelah selatan. Jalan tol ini mulai beroperasi sejak 26 juli 1986. Angka kecelakaan pada Jalan Tol Surabaya-Gempol mencapai 29 kejadian [1]. Jika dibandingkan dengan jumlah kecelakaan lalu lintas pada jalan tol lain di Jawa Timur, Jalan Tol Surabaya-Gempol menempati peringkat kedua dengan angka kecelakaan tertinggi.

Kecelakaan lalu lintas adalah suatu peristiwa di jalan yang tidak diduga dan tidak disengaja melibatkan kendaraan dengan atau tanpa pengguna jalan lain yang mengakibatkan korban manusia dan kerugian harta benda [2]. Kecelakaan lalu lintas juga dapat diartikan sebagai suatu peristiwa di jalan raya yang tidak disangka-sangka dan tidak disengaja, melibatkan kendaraan dengan atau tanpa pemakai jalan lainnya, mengakibatkan korban manusia atau kerugian harta benda. Korban kecelakaan lalu lintas dapat berupa korban mati, luka berat dan luka ringan dan diperhitungkan paling lama 30 (tiga puluh) hari setelah kecelakaan terjadi [3]. Gambaran komposisi karakteristik kecelakaan dari pengolahan data diketahui berdasarkan jenis kecelakaan lalu lintas jalan, tabrakan merupakan jenis kecelakaan yang paling banyak terjadi dengan presentase sebesar 65,6% di wilayah Indonesia. Wilayah yang paling sering terjadi kecelakaan adalah pulau Jawa dengan persentase sebesar 70,35%[4]. Kecelakaan lalu lintas termasuk dalam 10 penyebab kematian nomor satu di Indonesia, jenis kecelakaan yang paling sering terjadi adalah kecelakaan dengan menggunakan sepeda motor, kecelakaan dengan menggunakan mobil penumpang, dan kecelakaan yang terjadi pada pejalan kaki [5].

Kecelakaan lalu lintas menjadi salah satu penyebab kematian tertinggi di Indonesia, terdapat tiga faktor besar yang mempengaruhi terjadinya kecelakaan lalu lintas yakni faktor pengemudi, faktor kendaraan dan faktor jalan raya. Kecelakaan lalu lintas merupakan permasalahan global yang dapat menyebabkan kematian, cedera fisik, permasalahan psikologi dan kerugian material. Kerugian material yang terjadi akibat kecelakaan lalu lintas menjadi beban yang berat bagi korban dan keluarganya, khususnya pada korban dengan pendapatan menengah kebawah [6]. Didapatkan nilai ekonomi akibat kecelakaan lalu lintas pada Jalan Tol Surabaya-Gempol adalah sebesar Rp. 18.980.914.889 (2012-2016) [7]. Angka tersebut terbilang cukup besar jika dibandingkan dengan biaya investasi yang dikeluarkan. Secara nasional, kerugian akibat kecelakaan lalu lintas jalan diperkirakan mencapai 2,9-3,1% dari total PDB Indonesia [8].

Kerugian material ini dapat ditanggulangi dengan menurunkan angka kecelakaan lalu lintas dengan berbagai upaya [6]. Salah satunya adalah dengan upaya pencegahan dan peningkatan keselamatan lalu lintas, baik untuk upaya penanganan saat kejadian, penanganan pasca kejadian atau pun upaya pencegahan terjadinya kecelakaan lalu lintas. upaya pencegahan terjadinya kecelakaan lalu lintas dapat dilakukan dengan melakukan analisis prediksi kecelakaan lalu lintas. analisis prediksi kecelakaan lalu lintas berdasarkan kondisi jalan penting dilakukan karena faktor kondisi

jalan adalah faktor yang memiliki kemungkinan lebih tinggi untuk dilakukan pengendalian dan pengontrolan, dibandingkan dengan faktor manusia/pengemudi yang bersifat lebih subjektif.

Distribusi binomial negatif yang digunakan untuk mengembangkan model hubungan frekuensi kecelakaan dengan volume lalu lintas harian menghasilkan model secara keseluruhan menunjukkan kecocokan statistika [9]. Regresi binomial negatif merupakan generalisasi dari bentuk regresi poisson untuk mengatasi permasalahan overdispersi [10]. Pada dasarnya model yang dihasilkan HSM dibangun berdasarkan distribusi poisson.

