

PENGEMBANGAN MODEL TINGKAT KESELAMATAN LALU LINTAS JALAN TOL

Bambang Haryadi
Jurusan Teknik Sipil,
Fakultas Teknik,
Universitas Negeri Semarang
Kampus Unnes Sekaran,
Gunungpati, Semarang 50229
Telp: 08562653391
haryaba@yahoo.com

Alfa Narendra
Jurusan Teknik Sipil,
Fakultas Teknik,
Universitas Negeri Semarang
Kampus Unnes Sekaran,
Gunungpati, Semarang 50229

Agung Budiwirawan
Jurusan Teknik Sipil,
Fakultas Teknik,
Universitas Negeri Semarang
Kampus Unnes Sekaran,
Gunungpati, Semarang 50229

Abstract

The study aim was to develop models that can be used to assess the level of toll road traffic safety. Model development was done with a focus on microscopic traffic conditions in the form of hourly traffic flow, which was expected to represent the traffic conditions at the time of accidents. To achieve the research objectives, data in the form of tollroad geometric characteristics, crash, and traffic volume, was collected from Jagorawi, Jakarta-Cikampek, Padaleunyi, and Palikanci toll road operators. Level of safety assessment models were developed from these data with generalized linear modeling (GLM) approaches, and calibrated using statistical techniques. This study successfully model the effect of hourly traffic flow and a number of toll road road geometry elements to the total accidents frequency. It was found that the negative binomial distribution fits to the data describing the incidence of traffic accidents on inter urban Indonesian toll roads.

Keywords: *toll road safety assessment, generalized linear modeling, negative binomial, accident prediction.*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model yang dapat digunakan untuk menilai tingkat keselamatan lalu lintas ruas jalan tol. Pengembangan model dilakukan dengan fokus pada kondisi mikroskopik lalu-lintas dalam bentuk arus lalu-lintas per jam (*hourly traffic flow, q*) sebagai ganti LHR, yang diharapkan lebih mewakili kondisi lalulintas pada saat terjadinya kecelakaan. Untuk mencapai tujuan penelitian data karakteristik geometri jalan, kecelakaan, dan lalulintas diambil dari jalan tol Jagorawi, Jakarta-Cikampek, Padaleunyi, dan Palikanci. Model penilaian tingkat keselamatan dikembangkan dari data tersebut dengan teknik *generalized linear modelling* (GLM), dan dikalibrasi dengan menggunakan teknik-teknik statistik. Penelitian ini berhasil memodelkan pengaruh *hourly traffic flow* (volume lalu lintas per jam) dan sejumlah elemen geometri jalan terhadap jumlah kecelakaan lalu lintas total pada bagian *basic freeway segment* pada ruas jalan tol antar kota. Dari penelitian ini ditemukan bahwa distribusi binomial negatif cocok untuk mendeskripsikan data kejadian kecelakaan lalu lintas di ruas jalan tol antar kota Indonesia.

Kata kunci: *penilaian keselamatan, jalan tol, generalized linear modelling, binomial negatif, prediksi kecelakaan.*

PENDAHULUAN

Pengembangan metode yang dapat mengukur tingkat keselamatan jalan tol akan memungkinkan perencana dan pengelola jalan tol menentukan tingkat keselamatan ruas jalan tertentu dan dapat digunakan sebagai alat bantu untuk menyusun prioritas proyek pembangunan dan peningkatan keselamatan jalan. Pengembangan model untuk menilai tingkat keselamatan ruas jalan tol merupakan titik awal dalam upaya mewujudkan metodologi untuk identifikasi ruas jalan tol yang bermasalah keselamatan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode penilaian keselamatan ruas jalan tol yang bisa digunakan untuk menilai dan membandingkan tingkat keselamatan ruas jalan tol.

Model penilaian tingkat keselamatan adalah model matematis untuk memperkirakan kejadian kecelakaan pada suatu ruas jalan tertentu (Kanonov, et.al, 2008; Powers & Carson, 2004; Hauer, 2004). Tingkat keselamatan dinyatakan dalam jumlah kecelakaan per kilometer per satuan waktu (kecelakaan/km/tahun).

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan model statistik untuk mengisolasi karakter-karakter spesifik yang signifikan dalam menentukan probabilitas kecelakaan pada ruas-ruas jalan tertentu. Dalam hubungan dengan karakteristik arus lalu lintas, sebagian besar penelitian memusatkan perhatian untuk menentukan hubungan antara kecelakaan dengan volume lalu lintas (Gwynn, 1967; Cedar & Livneh, 1982; Persaud & Dzbik, 1993; Hadi *et al.*, 1995; Mensah & Hauer, 1998; Martin 2002). Penelitian yang lain mengkaji keselamatan ruas jalan bebas hambatan sebagai fungsi dari karakteristik arus lalu lintas yang lain, seperti rasio V/C (Chang *et al.*, 1999; Frantzeskakis & Iordanis, 1987; Hall & Pendleton, 1989; Lord *et al.*, 2005) dan tingkat pelayanan (Persaud & Nguyen, 1998).

