

Pengembangan Model Prediksi Kecelakaan Lalu Lintas pada Jalan Tol Purbaleunyi

Lucky Aquita Rakhmat

Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No. 10, Bandung 40132, E-mail: luckyaquita@yahoo.com

Aine Kusumawati

Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No. 10, Bandung 40132, E-mail: aine@ftsl.itb.ac.id

Russ Bona Frazila

Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No. 10, Bandung 40132, E-mail: frazila@si.itb.ac.id

Sri Hendarto

Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No. 10, Bandung 40132, E-mail: hendarto_sh2@yahoo.co.id

Abstrak

Kondisi keselamatan lalu lintas jalan di Indonesia masih belum baik, kecelakaan lalu lintas masih sering terjadi dan memakan banyak korban jiwa. Salah satu upaya mendasar yang diperlukan untuk meningkatkan kondisi keselamatan lalu lintas jalan adalah dengan cara mengembangkan model prediksi kecelakaan. Model ini menghubungkan frekuensi kecelakaan yang terjadi pada suatu entitas jalan dengan arus lalu lintas dan berbagai faktor lingkungan jalan yang berkontribusi pada terjadinya kecelakaan. Kegunaan model ini adalah untuk mengestimasi dan memprediksi keselamatan suatu entitas jalan, mengidentifikasi lokasi-lokasi jalan berbahaya, dan juga untuk mengevaluasi keefektifan penerapan program penanganan lokasi berbahaya. Makalah ini menyajikan model prediksi kecelakaan pada ruas jalan tol Purwakarta-Bandung-Cileunyi (Purbaleunyi) yang dibangun dengan membandingkan kinerja statistik dari model regresi Poisson, Negatif Binomial (NB), Zero-Inflated Poisson (ZIP), dan Zero-Inflated Negative Binomial (ZINB). Hasil pemodelan mengindikasikan model regresi NB adalah model yang terbaik. Berdasarkan model yang dibangun, frekuensi kecelakaan berkorelasi positif dengan lintas harian rata-rata tahunan, derajat kelengkungan, dan keberadaan median yang tingginya kurang dari 1,75 m dan lebarnya kurang dari 2,5 m. Model yang dibangun kemudian diaplikasikan untuk melakukan identifikasi dan pemeringkatan segmen jalan berbahaya. Hasilnya menunjukkan bahwa KM 92-93 (arah Cileunyi) merupakan segmen yang paling berbahaya pada jalan tol Purbaleunyi.

Kata-kata Kunci: Kecelakaan lalu lintas, model prediksi kecelakaan, identifikasi dan pemeringkatan segmen jalan berbahaya.

Abstract

Road traffic safety condition in Indonesia still needs improvement that road traffic accidents occur frequently and cause many people died. One way to improve road safety is by developing accident prediction model. The model relates accident frequencies with traffic flow and various roadway geometric/environment characteristics contributing to accident occurrences. The model is useful to estimate and predict safety of a road entity, identify hazardous road locations, and also to evaluate treatment effectiveness applied on hazardous road locations. This paper presents the accident prediction model for Purwakarta-Bandung-Cileunyi (Purbaleunyi) toll road. The model was developed by comparing statistical performances of Poisson, Negatif Binomial (NB), Zero-Inflated Poisson (ZIP), dan Zero-Inflated Negative Binomial (ZINB) regression models. The modeling result indicates that the model which is developed using the NB regression model is the best. Based on the developed model, the accident frequency has positive correlations with annual average daily traffic, degree of curvature, and presence of median with height less than 1.75 m and width less than 2.5 m. The developed model was subsequently applied to identify and rank hazardous road segments. The result shows that KM 92-93 (direction to Cileunyi) is the most hazardous segment at Purbaleunyi toll road.

Keywords: Traffic accident, accident prediction model, identify and rank hazardous road segments.

1. Pendahuluan

Keselamatan lalu lintas seringkali didefinisikan sebagai suatu kondisi tanpa adanya kecelakaan. Keselamatan lalu lintas tidak terjadi secara tiba-tiba, namun memerlukan suatu usaha nyata guna mencapai kondisi tersebut. Data WHO (2004) menyebutkan bahwa setiap tahun 1,2 juta orang meninggal dunia akibat kecelakaan lalu lintas dan 50 juta lainnya mengalami luka-luka. Dari jumlah tersebut 85% terjadi di negara-negara dengan pendapatan rendah dan sedang (termasuk Indonesia). Data WHO (2009) bahkan menyebutkan 91% kematian akibat kecelakaan lalu lintas terjadi di negara-negara dengan pendapatan rendah dan sedang, yang berarti naik sebesar 6% dalam kurun waktu 5 tahun. Kondisi tersebut sangatlah mengkhawatirkan, apabila mengingat mayoritas populasi kendaraan bermotor terdapat pada negara maju. Dengan demikian, diperlukan usaha nyata dan serius untuk dapat mengurangi angka kecelakaan lalu lintas dan angka kematian akibat kecelakaan lalu lintas.

Kecelakaan lalu lintas timbul karena adanya interaksi antara eksposur dan resiko. Secara umum, eksposur dapat didefinisikan sebagai jumlah situasi yang potensial menyebabkan suatu jenis kecelakaan akan terjadi pada suatu waktu dan lokasi tertentu, sedangkan resiko adalah probabilitas bahwa suatu kecelakaan akan terjadi jika suatu situasi potensial kecelakaan telah timbul. Dengan demikian, jumlah kecelakaan dapat dikurangi dengan cara mengurangi eksposur kecelakaan dan juga resiko kecelakaan. Eksposur kecelakaan pada umumnya direpresentasikan oleh arus lalu lintas, sementara resiko kecelakaan merupakan fungsi dari berbagai faktor yang saling berinteraksi, seperti faktor manusia, faktor kendaraan, dan faktor lingkungan jalan. Berbagai studi menunjukkan bahwa faktor manusia berkontribusi terhadap 95% kejadian kecelakaan, dan merupakan faktor tunggal dari sekitar 65% kejadian kecelakaan (Grime, 1987). Kerusakan kendaraan, baik sebagai faktor tunggal atau berkombinasi dengan faktor lain, berkontribusi pada 8% kejadian kecelakaan. Kondisi lingkungan jalan yang tidak bersahabat, baik sebagai faktor tunggal atau berkombinasi dengan faktor lain, berkontribusi terhadap 28% kejadian kecelakaan. Walaupun faktor manusia merupakan faktor penyebab utama pada mayoritas kejadian kecelakaan, namun mengingat karakteristik dan perilaku manusia yang bervariasi secara alamiah maka tidaklah mudah untuk mempelajari pengaruh faktor manusia pada kejadian kecelakaan serta tidak ada tindakan penanggulangan yang dapat secara efektif diterapkan pada pengguna jalan. Oleh sebab itu, strategi penanggulangan kecelakaan umumnya diarahkan pada penerapan tindakan perbaikan teknis pada infrastruktur jalan guna mengurangi kemungkinan pengguna jalan/pengemudi membuat kesalahan dan guna membuat lingkungan jalan lebih dapat mentolelir kesalahan yang dibuat pengguna jalan/pengemudi.