Analisis prediksi kecelakaan lalu lintas berdasarkan kondisi jalan dapat dilakukan dengan menggunakan *Highway Safety Manual* (HSM) yang diterbitkan oleh *The American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) pada tahun 2010. HSM menyediakan metode untuk melakukan analisis keselamatan kuantitatif, dengan variabel *Safety Performance Function* (SPSf) yang memperhatikan nilai LHR, dan *Crash Modification Factors* (CMFs) yang memperhatikan kondisi geometrik jalan [11]. Faktor kalibrasi adalah rasio dari total frekuensi kecelakaan lalu lintas yang diamati untuk sekelompok lokasi terpilih dengan total frekuensi kecelakaan lalu lintas yang diprediksi untuk lokasi yang sama. rasio kalibrasi merupakan perbandingan nilai kecelakaan aktual di lapangan dengan nilai prediksi kecelakaan yang dihasilkan dari aplikasi model HSM, semakin banyak periode pengamatan yang digunakan maka nilai akurasi kalibrasi akan semakin tinggi, oleh karenanya perlu dilakukan perhitungan nilai kalibrasi per segmen disetiap tahunnya selama 5 periode pengamatan, sesuai dengan data yang dimiliki. Didapatkan nilai faktor kalibrasi gabungan (C) gabungan pada Jalan Tol Jakarta-Cikampek, Jakarta-Bogor-Ciawi, dan Jakarta-Tangerang sebesar 1,95 [12]. Oleh karenanya maka perlu dilakukan analisis pada lokasi Jalan Tol di Jawa Timur, mengingat Jalan Tol di Jawa Timur menjadi penyumbang kecelakaan pada Jalan Tol nomor dua tertinggi setelah Jalan Tol di Provinsi DKI Jakarta.

Hasil akhir dari analisis prediksi kecelakaan lalu lintas dengan menggunakan HSM ini adalah untuk mengetahui nilai kalibrasi gabungan model HSM pada Jalan Tol Surabaya-Gempol yang dihasilkan dari gabungan nilai kalibrasi tahunan, sehingga model HSM dengan nilai kalibrasi gabungan yang dihasilkan dapat digunakan secara utuh untuk memprediksi angka kecelakaan per tahun yang akan terjadi di masa depan berdasarkan kondisi jalan dan lalu lintas di Jalan Tol Surabaya-Gempol. pengaplikasian HSM juga dilakukan untuk membandingkan kondisi kecelakaan lalu lintas pada Jalan Tol Surabaya-Gempol dengan Jalan Tol di Amerika.

2. Metode

Sebagai tahapan awal dilakukan pengumpulan data sekunder yang didapatkan dari PT. Jasa Marga Surabaya-Gempol dan Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal). Data yang digunakan berupa data jumlah dan tingkat keparahan kejadian kecelakaan lalu lintas setiap segmen selama 5 periode pengamatan. Kemudian data lalu lintas jalan setiap segmen selama 5 periode pengamatan, data ini berupa data lalu lintas harian rata-rata. Selanjutnya data geometrik jalan setiap segmen baik kondisi horizontal jalan maupun kondisi vertikal jalan. Dan yang terakhir adalah data ketersediaan fasilitas jalan per segmen.

Dalam HSM terdapat 4 bagian. Bagian A merupakan bagian pendahuluan yang berisi pengenalan, faktor manusia, dan fundamental. Bagian B merupakan pembahasan mengenai proses manajemen keselamatan. Selanjutnya bagian C yang membahas tentang metode prediksi dan yang terakhir yaitu bagian D yaitu pembahasan mengenai faktor modifikasi kecelakaan (*Crash Modification Factors*) [11].

Pengaplikasian model *Highway Safety Manual* dimulai dari membagi jalan menjadi segmen individual, pada penelitian ini pembagian segmen dilakukan setiap 200 meter. Selanjutnya dilakukan analisis jumlah kecelakaan yang dihasilkan (*Nspf*) berdasarkan kondisi lalu lintas dan analisis nilai *CMF* berdasarkan kondisi jalan. Kemudian dilakukan analisis nilai faktor kalibrasi (C) berdasarkan rasio perbandingan jumlah kecelakaan yang dihasilkan (*Nspf*) dengan jumlah kecelakaan aktual (*Naktual*). Lalu dapat ditentukan jumlah kecelakaan lalu lintas prediksi (*Npredicted*) berdasarkan tiga kondisi tersebut. Kemudian melakukan pengaplikasian *Empirical Bayes* (EB) untuk menentukan jumlah kecelakaan yang diekspetasikan (*Nexpected*).

A. Segmentasi Jalan

Apabila ada suatu segmen yang memiliki karakteristik yang berbeda dari kondisi sebelumnya, maka segmen tersebut dijadikan sebagai segmen baru. Jika kondisi baru menghasilkan segmen baru, maka hal ini berpengaruh pada nilai *CMFs*, setiap karakteristik segmen yang berbeda maka nilai *CMFs* juga akan berbeda, menyesuaikan dengan karakteristik segmen tinjauan. Pada penelitian ini pembagian segmen dilakukan per 200 meter. Hal ini dilakukan agar nilai yang dihasilkan akan memiliki nilai akurasi yang lebih tinggi.