Penelitian yang berkaitan dengan hubungan karakteristik geometrik dan kecelakaan diantaranya dilakukan oleh Miaou dan Lum (1993) yang mengkaji hubungan antara geometri jalan dengan kecelakaan truk. Shankar *et al.* (1995) melakukan evaluasi efek geometri jalan dan faktor lingkungan pada frekuensi kecelakaan di luar perkotaan, sedangkan Poch dan Mannering (1996) mengembangkan model untuk identifikasi elemen-elemen lalu-lintas dan geometri yang paling signifikan dalam menentukan frekuensi kecelakaan pada suatu persimpangan. Sementara itu Mohamedshah *et al.* (1992) menggunakan regresi linier untuk memprediksi angka keterlibatan truk dalam kecelakaan per mil per tahun berdasarkan pada LHRT (lalu-lintas harian rata-rata tahunan), LHRT truk, lebar bahu, lengkung horizontal, dan kelandaian vertikal.

Walaupun banyak kemajuan, tetapi masih terdapat ketidakjelasan dalam pemahaman bagaimana karakteristik lalu lintas dan geometrik yang berbeda-beda mempengaruhi keselamatan pada berbagai ruas jalan tol. Kelemahan dari kebanyakan model tersebut terutama adalah kurangnya informasi tentang kondisi lalu-lintas pada saat kecelakaan terjadi, karena variabel lalu lintas yang digunakan bersifat makroskopik dalam bentuk lalu-lintas harian rata-rata tahunan (LHRT). Problem yang melekat pada model makroskopik adalah bahwa model yang berdasarkan LHR akan mengindikasikan potensi kecelakaan yang identik antara jalan tol dengan arus lalu lintas yang tinggi selama periode jam puncak dengan jalan tol dengan LHR yang sama tetapi dengan arus lalu lintas yang tersebar merata sepanjang hari, yang jelas mempunyai potensi kecelakaan yang berbeda (Persaud & Dzbik, 1993). Selain itu, kondisi lalu-lintas tidak diintegrasikan dengan karakteristik geometri, sehingga model tidak dapat diterapkan di lokasi yang lain. Agar lebih bermanfaat harus dikaji bagaimana variabel volume lalu-lintas per jam, yang bersifat mikroskopik, maupun karakteristik geometri bersama-sama berkontribusi pada kecelakaan yang terjadi pada berbagai lokasi jalan tol (bebas hambatan) di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Data yang diperlukan dalam penelitian ini dapat dikelompokkan sebagai data kecelakaan, data lalu lintas, dan data geometri jalan. Data diperoleh dari dokumentasi pengelola jalan tol (PT Jasamarga), disamping pengamatan langsung di lapangan untuk verifikasi. Data untuk penelitian ini diperoleh dari empat jalan tol, yaitu jalan tol Jagorawi (Jakarta - Bogor - Ciawi), Japek (Jakarta - Cikampek), Padaleunyi (Padalarang - Cileunyi), dan Palikanci

(Palimanan - Kanci). Data untuk masing-masing jalan tol diperoleh dari Kantor Pusat PT Jasamarga dan pengelola jalan yang bersangkutan, dalam hal ini adalah PT Jasamaraga (Persero) Cabang Jagorawi, Japek, Purbaleunyi, dan Palikanci. Dipilihnya jalan tol tersebut sebagai sampel dalam analisis karena memenuhi kriteria jalan tol sudah beroperasi dengan sistem tertutup minimal 6 tahun, serta pada jalan tol tersebut dilakukan pencatatan volume lalu lintas, kecelakaan dan pemeliharaan jalan dengan baik.

Hasil dari penelitian ini adalah model statistik berupa persamaan matematis yang menyatakan hubungan antara variabel terikat berupa frekuensi kecelakaan lalu-lintas, dengan variabel bebas yang merepresentasikan kondisi mikroskopik lalu-lintas dan karakteristik geometri pada ruas jalan yang bersangkutan. Kondisi mikroskopik lalu lintas tersebut di atas berupa volume lalu-lintas per jam, sedangkan secara umum karakteristik geometri jalan meliputi panjang jalan, alinyemen, dan penampang melintang. Pemodelan dilakukan dengan teknik GLM atau *Generalized Linear Model* (McCullagh & Nelder, 1989; Dobson, 1990) dengan menggunakan perangkat lunak R (R Development Core Team, 2008).

HASIL DAN PEMBAHAS

Tabel 1. Rangkuman nilai variabel karakteristik geometrik sampel ruas jalan tol.