Jalan tol merupakan jalan yang memiliki resiko relatif tinggi akan terjadinya kecelakaan dibanding jenis jalan lainnya. Dalam hal ini, jalan tol Purwakarta-Bandung-Cileunyi (Purbaleunyi), terutama ruas Cipularang, merupakan salah satu ruas jalan tol dengan angka kecelakaan yang cukup tinggi dibanding ruas tol lainnya. Upaya mendasar yang dibutuhkan untuk memperbaiki tingkat keselamatan jalan tol di Indonesia adalah mengembangkan model prediksi kecelakaan lalu lintas pada ruas jalan tol. Fungsi dari model ini adalah untuk memberikan estimasi atau prediksi angka kecelakaan lalu lintas yang bebas terhadap bias akibat fenomena *regression-to-the-mean*. Hasil estimasi atau prediksi angka kecelakaan lalu lintas tersebut menjadi dasar bagi dikembangkannya berbagai metoda untuk mengidentifikasi lokasi-lokasi berbahaya pada suatu entitas jalan yang lebih andal secara statistik dibandingkan metoda-metoda yang selama ini lazim digunakan di Indonesia. Lebih lanjut, model ini juga dapat digunakan untuk melakukan penilaian akan keefektifan dari penerapan suatu program penanganan pada lokasi-lokasi berbahaya. Dengan demikian, sasaran akhir yang diharapkan dengan terbangunnya model prediksi kecelakaan pada ruas jalan tol ini adalah meningkatnya kondisi keselamatan lalu lintas pada jalan tol di Indonesia.

Makalah ini menyajikan model prediksi kecelakaan yang dikembangkan untuk ruas jalan tol Purwakarta-Bandung-Cileunyi (Purbaleunyi) dan aplikasi dari model yang dikembangkan untuk melakukan identifikasi dan pemeringkatan lokasi-lokasi jalan berbahaya. Mengingat angka kecelakaan bersifat diskrit dan tidak dapat bernilai negatif maka model prediksi kecelakaan dibangun dengan menggunakan model regresi non-linier. Dalam makalah ini, model yang dipertimbangkan adalah model regresi Poisson, Negatif Binomial (NB), Zero-Inflated Poisson (ZIP), dan Zero-Inflated Negative Binomial (ZINB). Kinerja statistik dari keempat model tersebut dipertimbangkan untuk memilih model regresi yang paling cocok digunakan untuk memodelkan angka kecelakaan pada ruas jalan tol Purbaleunyi.

2. Model Prediksi Kecelakaan

Metoda pemodelan banyak variabel (*multivariate modeling*) merupakan teknik yang paling umum digunakan dalam membangun model prediksi kecelakaan. Model regresi yang digunakan dapat berupa model regresi linier maupun model regresi non-linier. Model regresi non-linier yang biasa digunakan mencakup model regresi Poisson, model regresi negatif binomial (NB), model regresi *zero inflated Poisson* (ZIP), dan model regresi *zero inflated* negatif binomial (ZINB).

Model regresi linier banyak digunakan dalam berbagai studi mengenai keselamatan (Tanner, 1953; Colgate dan Tanner, 1967; Leong, 1973; Lau dan May, 1988; Jadaan dan Nicholson, 1992; Abbas, 2004). Model ini mendasarkan pada asumsi bahwa *error* terdistribusi secara normal dengan rerata nol dan variansi konstan. Namun, Jovanis dan Chang (1986) serta banyak peneliti lainnya menyatakan bahwa model regresi linier harus digunakan secara hati-hati dalam studi keselamatan karena angka kecelakaan tidak dapat bernilai negatif dan *error* dari angka kecelakaan memiliki nilai variansi yang tidak konstan. Lebih lanjut, Maycock dan Hall (1984) serta Turner dan Nicholson (1998) menyimpulkan bahwa model regresi linier tidak cocok digunakan untuk memprediksi angka kecelakaan. Alasannya pertama-tama bahwa angka kecelakaan adalah diskrit, sehingga tidak mengikuti distribusi normal. Alasan berikutnya adalah variansi angka kecelakaan tidak konstan, tapi cenderung meningkat pada saat arus lalu lintas meningkat. Selanjutnya, angka kecelakaan tidak dapat bernilai negatif sementara struktur *error* yang terdistribusi normal memiliki probabilitas untuk menghasilkan angka kecelakaan yang bernilai negatif, khususnya bila arus lalu lintas rendah dan angka ekspektasi kecelakaan juga rendah. Secara serupa Miaou dan Lum (1993) melakukan evaluasi terhadap sifat statistik dari dua buah model regresi linier untuk menentukan model mana yang paling cocok digunakan untuk memodelkan hubungan antara kecelakaan lalu lintas dan karakteristik geometrik jalan. Mereka menyimpulkan bahwa model regresi linier tidak dapat menggambarkan karakteristik kecelakaan yang acak, diskrit, non-negatif, dan menyebar.

Sifat yang tidak memuaskan dari model regresi linier kemudian mengarahkan pada penggunaan model regresi Poisson dan NB. Sebagai contoh, Maycock dan Hall (1984), Bonneson dan McCoy (1993), Miaou (1994), Poch dan Mannering (1996), Turner dan Nicholson (1998), Berhanu (2004) serta Hiselius (2004) telah mendemonstrasikan secara empiris keunggulan model regresi Poisson atau NB regression atas model regresi linier dalam menganalisis angka kecelakaan. Model regresi Poisson cukup menarik untuk digunakan, karena hanya memiliki satu parameter untuk diestimasi, namun memiliki kelemahan bahwa nilai variansi dari data angka kecelakaan harus sama dengan nilai reratanya. Data angka kecelakaan sering ditemukan memiliki nilai variansi yang lebih besar dari nilai reratanya (*over-dispersi*), sehingga penggunaan model regresi Poisson dapat menyebabkan terjadinya bias pada koefisien di dan *standard error* dari model. Untuk mengatasi masalah *over-dispersi* ini maka penggunaan model regresi NB direkomendasikan. Distribusi NB lebih cocok untuk menggambarkan kejadian yang diskrit dan non-negatif seperti data angka kecelakaan. Distribusi NB memiliki