B. Safety Performance Functions (SPFs)

Safety Performance Functions (SPFs) merupakan bentuk model regresi yang digunakan untuk memprediksi frekuensi rata rata kecelakaan untuk segmen jalan individual atau jalan persimpangan. SPFs digunakan untuk menentukan perkiraan rata rata frekuensi kecelakaan dari tahun tertentu dan dalam kondisi dasar yang spesifik.

Fungsi kinerja keselamatan diperoleh dari data kecelakaan yang memiliki kesetaraan pada entitas yang diamati. Highway Safety Manual (HSM), telah mendefinisikan kondisi dasar untuk segmen jalan dalam membangun SPFs yaitu berdasarkan lebar jalan, lebar dan tipe bahu jalan dan lebar median dengan panjang segmen satu jalan tetap dan besarnya volume lalu lintas [12].

Kondisi dasar untuk membangun SPFs untuk segmen jalan pada segmen jalan empat lajur 2 arah terbagi (4/2D) didapatkan sebagai berikut :

1. Lebar lajur (3.2 – 12 feet);
2. Lebar bahu (1.6 -12 feet);
3. Dengan penerangan;
4. Tanpa *speed enforcement* .

Prediksi frekuensi kecelakaan rata-rata untuk jalan ditunjukkan pada persamaan 1

$$Nspf\ rd = e^{(a+b \times \ln(LHRT)+Ln(L))} \quad (1)$$

dimana :

Nspf rd = Jumlah kecelakaan lalu lintas untuk satu segmen jalan dengan median sesuai kondisi dasar;

LHRT = Lalu lintas harian rata-rata tahunan pada segmen jalan (kend/hari);

L = Panjang Segmen Jalan (km);

a, b = Koefisien koefisien regresi.

Tabel 1. Koefisien SPFs untuk kecelakaan lalu lintas

Severity level	a	b	c
4-lane total	-9,025	1,049	1,549
4-lane fatal and injury	-8,837	0,958	1,687
4-lane and injury	-8,505	0,874	1,74

C. Crash Modification Factors (CMFs)

CMFs merupakan rasio perkiraan frekuensi rata rata kecelakaan disuatu tempat dengan mempertimbangkan dua kondisi yang berbeda. *CMF* menunjukkan perubahan angka kecelakaan yang diakibatkan perubahan suatu kondisi. Terdapat dua belas kondisi *CMF*, mulai dari lebar lajur, lebar dan tipe bahu jalan, lengkung horizontal, beda tinggi, lalu lintas harian rata rata dan fasilitas penunjang jalan. Terdapat dua belas kondisi *CMF* mulai dari lebar , jika tidak terdapat pada kondisi eksisting maka nilai *CMF* diasumsikan satu. Tidak lengkapnya data menjadi faktor utama yang menyebabkan model HSM kurang dapat menginter-pretasikan kondisi kecelakaan lalu lintas eksisting, sehingga hal ini dapat digunakan menjadi bahan evaluasi. Penentuan nilai *CMF* dilakukan setiap segmen sepanjang Jalan Tol Surabaya-Gempol yaitu per 200 meter.

Jika nilai kecelakaan lebih tinggi dari kondisi dasar maka nilai *CMF* akan lebih dari 1, dan jika nilai kecelakaan rata rata lebih rendah dari kondisi dasar maka nilai *CMF* akan kurang dari 1. Terdapat 12 kondisi penentuan nilai *Crash Modification Factors* (*CMFs*) sebagai berikut:

- CMF 1rd = Lane Width;
- CMF 2rd = Shoulder Width and Type;
- CMF 3rd = Horizontal Curves : Length, Radius, and Presence of Spiran Transitions ;
- CMF 4rd = Horizontal Curves : Superelevation;
- CMF 5rd = Grades;
- CMF 6rd = Driveway Density;
- CMF 7rd = Centerline Rumble Strips;
- CMF 8rd = Passing Lines;
- CMF 9rd = Two Way Left Turn Lanes;
- CMF 10rd = Roadside Design;
- CMF 11rd = Lighting;
- CMF 12rd = Automated Speed Enforcement.

Penjelasan selengkapnya mengenai *Crash Modification Factors* (CMF) adalah sebagai berikut:

1. Lebar lajur pada segmen jalan dengan median (CMF1_{rd})

Ditinjau dari lebar lajur pada segmen jalan dengan median, baik bahu luar jalan maupun bahu dalam jalan, maka dilakukan analisis nilai *Crash Modification Factors 1rd* dengan menggunakan perumusan 2.

$$CMF\ 1\ rd = (CMF_{ra}-1) \times Pra+1 \tag{2}$$

dimana :

CMF 1 rd = *Crash modification factor* dampak dari lebar jalan dari total kecelakaan;

CMF 1 rd = *Crash modification factor* dampak dari lebar jalan dari kondisi kecelakaan tertentu;

Pra = Proporsi dari total kecelakaan.