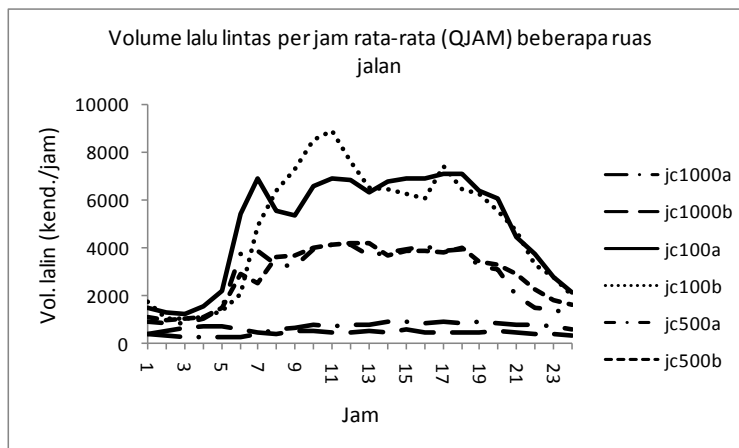
Variabel	Level	Nilai			
		Min	Maks	Rerata	Std. dev.
Panjang ruas jalan (km)		1.2	14.8	5.92	3.02
Lengkung Hor. (rad/km)		0	0.91	0.16	0.17
Naik-turun vertikal (m/km)		1.31	28.47	6.13	5.19
Jumlah lajur	2; 3; 4				
Lebar lajur (m)	3.60; 3.75				
Lebar jalur lalu lintas (m)		7.2	14.4	9.29	2.76
Lebar bahu dalam (m)	0.75; 1.50; 1.75				
Lebar bahu luar (m)	2.50; 3.00; 3.75				
Tipe median	Dinding; Guardrail; Terbuka				
Lebar median (m)	0.60; 3.00; 11.50				

Tabel 1 menyajikan rangkuman nilai karakteristik geometrik ruas jalan tol yang dianalisis untuk pengembangan model. Terdapat 10 karakteristik geometrik jalan tol yang merupakan kandidat variabel bebas dalam analisis regresi untuk mengembangkan model frekuensi kecelakaan. Panjang ruas jalan, lengkung horizontal, dan naik-turun vertikal merupakan variabel numerik. Panjang ruas jalan berkisar antara 1.2 km hingga 14.8 km dengan rerata dan simpangan baku masing-masing 5.92 km dan 3.02 km. Ruas sampel jalan tol pada umumnya mempunyai tipe alinyemen datar, dimana nilai lengkung horizontal rata-rata kurang dari 1 rad/km (0.16 rad/km) dan naik+turun vertikal kurang dari 10 m/km (6.13 m/km), meskipun terdapat ruas dengan nilai naik+turun 28.47 m/km.

Jumlah lajur, lebar lajur, lebar bahu dalam, lebar bahu luar, dan lebar median merupakan variabel diskrit. Variabel tersebut mempunyai nilai yang terbatas. Jumlah lajur mempunyai 3 level nilai, yaitu: 2, 3, dan 4. Lebar lajur hanya mempunyai 2 level nilai 3.60 m dan 3.75 m. Lebar bahu dalam, lebar bahu luar, dan lebar median masing-masing mempunyai 3 level nilai. Lebar jalur lalu lintas merupakan produk dari lebar lajur dan jumlah lajur. Sedangkan tipe median merupakan variabel dengan tipe nominal, dengan 3 level, yaitu: dinding beton, *guardrail* (pagar penahan), dan lajur terbuka berupa rerumputan.

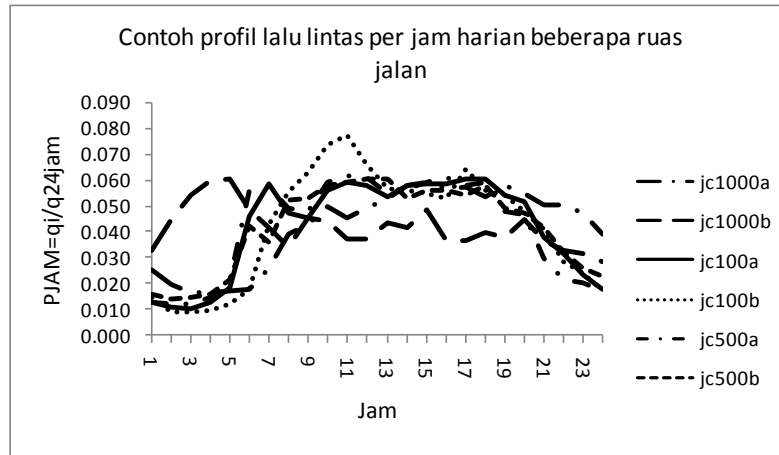
Data besarnya arus lalu lintas per jam pada saat terjadinya kecelakaan tidak tersedia secara langsung. Untuk mengatasi persoalan ini data besarnya arus lalu lintas per jam diturunkan dari LHR dengan menggunakan profil lalu lintas harian tipikal dengan prosedur sebagai berikut.

