

## MODEL ARUS JENUH DASAR PADA SIMPANG BERSINYAL (STUDI KASUS PADA SIMPANG DENGAN LENGAN EFEKTIF SATU DAN DUA LAJUR DI BANDA ACEH)

Muntazar<sup>1</sup>, M. Isya<sup>2</sup>, Sugiarto<sup>3</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala  
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111,  
email: muntazar.hajad@gmail.com

<sup>2,3)</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala  
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111,  
email: m\_isya@unsyiah.ac.id<sup>2</sup>, sugiarto@unsyiah.ac.id<sup>3</sup>

**Abstract:** *Isolated signalized intersection plays an important role in distributing traffic movements at intersection. The main functions of the intersection are not only to reduce potential conflicts of flow (safety) but also to avoid concentrations of flow (breakdowns). An Optimal operation of intersection becomes the main focus of traffic experts as consequence of the worsening traffic condition due to highly private vehicle usage. Using video tape data recorded in Banda Aceh, therefore, this study aims to explore the influence of exogenous variables such as the intersection geometric and the traffic composition on determining base saturation flow rate at medium size signalized intersection. In this study, the concept of non-lane based traffic movement is used to observe interactions and movements among vehicles within traffic. Synchronous linear regression (SLR) approach is further applied to model and calibrate unknown model parameters. Two models are proposed in this study including without and with intercept. Findings from empirical results show that SFR models are  $S_0=421W$  and  $S_0=811+292W$  for the model without and with intercept, respectively. Results from validation further reveals that RMSPE value is about 0.8-2.6% and RMSE approximately 202-337 PCU/hr. Noted that proposed models are only valid for medium size intersection with effective legwidth to be varied from 3 to 8m.*

**Keywords :** *signalized intersection, base saturation flow rate, non-lane based movement, synchronous linear regression.*

**Abstrak:** Simpang memiliki peranan penting dalam menyalurkan pergerakan lalu lintas dari berbagai pertemuan arus pergerakan di persimpangan. Fungsi utama simpang adalah mengurangi potensi konflik (safety) dan mengurangi konsentrasi arus (breakdown). Pengoperasian simpang yang optimal menjadi focus utama para ahli rekayasa lalu lintas seiring dengan memburuknya operasional lalu lintas yang disebabkan tingginya pengguna kendaraan pribadi. Menggunakan video data yang direkam di Banda Aceh, penelitian ini bertujuan mengeksplorasi pengaruh variable eksogen seperti layout geometric simpang dan komposisi aliran lalu lintas terhadap arus jenuh dasar pada simpang bersinyal terisolasi. Konsep pergerakan kendaraan diperlebar efektif lengan simpang (non-lane based movement) digunakan untuk mengamati interaksi dan pergerakan antar kendaraan. Metode Synchronous linear regression (SLR) digunakan untuk memodelkan dan mengkalibrasi koefisien model. Dua model diusulkan pada penelitian ini, yaitu dengan dan tanpa konstanta intercept. Dari hasil empiris diperoleh  $S_0=421W$  untuk model tanpa intercept dan  $S_0=811+292W$  dengan intercept. Dari hasil validasi menunjukkan RMSPE sebesar 0.8-2.6% dan RMSE sekitar 202-337 SMP/jam. Model ini valid untuk simpang dengan lebar efektif lengan simpang bervariasi dari 3-8m.

**Kata kunci :** simpang bersinyal, model arus jenuh dasar, non-lane based movement, synchronous linear regression.

Simpang didefinisikan sebagai daerah umum dimana dua jalan atau lebih bergabung atau bersimpangan, termasuk jalan dan fasilitas tepi jalan untuk pergerakan lalu lintas di dalamnya. Lalu lintas yang bergerak pada masing-masing kaki simpang menggunakan ruang jalan pada simpang secara bersama-sama dengan lalu lintas lainnya (Khisty dan Lall, 2003 : 274). Simpang memiliki peranan penting untuk menyalurkan pergerakan lalu lintas dari berbagai pertemuan arus pergerakan. Fungsi utama simpang adalah mengalirkan dan mendistribusikan kendaraan yang lewat pada simpang sehingga mengurangi potensi konflik dan konsentrasi arus (*breakdown*). Pada simpang bersinyal, arus kendaraan yang memasuki persimpangan diatur secara bergantian untuk mendapatkan prioritas dengan berjalan terlebih dahulu yang dikendalikan oleh lampu lalu lintas. Sejauh ini, pedoman perencanaan dan pengoperasian simpang berdasarkan manual lalu lintas dari negara maju, kemudian diadopsi dengan mengkalibrasi beberapa faktor penyesuaian kondisi lokal. Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997) adalah manual yang menjadi pedoman perancangan, disain dan pengoperasian simpang bersinyal di Indonesia. Secara teori MKJI (1997) mengadopsi konsep manual dari Amerika Serikat HCM (1985). Model analisa yang digunakan pada HCM (1985) didasarkan pada kondisi aliran lalu lintas seragam (*homogenous traffic*) dan didominasi oleh tipe kendaraan mobil penumpang, serta aliran lalu lintas mengikuti konsep iring-iringan kendaraan perlajur (*lane*

*based*).