2. Tipe dan lebar bahu pada semen jalan dengan median (CMF2_{rd})

Ditinjau dari perbedaan tipe bahu jalan (CMF_{wra}) dan lebar bahu jalan (CMF_{tra}), baik bahu dalam jalan maupun bahu luar jalan, maka dilakukan analisis *Crash Modification Factors 2rd* menggunakan perumusan 3.

$$CMF\ 2\ rd = (CMF_{wra} \times CMF_{tra}-1,0) \times Pra+1,0 \tag{3}$$

dimana:

CMF 2 rd = *Crash modification factor* dampak dari tipe dan lebar bahu jalan;

CMF wra = *Crash modification factor* untuk kecelakaan terkait lebar bahu jalan;

CMF tra = *Crash modification factor* untuk kecelakaan berdasarkan tipe bahu jalan;

Pra = Proporsi total kecelakaan yang disebabkan oleh kecelakaan terkait.

3. Lengkung horizontal: panjang, radius, dan keberadaan transisi spiral (CMF3_{rd})

Berdasarkan kondisi lengkung horizontal, berupa panjang tikungan dalam satuan *miles*, radius tikungan dalam satuan *feet*, dan keberadaan transisi spiral pada segmen jalan, maka dilakukan analisis nilai *Crash Modification Factors 3rd* berdasarkan perumusan 4.

$$CMF\ 3rd = \frac{(1,55 \times Lc) + \left(\frac{80,2}{R}\right) - (0,012 \times S)}{(1,55 \times Lc)} \tag{4}$$

dengan:

CMF 3 rd = *Crash Modification Factor* berdasar dampak dari ali-nyemen horizontal dari total kecelakaan;

Lc = Panjang tikungan horizontal (miles) termasuk transisi spiral;

R = Jari jari kurvatur (feet);

S = 1 jika terdapat transisi spiral, 0 jika tidak terdapat transisi spiral, 0,5 jika terdapat transisi spiral tetapi tidak dampai titik akhir.

4. Lengkung Horizontal: Superelevasi (CMF4_{rd})

Ditinjau dari lengkung horizontal berupa kondisi superelevasi pada segmen jalan, digunakan perumusan *Crash Modification Factors 4rd* 5, 6, dan 7.

$$CMF\ 4r = 1\ \text{untuk}\ SV < 0,01 \tag{5}$$

$$CMF\ 4r = 1 + 6 \times (SV-0,01)\ \text{untuk}\ 0,01 \leq SV < 0,02 \tag{6}$$

$$CMF\ 4r = 1,06 + 3 \times (SV - 0,02)\ \text{untuk}\ SV \geq 0,02 \tag{7}$$

5. Beda Tinggi (CMF5_{rd})

Berdasarkan kondisi vertikal jalan baik menaik maupun menurun berupa nilai beda tinggi antar segmen jalan satu dengan segmen jalan lain yang berurutan, didefinisikan dalam satuan persen, dilakukan analisis nilai *Crash Modification Factors 5rd* yang dibagi menjadi 3 kategori ketentuan yaitu:

- 1. Beda tinggi ≤3% = 1
- 2. Beda tinggi antara 3% - 6% = 1,10
- 3. Beda tinggi >6% = 1,16

6. Kepadatan Jalan (CMF 6_{rd})

Ditinjau dari nilai kepadatan setiap segmen jalan yang didapatkan dengan membagi nilai volume lalu lintas tahunan per segmen dengan nilai kapasitas jalan per segmen. Nilai volume lalu lintas harian rata-rata per segmen juga ikut diperhitungkan untuk analisis nilai *Crash Modification Factors 6rd*, hal ini dapat dilihat pada persamaan 8.

$$CMF\ 6r = \frac{0,322+DD \times [0,05-0,05 \times \ln(AADT)]}{0,322+5 \times [0,05-0,005 \times \ln(AADT)]} \tag{8}$$

dimana :

CMF 6r = *Crash modification factor* berdasarkan kepadatan jalan dari total kecelakaan;

AADT = *Avarage annual daily traffic* atau lalu lintas harian rata rata (veh/day);

DD = Kepadatan lalu lintas jalan di kedua bagian jalan;

D. Calibration Factors (C)

Faktor kalibrasi adalah rasio dari total frekuensi kecelakaan lalu lintas yang diamati untuk sekelompok lokasi terpilih dengan total frekuensi kecelakaan lalu lintas yang diprediksi untuk lokasi yang sama, dilakukan analisis berdasarkan perumusan 9.

$$C = \frac{\text{Site observed crashes}}{\text{Site predicted crashes}} \tag{9}$$

dimana :

- C = Faktor kalibrasi;
- Site observed crashes = Jumlah kecelakaan lalu lintas yang diamati;
- Site predicted crashes = Jumlah kecelakaan lalu lintas yang diprediksi.