Untuk mendapatkan profil lalu lintas harian tipikal dilakukan survei lalu lintas pada hari-hari tipikal pada minggu tipikal. Dari hasil survei ini diperoleh data volume lalu lintas rata-rata per jam (QJAM) selama 24 jam pada tiap ruas. Gambar 1 menunjukkan contoh fluktuasi volume lalu lintas per jam dalam periode 24 jam pada lokasi ruas jalan jc100a, jc100b, jc500a, jc500b, jc1000a, dan jc1000b yang semuanya berada pada Jalan Tol Jakarta - Cikampek.



Gambar 1. Volume lalu lintas rata-rata per jam (QJAM) pada lokasi ruas jalan jc100a, jc100b, jc500a, jc500b, jc1000a, dan jc1000b

Volume tiap jam (QJAM) selama 24 jam dijumlahkan untuk mendapatkan volume total untuk periode satu hari. Selanjutnya proporsi untuk tiap jam (PJAM) didapatkan dengan membagi volume lalu lintas jam yang bersangkutan (QJAM) dengan volume total selama 24 jam. Pada Gambar 2 disajikan contoh profil lalu lintas tipikal per jam selama sehari yang menunjukkan fluktuasi nilai proporsi volume lalu lintas dalam periode satu jam terhadap volume lalu lintas harian pada lokasi ruas jalan jc100a, jc100b, jc500a, jc500b, jc1000a, dan jc1000b.



Gambar 2. Profil lalu lintas per jam harian (PJAM) tiap ruas jalan

Nilai volume lalu lintas per jam yang digunakan untuk analisis (VJAM) diperoleh dengan mengalikan nilai LHRT dari ruas yang bersangkutan dengan proporsi volume lalu lintas (PJAM) pada jam tersebut. Jadi,

$$VJAM_i = PJAM_i \times LHRT$$

dimana

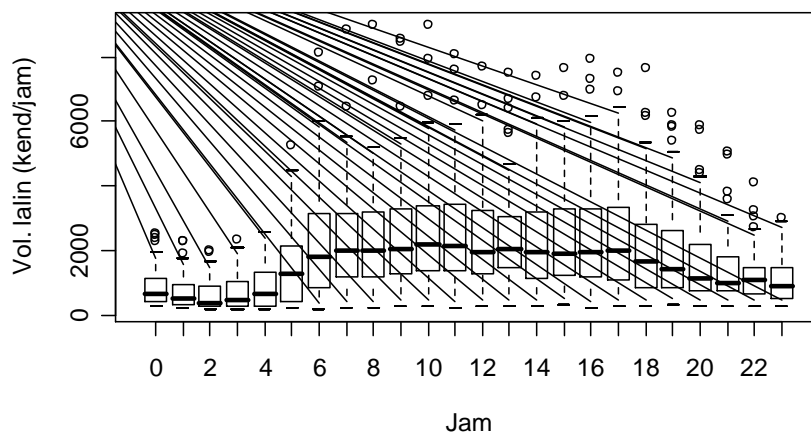
VJAM_i = Volume lalu lintas per jam pada jam i

PJAM_i = Proporsi lalu lintas pada jam i terhadap lalu lintas harian

$$PJAM_i = \frac{QJAM_i}{\sum_{i=1}^{i=24} QJAM_i}$$

QJAM_i = Volume lalu lintas per jam pada jam i hasil pengamatan

Volume lalu lintas mempunyai rentang nilai antara 150 kendaraan/jam hingga 3500 kendaraan/jam untuk jalan tol 2-lajur dengan nilai rerata dan median sekitar 1000 kendaraan/jam. Rentang nilai volume lalu lintas untuk jalan tol 3-lajur adalah antara 300 hingga 9000 kendaraan/jam dengan nilai median dan rerata sekitar 2500 kendaraan/jam. Sedangkan untuk jalan tol 4-lajur nilai volume lalu lintas mempunyai rentang antara 700 hingga 9000 kendaraan/jam dengan nilai median 4000 kendaraan/jam dan rerata 7200 kendaraan/jam. Pada Gambar 3 diperlihatkan sebaran nilai volume lalu lintas selama 24 jam. Dari Gambar 3 terlihat bahwa dalam sehari volume lalu lintas berfluktuasi dari nilai median terendah pada sekitar jam 2 dini hari, berangsur naik hingga mencapai puncak pada sekita pukul 7 pagi hari. Selanjutnya volume lalu lintas cenderung stabil, walaupun mengalami fluktuasi kecil, hingga sekitar pukul 17, hingga akhirnya cenderung berangsur-angsur turun hingga mencapai nilai minimum pada sekitar 2 dini hari.