keunggulan dibanding distribusi Poisson dalam hal nilai rerata tidak perlu sama dengan nilai variansi. Kesesuaian penggunaan model regresi NB dibanding model regresi Poisson ditentukan dari signifikansi parameter α , yang merupakan suatu parameter yang terkait dengan derajat *over-dispersi*. Apabila α secara signifikan lebih besar dari nol (sebagaimana dihitung menggunakan *t*-statistik), maka model regresi NB lebih cocok digunakan dibanding model regresi Poisson (Poch dan Mannering, 1996). Model regresi Poisson dapat dianggap sebagai kasus terbatas dari model regresi NB, yaitu bila α mendekati nol. Meskipun demikian, Miaou (1994) menyatakan bahwa meskipun model regresi NB lebih umum daripada model regresi Poisson, model regresi NB membutuhkan perhitungan yang lebih rumit dalam mengestimasi parameter model dan dalam menghasilkan inferensi statistik dibandingkan model regresi Poisson.

Salah satu masalah yang berkaitan dengan analisa data angka kecelakaan lalu lintas adalah kadang-kadang terdapat entitas (ruas jalan, simpang) yang tercatat samasekali tidak memiliki angka kecelakaan. Sebagai contoh, Miaou and Lum (1993) menemukan lebih dari 80% ruas jalan tercatat memiliki nol-kecelakaan selama kurun waktu satu tahun (meskipun sebagian dari ruas jalan ini memiliki angka kecelakaan lebih besar dari nol pada kurun waktu yang lain). Situasi ini dapat menimbulkan kesimpulan yang tidak tepat bahwa entitas yang memiliki data nol-kecelakaan tersebut adalah entitas yang aman, padahal kenyataannya hanya sebagian dari entitas ini yang benar-benar aman (dalam kondisi tidak ada kecelakaan) sementara entitas yang lain sebenarnya tidak aman, namun kebetulan memiliki nol-kecelakaan selama kurun waktu pengamatan (Shankar *et al.*, 1997; Kumara and Chin, 2003). Penggunaan model regresi Poisson dan NB tidak memperhitungkan perbedaan antara entitas yang benar-benar aman dan entitas yang kebetulan sedang berada dalam kondisi nol-kecelakaan, sehingga model yang dihasilkan akan bias karena *over-representasi* dari pengamatan nol-kecelakaan pada sampelnya. Estimasi model tersebut juga akan menimbulkan kesan adanya *over-dispersi* di dalam data, sehingga mengindikasikan kesesuaian model regresi NB dibandingkan model regresi Poisson.

Untuk mengatasi hal tersebut maka model regresi ZIP dan ZINB dapat digunakan bila terdapat angka kecelakaan nol yang berlebihan di dalam sampel data. Model regresi ZIP dan ZINB dapat mengakomodasi *over-dispersi* yang berlebihan di dalam sampel data yang disebabkan oleh angka kecelakaan nol yang berlebihan. Namun, Miaou (1994) menyatakan bahwa interpretasi dari model regresi zero-inflated dapat menjadi sulit karena angka kecelakaan pada model ini

terkait dengan variable lainnya dalam bentuk yang lebih sulit dibandingkan model standar. Lebih lanjut, Kusumawati (2008) membandingkan kesesuaian antara model regresi Poisson, NB, ZIP, dan ZINB dalam memodelkan data dengan angka kecelakaan nol yang berlebih dan menyimpulkan bahwa model NB tetap lebih unggul secara statistik dibandingkan model Poisson maupun model ZIP dan ZINB.

2.1 Model regresi poisson

Jika Y_i adalah sebuah variabel acak bebas yang terdistribusi Poisson dengan m_i adalah angka ekspektasi kecelakaan, maka fungsi probabilitas Y_i ditunjukkan pada **Persamaan (1)**.

$$f(Y_i = y_i) = \frac{\mu_i^{y_i} \exp^{-\mu_i}}{y_i!}, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

dimana:

$f(Y_i=y_i)$ = fungsi probabilitas terjadinya y kecelakaan pada lokasi- i

μ_i = angka ekspektasi kecelakaan

y_i = jumlah kecelakaan yang terjadi pada lokasi- i

dengan angka ekspektasi kecelakaan dan simpangan bakunya sesuai yang diberikan pada **Persamaan (2)** dan **Persamaan (3)**.

$$E(Y_i) = \mu_i = \exp(X_i \cdot \beta) = \exp\left(\sum_1^p x_{ij} \beta_j\right) \quad (2)$$

$$Var(Y_i) = \mu_i \quad (3)$$

dimana:

$E(Y_i)$ = angka ekspektasi kecelakaan

$Var(Y_i)$ = simpangan baku dari angka kecelakaan

X_i = variabel bebas dari model

β = koefisien yang diestimasi

x_{ij} = nilai parameter j untuk lokasi i

2.2 Model regresi Negatif Binomial (NB)

Jika Y_i adalah variabel acak bebas yang terdistribusi negatif binomial dengan m_i adalah angka ekspektasi kecelakaan, maka fungsi probabilitasnya ditunjukkan pada **Persamaan (4)**.

$$f(Y_i = y_i) = \frac{\Gamma\left(y_i + \frac{1}{\alpha}\right)}{\Gamma(y_i + 1)\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)} \left(\frac{1}{1 + \alpha\mu_i}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \left(\frac{\alpha\mu_i}{1 + \alpha\mu_i}\right)^{y_i}; i = 1, \dots, n \quad (4)$$

dimana:

$f(Y_i=y_i)$ = fungsi probabilitas terjadinya y kecelakaan pada lokasi- i

μ_i = angka ekspektasi kecelakaan

y_i = jumlah kecelakaan yang terjadi pada lokasi- i

α = parameter overdispersi

dengan angka ekspektasi kecelakaan dan simpangan bakunya sesuai yang diberikan pada **Persamaan (5)** dan **Persamaan (6)**.

$$E(Y_i) = \mu_i = \exp(X_i \cdot \beta) = \exp\left(\sum_1^p x_{ij} \beta_j\right) \quad (5)$$

$$Var(Y_i) = \mu_i + \alpha\mu_i^2 \quad (6)$$

dimana:

$E(Y_i)$ = angka ekspektasi kecelakaan

$Var(Y_i)$ = simpangan baku dari angka kecelakaan

X_i = variabel bebas dari model

β = koefisien yang diestimasi

x_{ij} = nilai parameter j untuk lokasi i

Kesesuaian model dengan model NB ditunjukkan oleh parameter dispersinya (α). Apabila α memiliki nilai yang jauh lebih besar dari 0 (nol) maka model terdistribusi negatif binomial, begitu pula sebaliknya (Poch and Mannering, 1996)