E. Jumlah Kecelakaan Prediksi (*Npredicted*)

Perkiraan jumlah prediksi kecelakaan lalu lintas setiap segmen jalan (*Npredicted*) ditentukan berdasarkan kondisi lalu lintas jalan (*Nspf*), kondisi geometrik dan fasilitas jalan (*CMF*), dan rasio perbandingan nilai *Nspf* dengan Naktual. Perkiraan jumlah prediksi kecelakaan lalu lintas setiap segmen ditentukan berdasarkan persamaan 10.

$$N_{predicted} = N_{spf} \cdot rd \cdot C \cdot (CMF_{1rd} \cdot CMF_{2rd} \cdot \dots \cdot CMF_{12rd}) \tag{10}$$

- dimana :
- Npredicted* = Perkiraan jumlah kecelakaan lalu lintas untuk satu segmen jalan;
- Nspf rd* = Jumlah kecelakaan lalu lintas untuk satu segmen jalan dengan median sesuai kondisi dasar;
- CMF xrd* = Faktor faktor modifikasi kecelakaan lalu lintas tertentu untuk satu segmen jalan dengan median;
- C = Faktor Kalibrasi.

F. Metode Empirical Bayes (EB)

Metode EB digunakan untuk menentukan estimasi jumlah kecelakaan ekspektasi atau Nekspetasi dengan menggabungkan frekuensi kecelakaan Naktual dengan *Nprediksi*. Metode EB menggunakan faktor pembanding *w* yang merupakan fungsi dari parameter overdispersi *k*. Nilai dari frekuensi kecelakaan ekspektasidapat dinyatakan dengan persamaan 11 dan 12

$$w = \frac{1}{1+k(\sum \text{Seluruh tahun studi } N_{prediksi})} \tag{11}$$

$$k = \frac{0,236}{L} \tag{12}$$

dimana :

- w* = Faktor Pembanding;
- k* = Parameter overdispersi;
- L* = panjang segmen (miles).

Nilai estimasi jumlah kecelakaan ekspektasi atau Nekspetasi dari segmen jalan dihitung berdasarkan nilai parameter overdispersi yang dilihat dari panjang segmen jalan yang ditinjau, dapat dilihat pada persamaan 13 .
 Nekspetasi = *w* x *Nprediksi* + (1-*w*)x Naktual (13)

3. Hasil dan Pembahasan

Dilakukan analisis *Safety Performance Functions* (SPFs) yang merupakan model regresi untuk memperkirakan frekuensi kecelakaan lalu lintas rata-rata berdasarkan kondisi dasar. Tahapan selanjutnya yaitu melakukan analisis *Crash Modification Factors* (CMFs) yang dilakukan untuk menilai efek desain geometrik dan kontrol lalu lintas di suatu segmen jalan dengan meninjau enam parameter mulai dari *CMF 1rd*, *CMF 2rd*, *CMF 3rd*, *CMF 4rd*, *CMF 5rd*, dan *CMF 6rd*. Kemudian analisis nilai kalibrasi (C) yang dilakukan untuk menghitung perbedaan jumlah kecelakaan yang diprediksi oleh *HSM* dengan jumlah kecelakaan aktual. Jika suatu lokasi jalan memiliki nilai faktor kalibrasi semakin mendekati satu maka kondisi lokasi tersebut semakin sesuai dengan kondisi jalan di Amerika . Selanjutnya melakukan analisis nilai prediksi kecelakaan lalu lintas (*Npredicted*) dengan elemen dasar model prediksi yaitu SPFs, CMFs, dan faktor kalibrasi (C) sebagai elemen pembanding . dengan contoh perhitungan pada **Tabel 2**

Tabel 2. Contoh hasil perhitungan *Npredicted* setiap segmen

Segmen	<i>Nspf</i> (kecelakaan/segmen)	C	CMF 1	CMF 2	CMF 3	CMF 4	CMF 5	CMF 6	<i>Npredicted</i>
0	0.615	1.626	1.005	1.003	0.000	1.000	1.000	0.513	0.000
200	2.000	0.000	1.000	1.000	6.733	1.000	1.000	0.508	0.000
400	2.000	0.000	1.000	1.000	6.641	1.000	1.000	0.508	0.000
600	2.000	0.000	1.000	1.000	3.694	1.000	1.000	0.508	0.000
800	2.000	0.000	1.000	1.000	3.773	1.000	1.000	0.508	0.000
1000	2.000	0.000	1.000	1.000	4.101	1.000	1.000	0.508	0.000
1200	0.309	6.475	1.001	1.002	18.039	1.000	1.000	0.480	18.000
1400	2.000	0.000	1.000	1.000	13.739	1.000	1.000	0.508	0.000
1600	0.627	1.595	1.001	1.001	17.827	1.000	1.000	0.510	10.000
1800	2.000	0.000	1.000	1.000	8.231	1.000	1.000	0.508	0.000
2000	2.000	0.000	1.000	1.000	2.419	1.000	1.000	0.508	0.000