Gambar 3. Distribusi volume lalu lintas per jam

Data kecelakaan yang digunakan dalam analisis hanya data kecelakaan yang terjadi pada bagian *basic freeway segment*. Kecelakaan yang terjadi di gerbang tol, *interchange*, dan *ramp* tidak dimasukkan. Secara keseluruhan ada 5449 kasus kecelakaan yang terjadi pada jalan tol yang dikaji dalam penelitian ini selama periode analisis tiga tahun.

Usaha pertama untuk menangkap hubungan antara jumlah kecelakaan total dengan semua regresor adalah dengan model regresi *basic-Poisson* (Poisson-ML). Tabel 3 menyajikan estimasi nilai koefisien tiap variabel beserta uji Wald parsial yang bersangkutan. Semua variabel mempunyai signifikansi yang tinggi, kecuali variabel kelandaian memanjang naik-turun vertikal dan lebar bahu luar yang tidak signifikan dengan nilai-p berturut-turut adalah 0.297 dan 0.125. Meskipun demikian, hasil uji Wald ada kemungkinan terlalu optimistis dikarenakan spesifikasi *likelihood* yang tidak tepat (Zeileis et al. 2008) dalam model *basic-Poisson*.

Sebagaimana yang ditunjukkan dalam analisis eksplorasi pada bagian sebelumnya, terdapat over-dispersi dalam data. Agar berada pada sisi yang aman, model *basic-Poisson* perlu dianalisis ulang dengan *robust standard error*. Untuk itu uji Wald dihitung ulang dengan menggunakan *sandwich standard errors*. Hasilnya disajikan dalam Tabel 3. Serupa dengan yang dihasilkan model regresi Poisson-ML dasar, kecuali kelandaian memanjang jalan dan lebar bahu luar, semua variabel tetap signifikan. Perbedaan hasil dari model *adjusted Poisson* ini bila dibandingkan dengan model Poisson-ML adalah bahwa nilai *standard error* masing-masing variabel lebih besar.

Seperti sudah dibahas sebelumnya, gejala over-dispersi seringkali terjadi pada data kecelakaan. Untuk mengkonfirmasi hal ini dilakukan analisis dengan model regresi quasi-Poisson, yang menyelesaikan persoalan over-dispersi ini dengan cara yang lebih formal. Hasil analisis dengan model quasi-Poisson untuk kecelakaan total disajikan pada Tabel 3.

Hasil analisis dengan model quasi-Poisson menghasilkan taksiran parameter dispersi $\phi = 2.054$ yang jelas lebih besar dari 1. Sehingga mengkonfirmasi bahwa over-dispersi benar-benar ada dalam data. Hasil uji Wald parsial yang dihasilkan untuk masing-masing koefisien serupa dengan hasil yang diperoleh dengan regresi Poisson dengan *sandwich standard errors*, yang mengarah pada kesimpulan yang sama.

Cara yang lebih formal untuk mengakomodasi over-dispersi dalam model regresi data cacah adalah dengan menggunakan model binomial negatif. Hasilnya adalah seperti ditampilkan dalam Tabel 3. Sebagaimana nampak pada Tabel 3, baik nilai koefisien maupun *standard error* yang dihasilkan dengan model regresi binomial negatif serupa dengan yang dihasilkan dengan model quasi-poisson dan *sandwich-adjusted* Poisson. Oleh karena, dalam kaitannya dengan prediksi nilai *mean*, ketiga model memberikan hasil yang serupa; uji Wald parsial yang bersangkutan juga mengarah pada kesimpulan yang sama.

Salah satu keuntungan model binomial negatif adalah bahwa model ini berkaitan dengan *formal likelihood*, sehingga kriteria informasi (yaitu: *Akaike Information Criteria*, AIC) langsung tersedia. Selain itu, jumlah nilai nol harapan dapat dihitung dari *fitted densities* dengan $\sum_i f(0, \hat{\mu}_i, \hat{\theta})$.

Setelah dilakukan analisis beberapa model regresi untuk jumlah kecelakaan total, yang perlu dilakukan selanjutnya adalah memahami apa yang menjadi persamaan dan perbedaan dari model-model tersebut. Selanjutnya, dapat ditentukan model mana diantara model-model tersebut yang paling tepat menggambarkan hubungan jumlah kecelakaan total dengan prediktornya. Tabel 3 menyajikan ringkasan empat model regresi untuk kecelakaan total, yang mencakup informasi tentang model yang bersangkutan, estimasi koefisien tiap variable berikut *standar error*-nya, nilai *log likelihood*, *information criteria*, dan lain-lain.