2.3 Model regresi Zero Inflated Poisson (ZIP)

Bentuk umum dari model ZIP adalah ditunjukkan oleh **Persamaan (7)** dan **Persamaan (8)**.

$$f(Y_i = y_i) = q_i + (1 - q_i) e^{-\lambda_i}; y_i = 0 \quad (7)$$

$$f(Y_i = y_i) = (1 - q_i) \frac{e^{-\lambda_i} \lambda_i^{y_i}}{y_i!}; y_i = 1, \dots, n \quad (8)$$

dengan

$$\log\left(\frac{q_i}{1 - q_i}\right) = \tau \sum_1^p x_{ij} \beta_j \quad (9)$$

$$\lambda_i = \exp(X_i \cdot \beta) = \exp\left(\sum_1^p x_{ij} \beta_j\right); i = 1, \dots, n \quad (10)$$

dimana:

$f(Y_i=y_i)$ = fungsi probabilitas terjadinya y kecelakaan pada lokasi- i

y_i = jumlah kecelakaan yang terjadi pada lokasi- i

τ = parameter scalar

X_i = variabel bebas dari model

β = koefisien yang diestimasi

x_{ij} = nilai parameter j untuk lokasi i

Angka ekspektasi $E(Y_i)$ dan simpangan baku $Var(Y_i)$ diberikan oleh **Persamaan 11** dan **Persamaan 12**.

$$E(Y_i) = \mu_i = (1 - q_i)\lambda_i \quad (11)$$

$$Var(Y_i) = \mu_i + \left(\frac{q_i}{1 - q_i}\right)\mu_i^2 \quad (12)$$

Dimana μ_i adalah angka ekspektasi kecelakaan.

2.4 Model Regresi Zero Inflated Negatif Binomial (ZINB)

Model regresi ZINB adalah sebagai berikut ditunjukkan pada **Persamaan (13)** dan **Persamaan (14)**.

$$f(Y_i = y_i) = q_i + (1 - q_i) \left[\frac{1}{1 + \alpha\mu_i} \right]^{1/\alpha}; y_i = 0 \quad (13)$$

$$f(Y_i = y_i) = (1 - q_i) \left[\frac{\Gamma\left(y_i + \frac{1}{\alpha}\right) \left(\frac{1}{1 + \alpha\mu_i}\right)^{1/\alpha} \left(\frac{\alpha\mu_i}{1 + \alpha\mu_i}\right)^{y_i}}{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right) y_i!} \right]; y_i = 1, \dots, n \quad (14)$$

dengan

$$\log\left(\frac{q_i}{1 - q_i}\right) = \tau \sum_1^p x_{ij} \beta_j \quad (15)$$

dimana:

$f(Y_i = y_i)$ = fungsi probabilitas terjadinya y kecelakaan pada lokasi- i

y_i = jumlah kecelakaan yang terjadi pada lokasi - i

τ = parameter scalar

μ_i = angka ekspektasi kecelakaan

y_i = jumlah kecelakaan yang terjadi pada lokasi ke- i

α = parameter overdispersi

Angka ekspektasi $E(Y_i)$ dan simpangan baku $Var(Y_i)$ diberikan oleh **Persamaan 16** dan **Persamaan 17**.

$$E(Y_i) = \mu_i = (1 - q_i)\lambda_i \quad (16)$$

$$Var(Y_i) = \mu_i + \left(\frac{q_i + \alpha}{1 - q_i}\right)\mu_i^2 \quad (17)$$

dimana

$$\lambda_i = \exp(X_i \beta) = \exp\left(\sum_1^p x_{ij} \beta_j\right); i = 1, \dots, n \quad (18)$$

X_i = variabel bebas dari model

x_{ij} = nilai parameter j untuk lokasi i

β = koefisien yang diestimasi

3. Pengembangan Model

3.1 Data

Data kecelakaan tahun 2007 – 2010, data lalu lintas untuk perioda yang sama, dan data geometrik serta kondisi lingkungan jalan dikumpulkan dari PT Jasa Marga. Data geometrik dan kondisi lingkungan jalan yang dikumpulkan meliputi jenis median, lebar median, kelandaian vertikal, data tikungan, jenis perkerasan, kekesatan rata-rata, ketidakrataaan rata-rata, lokasi simpang susun, dan lokasi jembatan. Sementara data kondisi perkerasan jalan diperoleh dari Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan, Kementerian Pekerjaan Umum.

3.2 Formulasi model

Model dibangun dengan menghubungkan angka kecelakaan lalu lintas dengan faktor eksposur dan faktor resiko. Pembangunan model dilakukan dengan menggunakan metode statistik. Segmentasi yang dilakukan dalam membangun model dipengaruhi oleh keseragaman kondisi jalan dan karakteristik lalu lintas dan panjang dari pengaruh lokasi berbahaya. Bila segmen terlalu pendek maka probabilitas dari lokasi tanpa kecelakaan (no1-kecelakaan) akan semakin besar. Sedangkan bila segmen terlalu panjang pengaruh dari lokasi berbahaya akan hilang atau sulit ditemukan (Nicholson, 1990). Berdasarkan ketersediaan data, model prediksi angka kecelakaan lalu lintas dibangun dengan dasar panjang segmen yang seragam yaitu per satu kilometer untuk jalur A (arah Jakarta-Bandung) dan jalur B (arah Bandung-Jakarta).

Persamaan dasar model prediksi kecelakaan ditunjukkan pada **Persamaan (19)**.

$$\mu = k \times (AADT)^\alpha \times \exp(\beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots) \quad (19)$$

dimana:

μ = angka ekspektasi kecelakaan (kecelakaan/3 tahun)

k = konstanta,

α, β, γ = koefisien yang diestimasi

LHRT = lintas harian rata-rata tahunan (kendaraan),

X_1, X_2, \dots = variabel geometrik dan kondisi lingkungan jalan

Model dibangun dengan membandingkan kinerja statistik dari 4 (empat) buah model regresi, yaitu model Poisson, NB, ZIP, dan ZINB. Pemilihan model berdasarkan hasil diawali dengan uji korelasi kemudian dilanjutkan dengan analisis regresi dan uji keco-

cokan. Pengujian korelasi dilakukan dengan bantuan *Mocrosoft Excel* sedangkan pemilihan model regresi dilakukan dengan bantuan *Limdep*. Pengujian kecocokan (*Goodness of Fit*) dilakukan dengan menggunakan nilai *Pearson Chi Square* dan *Scaled Deviance*. Hasil uji kecocokan diterima apabila kedua nilai tersebut lebih kecil dengan nilai *Chi Square* untuk tingkat kepercayaan 95% berdasarkan jumlah data dan variabel bebasnya. Pengujian kecocokan model ZIP atau ZINB dibanding model dasarnya (*Poisson* atau *NB*) didasarkan pada nilai *Vuong* statistiknya (*V*). Model ZIP atau ZINB lebih sesuai dibanding model *Poisson* atau *Negatif Binomial* jika nilai $V > 1.96$ (tingkat kepercayaan 95%), sedangkan nilai $V < -1.96$ berarti model *Poisson* atau *NB* lebih sesuai dibanding model ZIP atau ZINB. Nilai *V* diantara -1,96 sampai dengan 1,96 mengindikasikan tes tidak memiliki hasil yang pasti (*Shankar, 1997*).