Setelah didapatkan nilai *Npredicted* maka dilakukan pengaplikasian *Empirical Bayes* (EB) dengan tujuan menggabungkan dua buah informasi tentang sebuah identitas yang sedang diamati yaitu data jumlah kecelakaan lalu lintas dan informasi perkiraan jumlah kecelakaan lalu lintas yang

didapatkan sehingga meningkatkan presisi terhadap estimasi kecelakaan. Metode EB digunakan untuk menentukan estimasi jumlah kecelakaan ekspektasi atau Nekspetasi dengan menggabungkan frekuensi kecelakaan aktual Naktual dengan *Nprediksi* dengan contoh perhitungan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Contoh hasil perhitungan $N_{expected}$ setiap segmen

Segmen	w	$N_{predicted}$	N_{aktual}	$N_{expected}$
0	1.000	0.000	1.000	0.000
200	1.000	0.000	0.000	0.000
400	1.000	0.000	0.000	0.000
600	1.000	0.000	0.000	0.000
800	1.000	0.000	0.000	0.000
1000	1.000	0.000	0.000	0.000

Perhitungan nilai $N_{ekspetasi}$ dilakukan setiap tahun berdasarkan nilai faktor kalibrasi rata-rata yang dihasilkan setiap tahunnya dan parameter overdispersi berdasarkan nilai panjang segmen yang digunakan, hal ini dilakukan untuk meningkatkan keakuratan hasil. Perhitungan dilakukan setiap tahun selama 5 periode pengamatan, mulai dari tahun 2018 hingga tahun 2022.

A. Tahun 2018

Dengan menggunakan persamaan 9 didapatkan nilai faktor kalibrasi tahun 2018 = 0.455, kemudian dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 13 sehingga didapatkan perbandingan nilai $N_{ekspetasi}$ dan nilai N_{aktual} ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Jumlah kecelakaan Jalan Tol Surabaya-Gempol tahun 2018

KM	$N_{ekspetasi}$	N_{aktual}	Deviasi
0-8	8	18	55%
9-16	4	15	74%
17-24	7	16	57%
25-32	7	20	63%
33-40	7	8	15%
41-45	0	6	100%

Didapatkan nilai $N_{ekspetasi}$ rata rata angka kecelakaan yang dihasilkan model *HSM* pada tahun 2018 sebesar 39,32% dari rata-rata angka kecelakaan berdasarkan hasil observasi.

B. Tahun 2019

Dengan menggunakan persamaan 9, dan dilakukan perhitungan rata rata pada sepanjang tahun di setiap segmen sepanjang Jalan Tol Surabaya-Gempol, didapatkan nilai faktor kalibrasi tahun 2019 = 0.385, kemudian dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 13 sehingga didapatkan perbandingan nilai $N_{ekspetasi}$ dan nilai N_{aktual} . Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai deviasi sebagai prosentase perbedaan antara nilai $N_{ekspetasi}$ dengan nilai N_{aktual} . Hasil perhitungan ditunjukkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Jumlah kecelakaan Jalan Tol Surabaya-Gempol tahun 2019

KM	$N_{ekspetasi}$	N_{aktual}	Deviasi
0-8	8	15	49%
9-16	5	11	54%
17-24	10	18	42%
25-32	8	17	52%
33-40	6	11	42%
41-45	0	0	100%

Didapatkan nilai $N_{ekspetasi}$ rata rata angka kecelakaan yang dihasilkan model *HSM* pada tahun 2019 sebesar 43,53% dari rata-rata angka kecelakaan berdasarkan hasil observasi.

C. Tahun 2020

Dengan menggunakan persamaan 9, dan dilakukan perhitungan rata rata pada sepanjang tahun di setiap segmen sepanjang Jalan Tol Surabaya-Gempol, didapatkan nilai faktor kalibrasi tahun 2020 = 0.312, kemudian dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 13 sehingga didapatkan perbandingan nilai $N_{ekspetasi}$ dan nilai N_{aktual} , perhitungan jumlah $N_{ekspetasi}$ dan N_{aktual} dilakukan setiap 8 KM. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai deviasi sebagai prosentase perbedaan antara nilai $N_{ekspetasi}$ dengan nilai N_{aktual} . Hasil perhitungan ditunjukkan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Jumlah kecelakaan Jalan Tol Surabaya-Gempol tahun 2020

KM	$N_{ekspetasi}$	N_{aktual}	Deviasi
0-8	3.00	77.64	96%
9-16	8.00	70.63	89%
17-24	1.00	76.41	99%
25-32	12.00	64.03	81%
33-40	17.00	67.43	75%
41-45	1.00	22.61	96%

Didapatkan nilai $N_{ekspetasi}$ rata rata angka kecelakaan yang dihasilkan model *HSM* pada tahun 2020 sebesar 10.81% dari rata-rata angka kecelakaan berdasarkan hasil observasi.