Hasil yang disajikan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa model binomial negatif jelas lebih unggul dibandingkan model ML-Poisson. Model quasi-Poisson dan model *sandwich-adjusted* Poisson tidak berkaitan dengan *fitted likelihood*. Model binomial negatif meningkatkan kecocokan secara dramatis. Hal ini juga merefleksikan bahwa over-dispersi yang ada dalam data dapat ditangkap dengan lebih baik dengan model binomial negatif dibandingkan oleh model Poisson biasa.

Yang terakhir, perhatian ditujukan pada bagaimana cacah nol ditangkap oleh berbagai model. Untuk hal ini, cacah nol observasi dibandingkan dengan jumlah cacah nol harapan hasil prediksi model-model yang berbasis *likelihood*. Hasilnya disajikan dalam Tabel 3. Sekali lagi model Poisson-ML tidak tepat menaksir cacah nol, sedangkan model yang berdasarkan binomial negatif lebih baik dalam memodelkan cacah nol. Jumlah cacah nol hasil observasi adalah 257, dan taksiran model binomial negatif cocok dengan pengamatan. Sebagai rangkuman, model binomial negatif merupakan model terbaik, dalam kaitannya dengan kecocokan, untuk data kecelakaan total.

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa model binomial negatif merupakan yang model terbaik untuk data kecelakaan total. Oleh karena itu model binomial negatif dipilih untuk memodelkan kecelakaan total. Meskipun dari nilai *deviance* mengindikasikan kecocokan model yang memuaskan, perlu dilihat apakah beberapa penyesuaian dalam model berkaitan dengan pemilihan variabel secara statistik mendapat justifikasi.

Untuk menentukan variabel bebas yang mana yang harus dimasukkan dalam model digunakan AIC (*Akaike's information criterion*). AIC melakukan identifikasi model yang terbaik diantara model-model dengan jumlah paramater yang berbeda. AIC didefinisikan sebagai berikut.

$$AIC = -2 * ML + 2 * k$$

Dimana ML adalah *maximum likelihood*, sedangkan k adalah jumlah variabel dalam model. Semakin kecil nilai AIC semakin baik model. Pemilihan variabel bebas dilakukan dengan prosedur *stepwise*, untuk menghasilkan model terbaik berdasarkan nilai AIC

minimum. Prosedur *stepwise* dilakukan dengan dimulai dari model yang mengandung seluruh kandidat variabel bebas.

Karena variabel naik+turun vertikal dan lebar bahu luar tidak signifikan dalam model, dilakukan *rerun* model dengan mengeluarkan variabel tersebut dari model. Hasilnya ditunjukkan dalam Tabel 4 to1-nbin, to2-nbin, dan to3-nbin masing-masing adalah model regresi binomial negatif dengan memasukkan semua kandidat variabel bebas, model binomial negatif tanpa variabel naik+turun vertikal, dan model binomial negatif tanpa variabel naik+turun vertikal dan lebar bahu luar. Dapat dilihat bahwa model to3-nbin mempunyai AIC yang minimal, sehingga bisa dianggap sebagai model terbaik.

Perubahan *deviance* antara *null model* dan *full model* merupakan ukuran seberapa besar kecocokan *full model* lebih baik dibandingkan dengan *null model* (yaitu model yang hanya mengandung *intercept* saja pada ruas kanan). Uji-Wald juga dapat dilakukan untuk mendapatkan *overall model fit*.

Model regresi binomial negatif yang dipilih untuk memprediksi jumlah kecelakaan total (Model to3.nbin) secara statistik signifikan (*chi-squared* = 987.7, *df* = 9, *p*<0.000). Demikian pula variabel prediktor semua masing-masing juga signifikan.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil memodelkan dan mendeskripsikan pengaruh *hourly traffic flow* (volume lalu lintas per jam) dan sejumlah elemen geometri jalan terhadap jumlah kecelakaan lalu lintas total. Variabel volume lalu lintas per jam dan panjang ruas merupakan variabel yang mempunyai pengaruh langsung (*direct effects*) pada kecelakaan, sehingga mempunyai bentuk pangkat (*power*) dalam model. Karakteristik geometri dan variabel periode waktu harian mempunyai *indirect effect* terhadap jumlah kecelakaan. Oleh karena itu, variabel karakteristik geometri dan periode waktu harian muncul dalam bentuk eksponensial dalam model prediksi kecelakaan. Sehingga walaupun nilai variabel tersebut nol atau mendekati nol model tidak memprediksi jumlah kecelakaan nol atau negatif, tetapi akan tergantung pada paparan lalu lintas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LP2M Unnes dan Ditlitabmas Ditjen Dikti Kemdikbud yang telah memberikan dana dan memungkinkan dilakukannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Cedar, A. and M. Livneh, 1982. Relationship between road accidents and hourly traffic flows-I and II. *Accident Analysis and Prevention*, 14(1): 19-44.
- Chang, J., C. Oh, and M. Chang, 1999. Effects of traffic condition (v/c) on safety a freeway facility sections. *Proceedings: Fourth Intenational Symposium on Hyghway Capacity*, 1999, pp. 200-208.
- Dobson, A.J., 1990. *An Introducton to Generalized linear Models*. Chapman & Hall /CRC, Boca Raton.