Pemodelan dilakukan dengan bantuan *software* *NLOGIT* versi 4.0 / *Limdep* versi 9.0. Model dibangun dengan mengambil tingkat kepercayaan 95%, sehingga setiap koefisien yang diestimasi pada model harus memiliki nilai *P-value* lebih kecil dari atau sama dengan 0,05 (atau nilai $|t\text{-ratio}|$ lebih besar dari 1,96).

Variabel yang memiliki nilai *P-value* yang paling besar (atau $|t\text{-ratio}|$ yang paling kecil) akan dihilangkan satu persatu melalui teknik eliminasi mundur hingga diperoleh variabel yang seluruhnya signifikan secara statistik. Selanjutnya dilakukan uji kecocokan model dengan menggunakan statistik *Pearson Chi Square* dan *Scaled Deviance*. Model dikatakan lolos uji kecocokan apabila nilai *Pearson Chi Square* dan *Scaled Deviance* dari model lebih kecil dari nilai kritisnya (dari tabel *Chi Square*) pada tingkat kepercayaan 95% dan derajat kebebasan $n-p-1$, dimana *n* adalah jumlah data yang digunakan untuk mengestimasi parameter model dan *p* adalah jumlah parameter yang diestimasi pada model. Variabel-variabel yang dipertimbangkan pada model disampaikan pada **Tabel 1** berikut ini.

4. Hasil Pemodelan dan Pembahasan

Berdasarkan pemodelan yang dilakukan, ternyata nilai *Vuong* statistik untuk model ZIP dan ZINB keduanya bernilai lebih kecil dari 1,96. Dengan demikian model *Poisson* dan model *NB* lebih cocok untuk digunakan. Hasil pemodelan dengan menggunakan model regresi *Poisson* dan *NB* disampaikan pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

Tabel 1. Variabel yang dipertimbangkan dalam pembentukan model

Variabel	Deskripsi	Jenis
LAKA	Frekuensi kecelakaan (kecelakaan/3-tahun)	Kuantitatif
LHRT	Lintas harian rata-rata tahunan (kendaraan/hari)	Kuantitatif
J	Keberadaan jembatan	Kualitatif (1 jika ada, 0 jika tidak ada)
RAMP	Keberadaan ramp	Kualitatif (1 jika ada, 0 jika tidak ada)
P	Jenis perkerasan	Kualitatif (1 jika kaku, 0 jika lentur)
KESAT	Skid resistance (meter/kilometer)	Kuantitatif
KTRATA	Ketidakrataan (meter/kilometer)	Kuantitatif
L	Kelandaian (%)	Kuantitatif
LMED	Lebar median	Kualitatif
MED	Keberadaan median dengan spesifikasi khusus	(1 jika kurang dari 2.5 meters, 0 jika selain itu) Kualitatif
D	Derajat lengkung (radian)	(1 jika lebar kurang dari 2.5 meters dan tinggi kurang dari 1.75 meters, 0 jika selain itu) Kuantitatif
NTIK	Jumlah tikungan (tikungan/kilometer)	Kuantitatif
B	Kelengkungan (radian/km)	Kuantitatif

Tabel 2. Keluaran model regresi Poisson

Variabel	Koefisien	Standard Error	t-ratio	P-value
Konstanta	-2.36E+00	1.03E+00	-2.29E+00	2.19E-02
ln LHRT	4.00E-01	1.07E-01	3.74E+00	1.82E-04
Ramp	-2.65E-01	1.17E-01	-2.27E+00	2.34E-02
R	-8.05E-05	3.17E-05	-2.54E+00	1.11E-02
NTIK	2.82E-01	5.71E-02	4.94E+00	7.89E-07
MED	1.84E-01	8.98E-02	2.05E+00	4.00E-02

Tabel 3. Keluaran model regresi NB

Variabel	Koefisien	Standard Error	t-ratio	P-value
Konstanta	-3.24E+00	1.45E+00	-2.23E+00	2.57E-02
ln LHRT	4.84E-01	1.51E-01	3.20E+00	1.38E-03
D	2.42E-01	5.37E-02	4.52E+00	6.27E-06
MED	2.43E-01	1.22E-01	1.99E+00	4.64E-02
Parameter Overdispersi	1.60E-01	4.29E-02	3.73E+00	1.90E-04

Tabel 4. Perhitungan uji kecocokan model

	Model Regresi NB	Model Regresi Poisson
Jumlah Data	162	162
Jumlah Parameter	4	6
Derajat Kebebasan	158	156
χ^2 (Chi Square)	167.217	298.628
G^2 (Scaled Deviance)	127.703	296.021
$\chi^2_{(0,95,4)}$ dan $\chi^2_{(0,95,6)}$	188.332	186.146
Hasil	diterima	tidak diterima

Selanjutnya dilakukan uji kecocokan dengan menggunakan nilai *Pearson Chi Square* dan *Scaled Deviance* statistik. Hasilnya, seperti ditampilkan pada **Tabel 4**, menunjukkan model regresi Poisson tidak lolos uji kecocokan.