D. Tahun 2021

Dengan menggunakan persamaan 9 didapatkan nilai faktor kalibrasi tahun 2021 = 0.318, kemudian dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 13 sehingga didapatkan perbandingan nilai $N_{ekspetasi}$ dan nilai N_{aktual} pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Jumlah kecelakaan Jalan Tol Surabaya-Gempol tahun 2021

KM	$N_{ekspetasi}$	N_{aktual}	Deviasi
0-8	11	14	22%
9-16	5	7	26%
17-24	5	11	51%
25-32	7	16	56%
33-40	3	5	33%
41-45	0	0	100%

Didapatkan nilai $N_{ekspetasi}$ rata rata angka kecelakaan yang dihasilkan model *HSM* pada tahun 2021 sebesar 51.89 % dari rata-rata angka kecelakaan berdasarkan hasil observasi.

E. Tahun 2022

Dengan menggunakan persamaan 9 didapatkan nilai faktor kalibrasi tahun 2022 = 0.23, kemudian dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 13 sehingga didapatkan perbandingan nilai $N_{ekspetasi}$ dan nilai N_{aktual} pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Jumlah kecelakaan Jalan Tol Surabaya-Gempol tahun 2022

KM	N ekspektasi	N aktual	Deviasi
0-8	3.93	8.00	51%
9-16	9.11	9.00	-1%
17-24	5.68	9.00	37%
25-32	5.56	9.00	38%
33-40	1.44	3.00	52%
41-45	0.00	1.00	100%

Didapatkan nilai ekspektasi rata rata angka kecelakaan yang dihasilkan model *HSM* pada tahun 2022 sebesar 53.88 % dari rata-rata angka kecelakaan berdasarkan hasil observasi.

F. Model aplikasi *Highway Safety Manual*

Perumusan model *Highway Safety Manual* (HSM) yang akan digunakan sesuai persamaan (1) dan (13) adalah

$$N_{\text{predicted}} =$$

$$N_{\text{nspr}} \times r_d \times 0.34 \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times \dots \times CMF_{6rd})$$

$$N_{\text{ekspektasi}} = w \times N_{\text{prediksi}} + (1-w) \times N_{\text{aktual}}$$

Setelah didapatkan nilai kalibrasi per tahun, maka ditentukan kalibrasi gabungan untuk model yang ditunjukkan pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Rekapitulasi nilai deviasi rata rata dan faktor kalibrasi tahunan

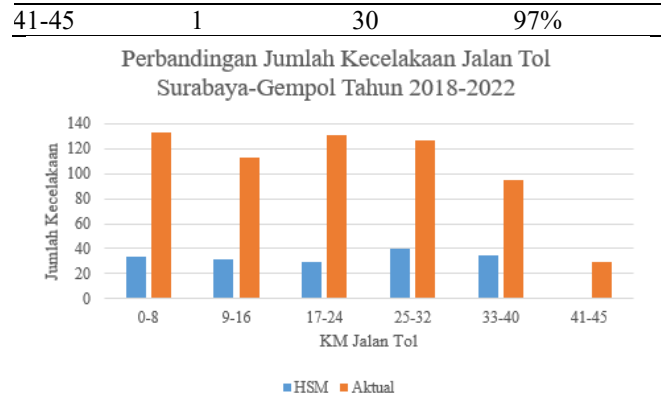
Tahun	Deviasi rata rata	Faktor kalibrasi
2018	39.32%	0.455
2019	43.53%	0.385
2020	10.81%	0.312
2021	51.89%	0.318
2022	53.88%	0.23
rata-rata	39.89%	0.34

Didapatkan nilai faktor kalibrasi gabungan pada Jalan Tol Surabaya-Gempol sebesar 0.34. Dibandingkan dengan faktor kalibrasi yang dihasilkan oleh M.Iqbal pada Jalan Tol pada Provinsi DKI Jakarta yaitu sebesar 1.95 [12], jumlah kecelakaan lalu lintas pada jalan tol tersebut kurang lebih enam kali lipat dari Jalan Tol Surabaya-Gempol. Pada suatu lokasi, semakin faktor kalibrasi mendekati satu maka semakin sesuai dan semakin efektif penggunaan model *Highway Safety Manual* pada lokasi tersebut.