- Frantzeskakis, J.M. and D.I. Iordanis, 1987. Volume-to-capacity ratio and traffic accident on interurban four-lane highways in Greece. *Transport. Res. Record* 1213:64-71.
- Garber, N.J. and A.A. Ehrhart, 2000. *The effects of speed, flow, and geometric characteristics on crash rates for different types of virginia highways*. Final Report, Virginia Transportation Research Council, VTRC 00-R15.
- Gwynn, D.W., 1967. Relationship of accident rates and accident involvements with hourly volumes, *Traffic Quarterly*. 21(3): 407-418.
- Hadi, M., J. Aruldas, L.F. Chow, and J.J.A. Wattleworth, 1995. Estimating safety effects of cross-section design of various highway types using negative binomial regression. *Transport. Res. Record*. 1500:169-176.
- Hall, J.W. and O.J. Pendleton, 1989. Relationship between V/C ratio and accident rates, FHWA Report HPR-NM-88-02, US Department of Transportation.
- Harnen, S., R.S. Radin Umar, S.V. Wong, and W.I. Wan Hashim, 2003. Motorcycle crash prediction model for non-signalised intersections. *IATSS Research*, 27(2): 58-65.
- Hauer, E., 2004. Statistical Road Safety Modeling. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1897, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2004, pp. 81-87.
- Kanonov, Bailey, & Allery, 2008. Exploratory Examination of Functional Form of Safety Performance Functions of Urban Freeway. Paper submitted for presentation at the 2008 TRB Annual Meeting.
- Lord, D., A. Manar, and A. Vizioli. 2005. Modeling Crash-Flow-Density and Crash-Flow-V/C Ratio Relationships for rural and Urban Freeway Segments. *Accident Analysis and Prevention* 37 (1): 185-199.
- Mahalel, D., 1986. A note on accident risk. *Transportation Research Record*, 1068: 85-89.
- Maher, M.J. and I. Summersgill, 1996. A comparative methodology for the fitting of predictive accident models. *Accid. Anal. And Prev.*, 28(3): 281-296.
- Martin, J.L., 2002. Relationship between crash rate and hourly traffic flow on interurban motorways. *Accid. Anal. And Prev.* 34: 619-629.
- McCullagh, P. & J.A. Nelder, 1989. *Generalized Linear Models*, 2nd. Ed., Chapman & Hall, London
- Mensah, A. and E. Hauer, 1998. Two Problems Of Averaging Arising In The Estimation Of Relationship Between Accident And Traffic Flow. *Transport. Res. Record*, 1635: 37-43.
- Miaou, S.-P. and Lum, H., 1993. Modeling Vehicle accident and highway geometric design relationship, *Accident Analysis and Prevention*, 25(6): 689-709.
- Miaou, S.P. and D. Lord, 2003. Modeling Traffic Crash-Flow Relationships For Intersections: Dispersion Parameter, Functional Form, And Bayes Versus Empirical Bayes. *Transport. Res. Record*, 1840: 31-40.
- Mohamedshah, Y.M., J.K. Paniati, and A.G. Hobeika, 1992. Truck accident models for interstates and two lane rural road. *Transportation Research Board 71st Annual Meeting*, Washington, DC.
- Persaud, B.N. and Dzbik, L., 1993. Accident Prediction Models For Freeways. *Transport. Res. Record* 1401: 55-60.

- Persaud, B.N. and T. Nguyen, 1998. Relating safety to capacity to level of service for rural two-lane roads. In: *Proceeding of the third International Symposium on Highway Capacity*, Copenhagen, Denmark, pp. 817-831.
- Poch, M. and F. Mannering, 1996. Negative Binomial Analysis of Intersection-Accident Frequencies. *Journal of Transportation Engineering ASCE*, 122 (2): 105-113.
- Powers, M. & Carsons, J., 2004. Before-After Crash Analysis: A Primer For Using the Empirical Bayes Method, Tutorial. A report prepared for the Research Section Montana Department of Transportation.
- R Development Core Team, 2008. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-00-3, URL <http://www.R-project.org/>.
- Salifu, M., 2004. Accident prediction models for unsignalised junctions in Ghana. *IATSS Research*, 28(28): 68-81.
- Shankar, V., F. Mannering, and W. Barfield, 1995. Effect Of Roadway Geometrics And Environmental Factors On Rural Freeway Accident Frequencies. *Accident Analysis and Prevention*, 27(3): 371-389.
- Taylor, M.C., A. Baruya and J.V. Kennedy. 2002. The Relationship between Speed and Accidents on Rural Single-carriageway Roads. *TRL Report TRL511*. Crowthorne: TRL Limited.
- Wood, G.R., 2002. Generalised linear accident models and goodness of fit testing. *Accident Analysis and Prevention*, 34: 417-427.
- Wood, G.R., 2005. Confidence and prediction intervals for generalised linear accident models. *Accident Analysis and Prevention*, 37: 267-273.
- Zeileis, A., C. Kleiber, S. Jackman, 2008. Regression Models for Count Data. *Journal of Statistical Software*, 27(8): 1-25.