Dengan demikian model yang paling sesuai digunakan untuk memodelkan angka kecelakaan pada ruas jalan tol Purbaleunyi adalah model regresi NB, seperti disampaikan pada **Persamaan (20)**.

$$\mu = \text{LHRT}^{0,484} \exp(0,242D + 0,243\text{MED} - 3,238) \quad (20)$$

dimana:

- μ = ekspektasi kecelakaan (kejadian/3 tahun)
- LHRT = lintas harian rata-rata tahunan (rata-rata 3 tahun dalam kendaraan/hari)
- D = derajat lengkung (radian)
- MED = keberadaan median dengan lebar < 2,5 m dan tinggi < 1,75 m (1 jika median memiliki spesifikasi tersebut, 0 jika tidak)

Terdapat tiga variabel bebas yang ditemukan signifikan keberadaannya di dalam model. Variabel-variabel tersebut adalah lintas harian rata-rata tahunan, derajat lengkung, dan keberadaan median dengan spesifikasi khusus. Lintas harian rata-rata tahunan diindikasikan memiliki korelasi dengan jumlah kecelakaan lalu lintas. Semakin tinggi lintas harian rata-rata tahunan, maka kecelakaan lalu lintas semakin meningkat. Pada model, ditunjukkan bahwa kecelakaan lalu lintas memiliki korelasi positif dengan derajat lengkung. Derajat lengkung adalah interpretasi dari kondisi tikungan pada setiap segmen. Semakin besar derajat lengkung menunjukkan angka kecelakaan semakin meningkat. Hal ini diindikasikan akibat semakin besarnya derajat lengkung, maka jari-jari tikungan akan semakin kecil. Jari-jari tikungan yang kecil akan membuat kendaraan menikung lebih tajam dalam melintasi tikungan pada segmen tersebut. Walaupun faktor manusia sangat berperan besar dalam terjadinya kecelakaan lalu lintas, namun hal ini menunjukkan bahwa faktor jalan dalam hal ini memiliki andil dalam kecelakaan lalu lintas.

Keberadaan median dengan spesifikasi khusus (lebar < 2,5 meter dan tinggi < 1,75 m) dengan spesifikasi khusus umumnya terdapat pada ruas Cipularang, dan sebagian besar dilengkapi dengan penghalang sinar. Pemasangan penghalang sinar dilakukan sebagai salah satu penanganan yang dilakukan untuk mengurangi tingkat kecelakaan. Pemasangan penghalang sinar ini menunjukkan bahwa segmen tersebut adalah segmen yang memiliki tingkat kecelakaan yang tinggi, sehingga keberadaannya teridentifikasi dalam model yang dibangun. Namun model prediksi yang dibangun tidak dapat mengidentifikasi pengaruh dari median dengan spesifikasi khusus tersebut. Untuk mengetahui pengaruh dari median dan penghalang sinar perlu dilakukan studi sebelum dan sesudah pemasangan (*before-after*) pada segmen tersebut. Pada penelitian dilakukan perhitungan nilai ekstrim pada model yang dibangun dengan menggunakan dua kondisi. Angka kecelakaan lalu lintas untuk kondisi lintas harian rata-rata maksimum (20.339 kendaraan/hari), derajat lengkung maksimum (3.54 radian), untuk ruas dengan median yang lebarnya < 2.5 meter dan tingginya < 1.75 meter adalah 14 kejadian kecelakaan/3 tahun. Sedangkan untuk kondisi sebaliknya, prediksi kecelakaannya adalah 3 kecelakaan/3 tahun.

Model yang dibangun dapat digunakan berdasarkan beberapa kondisi. Dari segi lokasi, model dapat digunakan pada lokasi dengan karakteristik yang sama dengan jalan tol Purbaleunyi. Hal ini juga berlaku untuk segi waktu penggunaan model. Model dapat digunakan selama tidak ada perubahan besar pada lokasi studi, misalnya penambahan lajur atau adanya suatu penerapan kebijakan baru atau hal lain yang dapat mempengaruhi tingkat kecelakaan pada lokasi studi. Apabila terdapat perbedaan atau perubahan pada objek penelitian, maka model yang digunakan harus disesuaikan terlebih dahulu.

5. Penentuan Segmen Berbahaya

Penentuan segmen berbahaya dalam penelitian ini dilakukan dengan membandingkan tiga kriteria dengan menggunakan data kecelakaan lalu lintas tahun 2010 dan mengaplikasikan model yang dihasilkan untuk mendapatkan ekspektasi angka kecelakaan rata-rata pada populasi referensi. Kriteria penentuan segmen berbahaya yang akan digunakan antara lain:

- a. Kelebihan angka kecelakaan dengan menggunakan model prediksi lalu lintas, dilakukan dengan menentukan selisih angka kecelakaan dari model prediksi dan hasil observasi
- b. Tingkat kecelakaan, dilakukan dengan membandingkan angka kecelakaan sebenarnya terhadap lintas harian rata-rata suatu segmen,

- c. Frekuensi kecelakaan, dilakukan dengan mengurutkan data kecelakaan lalu lintas dari yang tertinggi sampai yang terendah.

Hasil identifikasi sepuluh dan duapuluh segmen paling berbahaya pada ruas jalan tol Purbaleunyi disampaikan pada **Tabel 5**. Tabel tersebut memperlihatkan bahwa ketiga kriteria memberikan hasil yang sama untuk peringkat kesatu dan kedua segmen yang paling berbahaya pada ruas jalan tol Purbaleunyi, namun tidak untuk peringkat seterusnya. Hal ini disebabkan adanya perbedaan faktor-faktor yang dipertimbangkan pada proses penentuan lokasi berbahaya. Kriteria kelebihan angka kecelakaan memeringkatkan segmen berbahaya berdasarkan selisih antara angka kecelakaan hasil observasi dengan hasil ekspektasi dari model prediksi. Semakin besar selisihnya pada suatu segmen, maka segmen tersebut dianggap semakin berbahaya. Kriteria tingkat kecelakaan relatif lebih mudah karena tidak memerlukan model prediksi angka kecelakaan. Namun kriteria ini akan salah memprediksi segmen dengan angka kecelakaan lalu lintas yang rendah dan memiliki arus lalu lintas yang juga rendah sebagai segmen yang berbahaya. Dalam kasus ini, segmen tersebut akan dianggap sebagai segmen berbahaya oleh kriteria tingkat kecelakaan, namun sebagai segmen tidak berbahaya oleh kriteria frekuensi kecelakaan. Kriteria frekuensi

kecelakaan hanya mempertimbangkan data kecelakaan lalu lintas dalam memeringkatkan segmen berbahaya. Namun kriteria ini akan salah memprediksi segmen dengan angka kecelakaan lalu lintas yang tinggi tetapi memiliki arus lalu lintas yang tinggi juga (sehingga tingkat kecelakaannya rendah) sebagai segmen yang berbahaya. Dalam hal ini, segmen tersebut akan dianggap sebagai segmen berbahaya oleh kriteria frekuensi kecelakaan, namun sebagai segmen tidak berbahaya oleh kriteria tingkat kecelakaan. Dengan demikian, untuk menghindari kesalahan prediksi segmen berbahaya, sebaiknya kriteria frekuensi kecelakaan dan tingkat kecelakaan tidak digunakan sebagai kriteria tunggal.