Perbandingan jumlah kecelakaan aktual dan jumlah kecelakaan dengan menggunakan model prediksi *Highway Safety Manual* pada Jalan Tol Surabaya-Gempol pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Rekapitulasi Nekspektasi dengan Naktual selama 5 periode pengamatan

KM	Nekspektasi	N aktual	Deviasi
0-8	34	133	75%
9-16	31	113	72%
17-24	29	130	78%
25-32	40	126	68%
33-40	35	94	63%

**Gambar 1.** Grafik jumlah kecelakaan Jalan Tol Surabaya-Gempol

Dari hasil perhitungan didapatkan jumlah kecelakaan Jalan Tol Surabaya-Gempol yang dihasilkan oleh model HSM jauh lebih rendah dibanding dengan jumlah kecelakaan aktual. Berdasarkan hal tersebut, didapatkan nilai keselamatan yang dihasilkan oleh model aplikasi *HSM* cenderung rendah, sehingga model aplikasi HSM dinilai kurang efektif untuk diaplikasikan pada Jalan Tol Surabaya-Gempol.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, nilai prediksi kecelakaan lalu lintas berdasarkan aplikasi *Highway Safety Manual* (HSM), AASHTO (2010) pada Jalan Tol Surabaya Gempol adalah sebagai berikut:

1. Didapatkan nilai faktor kalibrasi gabungan atau C gabungan sebesar 0.34, hal ini dapat menjelaskan bahwa jumlah kecelakaan lalu lintas di Jalan Tol Surabaya-Gempol sebesar kurang lebih 1/3 kali lipat dibandingkan dengan jumlah kecelakaan di Jalan Tol Amerika.
2. Berdasarkan perbandingan nilai jumlah kecelakaan aktual dan jumlah kecelakaan yang diekspetasikan oleh HSM, jumlah kecelakaan lalu lintas ekspektasi HSM lebih kecil dibandingkan dengan jumlah kecelakaan lalu lintas aktual, sehingga tingkat keselamatan yang dihasilkan oleh aplikasi HSM pada Jalan Tol Surabaya-Gempol cenderung rendah, berdasarkan hal tersebut maka dapat disimpulkan bahwa model aplikasi HSM dinilai kurang efektif untuk memprediksi jumlah kecelakaan lalu lintas pada Jalan Tol Surabaya-Gempol. hal tersebut dapat terjadi karena perbedaan signifikan antara kondisi jalan eksisting dengan kondisi jalan di Amerika.

Daftar Pustaka

- [1] T. J. Tol, "transformasi jalan tol merajut nusantara transformasi jalan tol merajut nusantara."
- [2] Presiden Republik Indonesia, "UU No.22 tahun

- 2009.pdf.” p. 203, 2009, [Online]. Available: https://jdih.dephub.go.id/assets/uudocs/uu/uu_no.22_tahun_2009.pdf.
- [3] Pemerintah Republik Indonesia, “Peraturan Pemerintah No 43 Tahun 1993 Tentang Prasarana dan Lalu Lintas Jalan,” *Peratur. Pemerintah No 43 Tahun 1993*, vol. 2003, 2001.
- [4] E. Krug, “Decade of action for road safety 2011-2020,” *Injury*, vol. 43, no. 1, pp. 6–7, 2012, doi: 10.1016/j.injury.2011.11.002.
- [5] R. Widyastuti, A. Achadi, Y. Usman, T. Rosita, and M. Lusiana, “Analysis of The Causes of Death in Indonesia Due to Accident Based on The Sample Registration System from 2014 to 2016,” pp. 12–22, 2020, doi: 10.26911/the7thicph-fp.01.02.
- [6] R. K. Gorea, “Financial impact of road traffic accidents on the society,” *Int. J. Ethics, Trauma Vict.*, vol. 2, no. 01, pp. 6–9, 2016, doi: 10.18099/ijetv.v2i1.11129.
- [7] A. Fahza, “42123-84422-1-Pb,” *Anal. Drh. Rawan Kecelakaan Lalu Lintas pada Ruas Jalan Tol Surabaya-Gempol*, vol. 08, no. 1, pp. 54–59, 2019.
- [8] R. Indonesia, “No Title.”
- [9] J. M. Ver Hoef and P. L. Boveng, “How Should We Model Overdispersed Count Data? Should We Model Overdispersed Count Data?,” *Stat. REPORTS Ecol.*, vol. 88, no. 11, pp. 2766–2772, 2007,.
- [10] J. M. Hilbe, Ed., “Negative binomial regression: modeling,” in *Negative Binomial Regression*, 2nd ed., Cambridge: Cambridge University Press, 2011, pp. 221–283.
- [11] AASHTO, “Highway Safety Manual Part A Preface,” p. 1057, 2010.
- [12] M. Iqbal, T. Tjahjono, and A. Marino, “Pemanfaatan Highway Safety Manual (Hsm) Di Indonesia Dalam Memprediksi Kecelakaan,” *J. Transp.*, vol. 12, no. 3, pp. 175–184, 2012