Tabel 3. Rangkuman model regresi untuk kecelakaan total.

Tipe Distribusi Metode Obyek	GLM Poisson ML to1.pois		GLM Poisson <i>Adjusted</i> -Poisson to1.apois		GLM Poisson Quasi-Poisson to1.qpois		GLM Binomial Negatif ML to1.nbin	
	Koef.	<i>Std. err.</i>	Koef.	<i>Std. err.</i>	Koef.	<i>Std. err.</i>	Koef.	<i>Std. err.</i>
(Intersep)	-2.971	0.276	-2.971	0.384	-2.971	0.395	-2.669	0.379
Log volume lalu lintas per jam	0.389	0.024	0.389	0.039	0.389	0.034	0.347	0.035
Log panjang ruas jalan (km)	1.029	0.033	1.029	0.045	1.029	0.047	1.104	0.047
Lengkung horizontal rata-rata (rad/km)	-1.253	0.124	-1.253	0.185	-1.253	0.178	-1.235	0.160
Naik+turun vertikal (m/km)	-0.005*	0.005	-0.005*	0.007	-0.005*	0.007	-0.001*	0.007
Lebar jalur lalu lintas (m)	0.108	0.019	0.108	0.026	0.108	0.028	0.108	0.027
Lebar bahu dalam (m)	-0.919	0.155	-0.919	0.223	-0.919	0.222	-1.071	0.213
Lebar bahu luar (m)	0.203*	0.133	0.203*	0.184	0.203*	0.190	0.233*	0.181
Median <i>guardrail</i>	-1.027	0.212	-1.027	0.293	-1.027	0.304	-1.001	0.294
Median terbuka	-0.145	0.121	-0.145	0.173	-0.145	0.173	-0.276	0.165
Periode 2: pukul 8 - 16	-0.362	0.034	-0.362	0.053	-0.362	0.049	-0.371	0.054
Periode 3: pukul 16 - 24	-0.535	0.035	-0.535	0.057	-0.535	0.050	-0.579	0.052
Juml. parameter	12		12		12		13	
Parameter dispersi					2.05			
<i>Log Likelihood</i>	-3342						-3109	
AIC	6707.6						6244.1	
$\sum \text{ifi}(0)$:Obs. 257	183						257	

* tidak signifikan; ML = maximum likelihood; AIC = akaike information criteri; GLM = generalized linear model.

Tabel 4. Pemilihan variabel untuk model kecelakaan total dengan regresi binomial negatif.

Variabel	to1-nbin		to2-nbin		to3-nbin	
	Koefisie n	Std. Error	Koefisie n	Std. Error	Koefisie n	Std. Error
(Intersep)	-2.669	0.379	-2.641	0.350	-2.440	0.325
Log volume lalu lintas per jam	0.347	0.035	0.349	0.034	0.367	0.031
Log panjang ruas jalan (km)	1.104	0.047	1.103	0.047	1.086	0.045
Lengkung horizontal rata-rata (rad/km)	-1.235	0.160	-1.249	0.148	-1.234	0.147
Naik+turun vertikal (m/km)	-0.001	0.007				
Lebar jalur lalu lintas (m)	0.108	0.027	0.106	0.025	0.084	0.020
Lebar bahu dalam (m)	-1.071	0.213	-1.053	0.195	-0.788	0.070
Lebar bahu luar (m)	0.233	0.181	0.210	0.144		
Median <i>guardrail</i>	-1.001	0.294	-0.970	0.249	-0.639	0.105
Median terbuka	-0.276	0.165	-0.262	0.150	-0.070	0.073
Periode 2: pukul 8 - 16	-0.371	0.054	-0.372	0.054	-0.383	0.053
Periode 3: pukul 16 - 24	-0.579	0.052	-0.579	0.052	-0.583	0.052
<i>Null deviance</i>	3136.4 on 1487 df		3135.7 on 1487 df		3135.9 on 1487 df	
<i>Residual deviance</i>	1636.6 on 1476 df		1636.4 on 1477 df		1638.5 on 1478 df	
AIC (<i>akaike information criteria</i>)	6244.1		6242.2		6242.2	