Pemilihan kriteria yang terbaik dilakukan dengan cara membandingkan kinerja dari ketiga kriteria tersebut. Indikator pertama yang digunakan untuk membandingkan kinerja dari ketiga kriteria tersebut adalah jumlah kecelakaan hasil observasi tahun 2010 untuk sepuluh dan dua puluh segmen paling berbahaya serta ketepatan hasil identifikasi. Pada **Tabel 5** dapat dilihat bahwa kriteria kelebihan angka kecelakaan dan frekuensi kecelakaan memberikan jumlah kecelakaan terbesar tahun 2010 untuk sepuluh segmen paling berbahaya. Sedangkan untuk dua puluh segmen paling berbahaya, hasil perhitungan menunjukkan bahwa

Tabel 5. Sepuluh dan dua puluh segmen paling berbahaya pada ruas Jalan Tol Purbaleunyi

Peringkat	Kriteria					
	Kelebihan Angka Kecelakaan		Tingkat Kecelakaan		Frekuensi Kecelakaan	
	KM	Y ₂₀₁₀	KM	Y ₂₀₁₀	KM	Y ₂₀₁₀
1	B92 - 93	6	B92 - 93	6	B92 - 93	6
2	B79 - 80	3	B79 - 80	3	B79 - 80	3
3	B123 - 124	5	B 100 - 101	6	A 104 - 105	0
4	A 104 - 105	0	B77 - 78	1	A94 - 95	5
5	B77 - 78	1	B99 - 100	2	A 112 - 113	4
6	A 119 - 120	2	B96 - 97	0	B77 - 78	1
7	B 100 - 101	6	B97 - 98	3	B123 - 124	5
8	A129 - 130	4	B123 - 124	5	A 108 - 109	8
9	A94 - 95	5	B91 - 92	4	A99 - 100	0
10	A122 - 123	4	B95 - 96	0	A 110 - 111	4
11	A99 - 100	0	B76 - 77	4	A122 - 123	4
12	A146 - 147	3	B83 - 84	2	A129 - 130	4
13	B99 - 100	2	A 104 - 105	0	B 100 - 101	6
14	A 108 - 109	8	A129 - 130	4	A 103 - 104	0
15	A124 - 125	2	A94 - 95	5	A124 - 125	2
16	B133 - 134	4	A 112 - 113	4	A146 - 147	3
17	B76 - 77	4	A146 - 147	3	B76 - 77	4
18	A143 - 144	4	B85 - 86	3	B83 - 84	2
19	B125 - 126	0	B87 - 88	2	A77 - 78	4
20	A136 - 137	4	B90 - 91	3	A80 - 81	1
	Jumlah*	36	Jumlah*	30	Jumlah*	36
	Jumlah**	67	Jumlah**	60	Jumlah**	66

Keterangan:

* menyatakan jumlah angka kecelakaan observasi tahun 2010 (Y₂₀₁₀) untuk sepuluh segmen paling berbahaya

** menyatakan jumlah angka kecelakaan observasi tahun 2010 (Y₂₀₁₀) untuk dua puluh segmen paling berbahaya

kriteria kelebihan angka kecelakaan memberikan jumlah kecelakaan terbesar pada tahun 2010.

Indikator lain yang digunakan untuk memilih kriteria terbaik adalah dengan cara membandingkan angka kecelakaan ekspektasi dan angka kecelakaan observasinya. Hasil perbandingan dapat berupa:

- a. Lokasi yang diprediksi berbahaya sebenarnya berbahaya (*correct positive*)
- b. Lokasi yang diprediksi tidak berbahaya sebenarnya tidak berbahaya (*correct negative*)
- c. Lokasi yang diprediksi berbahaya sebenarnya tidak berbahaya (*false positive*)
- d. Lokasi yang diprediksi tidak berbahaya sebenarnya berbahaya (*false negative*)

Dalam hal ini, bila angka kecelakaan observasi pada tahun 2010 lebih besar dari angka kecelakaan ekspektasi maka dikategorikan sebagai *correct positive (CP)*. Bila angka kecelakaan observasi pada tahun 2010 lebih rendah dari angka kecelakaan ekspektasi dikategorikan sebagai *false positive (FP)*. Hasilnya (lihat **Tabel 6,7**, dan **8**) menunjukkan bahwa kriteria kelebihan angka kecelakaan dengan menggunakan model prediksi memberikan jumlah segmen yang terklasifikasi sebagai *correct positive (CP)* yang terbesar dibandingkan ketiga kriteria yang lainnya, yaitu sebanyak 7 segmen (dari sepuluh segmen paling berbahaya) dan 14 segmen (dari dua puluh segmen paling berbahaya).

6. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Model regresi negatif binomial merupakan model yang paling sesuai untuk memodelkan angka kecelakaan lalu lintas pada ruas jalan tol Purbaleunyi.
2. Model menunjukkan kecelakaan lalu lintas berbanding lurus dengan lintas harian rata-rata tahunan, derajat lengkung, dan keberadaan median dengan spesifikasi lebar < 2.5 meter dan tinggi < 1.75 meter. Untuk besar lintas harian rata-rata tahunan dan derajat lengkung tertentu, suatu lokasi yang memiliki median dengan spesifikasi lebar < 2.5 meter dan tinggi < 1.75 meter akan memiliki angka kecelakaan lalu lintas yang lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi yang tidak memiliki median dengan kondisi tersebut.
3. Hasil penentuan segmen berbahaya pada jalan tol Purbaleunyi menunjukkan bahwa kriteria kelebihan angka kecelakaan dengan menggunakan model prediksi memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan kriteria tingkat kecelakaan dan frekuensi kecelakaan, berdasarkan indikator jumlah kecelakaan untuk sepuluh dan dua puluh segmen paling berbahaya serta banyaknya segmen yang diidentifikasi sebagai segmen berbahaya dan pada kenyataannya memang berbahaya (*correct positive*). Namun, ketiga kriteria yang digunakan sama-sama mengindikasikan km 92-93 pada jalur Cileunyi-Sadang sebagai segmen yang paling berbahaya.

Tabel 6. Perbandingan antara angka kecelakaan ekspektasi dan observasi Tahun 2010 (kriteria kelebihan angka kecelakaan)

Peringkat	KM	Ekspektasi Y_{2010}	Y_{2010}	Hasil
1	B92 - 93	1.867	6	<i>correct positive</i>
2	B79 - 80	2.001	3	<i>correct positive</i>
3	B123 - 124	1.888	5	<i>correct positive</i>
4	A 104 - 105	2.331	0	<i>false positive</i>
5	B77 - 78	1.516	1	<i>false positive</i>
6	A 119 - 120	2.159	2	<i>false positive</i>
7	B 100 - 101	1.618	6	<i>correct positive</i>
8	A129 - 130	2.272	4	<i>correct positive</i>
9	A94 - 95	1.988	5	<i>correct positive</i>
10	A122 - 123	2.426	4	<i>correct positive</i>
11	A99 - 100	1.757	0	<i>false positive</i>
12	A146 - 147	1.812	3	<i>correct positive</i>
13	B99 - 100	1.691	2	<i>correct positive</i>
14	A 108 - 109	2.260	8	<i>correct positive</i>
15	A124 - 125	1.777	2	<i>correct positive</i>
16	B133 - 134	1.752	4	<i>correct positive</i>
17	B76 - 77	4.803	4	<i>false positive</i>
18	A143 - 144	2.036	4	<i>correct positive</i>
19	B125 - 126	2.882	0	<i>false positive</i>
20	A136 - 137	2.935	4	<i>correct positive</i>
Jumlah lokasi <i>correct positive</i>				14

Keterangan: Y_{2010} = jumlah angka kecelakaan observasi tahun 2010

Tabel 7. Perbandingan antara angka kecelakaan ekspektasi dan observasi Tahun 2010 (kriteria tingkat kecelakaan)

Peringkat	KM	Ekspektasi Y ₂₀₁₀	Y ₂₀₁₀	Hasil
1	B92 - 93	9.667	6	false positive
2	B79 - 80	5.667	3	false positive
3	B 100 - 101	3.333	6	correct positive
4	B77 - 78	4.333	1	false positive
5	B99 - 100	2.667	2	false positive
6	B96 - 97	2.333	0	false positive
7	B97 - 98	2.333	3	correct positive
8	B123 - 124	4.000	5	correct positive
9	B91 - 92	2.000	4	correct positive
10	B95 - 96	2.000	0	false positive
11	B76 - 77	3.000	4	correct positive
12	B83 - 84	3.000	2	false positive
13	A 104 - 105	4.667	0	false positive
14	A129 - 130	3.333	4	correct positive
15	A94 - 95	4.333	5	correct positive
16	A 112 - 113	4.333	4	false positive
17	A146 - 147	3.000	3	false positive
18	B85 - 86	1.667	3	correct positive
19	B87 - 88	1.667	2	correct positive
20	B90 - 91	1.667	3	correct positive
Jumlah lokasi correct positive				10

Keterangan:

Y₂₀₁₀ = jumlah angka kecelakaan observasi tahun 2010

Daftar Pustaka

Abbas, K.A., 2004, *Traffic Safety Assesment and Development of Predictive Models for Accidents on Rural Roads in Egypt*, Accident Analysis and Prevention, Vol 36, No.2, pp 149-163.

Berhanu, G., 2004, *Models Relating Traffic Safety with Road Environment and Traffic Flows on Arterial Roads in Addis Ababa*, Accident Analysis and Prevention, Vol 36, No.5, pp 697-704.

Bonneson, J.A., McCoy, P.T., 1993, *Estimation of Safety at Two-Way Stop-Controlled Intersections on Rural Highways*, Transportation Research Record, Vol.1401, pp. 23-29.

Colgate, M.G., Tanner, J.C., 1967, *Accidents at Rural Three-way Junctions*, RRL Report, Road Research Laboratory, Crowthorne.

Grime, G., 1987, *Handbook of Road Safety Research*, Butterworth & Co.

Hiselius, L.W., 2004, *Estimating The Relationship Between Accident Frequency and Homogeneous and Inhomogeneous Traffic Flows*, Accident Analysis and Prevention, Vol.36, No.6, pp. 985-992.

Jadaan, K.S., Nicholson, A.J., 1992, *Relationships Between Road Accidents and Traffic Flows in An Urban Network*, Traffic Engineering and Control, Vol.33, No.9, pp. 507-511.

Jasa Marga, PT., Laporan Kecelakaan Lalu Lintas 2007 -2010.

Jovanis, P.P., Chang, H., 1986, *Modelling The Relationship of Accidents to Miles Traveled*, Transportation Research Record, Vol.1068, pp. 42-51.

Kumara, S.S.P., Chin, H.C., 2003, *Modelling Accident Accurrence at Signalized tee Intersections with Special Emphasis on Excess zeros*, Traffic Injury Prevention, Vol.4, pp. 53-57.

Kusumawati, A., 2008, *Traffic Safety at A Road Junctions*, Singapore: PhD Thesis, Nanyang Technological University.

Lau, M.Y.K., May, A.D., 1988, *Injury Accident Prediction Models for Signalized Intersections*, Transportation Research Record, Vol.1172, pp. 58-67.

Leong, H.J.W., 1973, *Relationship Between Accidents and Traffic Volumes at Urban Intersections*, Australian Road Research, Vol.5, No.3, pp. 72-90.

Maycock, G., Hall, R.D., 1984, *Accidents at 4-Arm roundabout*, UK: TRRL Laboratory Report, Transport and Road Research Laboratory.

- Miaou, S.P., 1994, *The Relationship Between Truck Accidents and Geometric Design of Road Sections: Poisson Versus Negative Binomial Regressions*, Accident Analysis and Prevention, Vol.26, No.4, pp. 471-482.
- Miaou, SP., Lum, 1993, *The Relationship Between Truck Accidents and Geometrik Design of Road Sections: Poisson versus Negative Binomial Regressions*. Oak Ridge, TN
- Nicholson, A.J., 1990, *Measures of Accident Clustering*, Proceedings of 11th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Yokohama, Japan, pp. 133-151.
- Poch, M., Mannering, F.L., 1996, Negative Binomial Analysis of Intersection-Accident Frequencies, *ASCE Journal of Transportation Engineering*, Vol.122, No.2, pp. 105-113.
- Shankar, V., Milton, J., and Mannering, F., 1997, *Modeling Accident Frequencies As Zero-altered Probability Processes: An Empirical inquiry*, Accident Analysis and Prevention, Vol.29, No.6, pp. 829-837.
- Tanner, J.C., 1953, Accidents at Rural Three Way Junctions, *Journal of Institute of Highway Engineers*, Vol.2, No.11, pp. 56-67.
- Turner, S., Nicholson, A., 1998, *Intersection Accident Estimation: The Role of Intersection Location and Non-Collision Flows*, Accident Analysis and Prevention, Vol.30, No.4, pp. 505-517.
- WHO, 2004, *World Report on Road Traffic Injury Prevention*, World Health Organization.
- WHO, 2009, *Global Status Report on Road Safety*, World Health Organization.