Aliran lalu lintas di Kota Banda Aceh tergolong campuran (*mixed traffic*) dan didominasi oleh kendaraan roda dua. Pergerakan arus lalu lintas tidak mengikuti aliran perlajur (*non-lane based*), bahkan sering dijumpai pengemudi yang melakukan perpindahan antar lajur (*lane changing*) atau mendahului kendaraan lain (*overtaking*). Untuk kasus di persimpangan, tidak jarang dijumpai dilapangan, roda dua berusaha mengisi antrian lebih depan pada garis henti persimpangan. Kondisi mempengaruhi proses pelepasan arus (*discharge flow*) pada saat sinyal hijau menyala. Ini merupakan sebuah bukti bahwa konsep dasar pengembangan manual lalu lintas di negara maju sangatlah berbeda karakteristik, sehingga dalam dunia praktisi penggunaan manual hasil adopsi, tanda adanya proses kalibrasi dan validasi akan tidak handal.

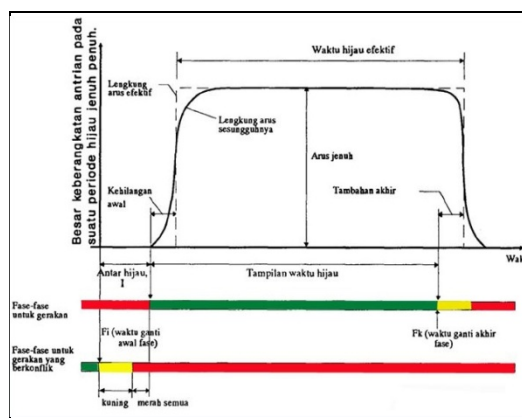
HCM yang diperkenalkan oleh *Transportation Research Board* menjadi manual yang banyak diadopsi oleh berbagai berkembang, termasuk Indonesia yang mengadopsi versi terdahulunya HCM (1985). HCM memberikan arus jenuh dasar simpang berdasarkan konstan arus maksimum pada saat sinyal hijau sebesar 1900 PCU/h/g/ln. Unit tersebut mengikat bahwa pergerakan arus lalu lintas mengikuti system iring-iringan (*platooning*) dan disiplin pergerakan per lajur jalan (*lane based*). Konsep ini menjadi permasalahan yang mendasar, sehingga konsep teori arus lalu lintas dari negara maju tidak bisa diterapkan langsung di negara-

negara berkembang, terutama pada simpang bersinyal. Hipotesa ini menjadi latar belakang studi ini, penelitian ini menjadi kajian awal untuk mempelajari pengaruh variasi geometrik simpang dan lalu lintas campuran terhadap arus jenuh simpang. Konsep pergerakan antar dan intra lajur (*non-lane based*) digunakan untuk mengamati interaksi dan pergerakan antar kendaraan. Menggunakan video data yang direkam di beberapa simpang di Kota Banda Aceh, *synchronous linear regression* (SLR) diadopsi untuk mengestimasi parameter model arus jenuh dasar simpang.

#### TINJAUAN PUSTAKA

MKJI (1997) mengadopsi konsep untuk arus jenuh dasar Akcelik (1989), yang secara teoritisnya berdasarkan konsep pergerakan arus mengikuti disiplin lajur (*lane based*). Arus jenuh sangat di pengaruhi oleh karakteristik pelepasan arus kendaraan, reaksi pengemudi dan juga karakter pengemudi. Arus Jenuh adalah Bergeraknya kendaraan melewati garis berhenti di sebuah persimpangan menunjukkan bahwa ketika lampu hijau mulai menyala, kendaraan membutuhkan waktu beberapa saat untuk mulai bergerak dan melakukan percepatan menuju kecepatan normal, tetapi setelah beberapa detik, antrian kendaraan mulai bergerak pada kecepatan konstan (Khisty dan Lal, 2003 : 293). Sehingga, permulaan keberangkatan arus menyebabkan terjadinya waktu hilang awal (*start lag*) dan disaat akhir pergerakan arus menjelang merah akan terjadi tambahan waktu akhir (*end lag*). Konsep waktu hijau efektif

kemudian dijadikan acuan untuk menentukan besarnya arus jenuh simpang pada simpang bersinyal pada manual MKJI (1997). Hijau efektif oleh MKJI didefinisikan sebagai penjumlahan tampilan waktu hijau dengan tambahan waktu akhir minus waktu hilang awal. MKJI merekomendasikan jumlah total waktu hilang dan tambahan akhir 4.8 detik.



Gambar 1. Model dasar untuk arus jenuh  
Sumber : Anonim 1997

Arus jenuh ( $S$ ) dapat dinyatakan sebagai hasil perkalian dari arus jenuh dasar ( $S_0$ ) yang merupakan arus jenuh pada keadaan standar, dengan faktor penyesuaian ( $f_i$ ) untuk kondisi-kondisi simpang yang tidak standar. Dimana arus jenuh dasar dihitung berdasarkan konsep lebar efektif lengan pendekat ( $W$ ) simpang bersinyal, atau:

$$S = S_0 \prod_i f_i = 600W \prod_i f_i$$

Rahman *dkk* (2004) mengkaji pengaruh kendaraan tak bermotor dan becak mesin terhadap kapasitas simpang bersinyal di kota Dhaka, Bangladesh. Mereka menyimpulkan pengaruh penurunan kapasitas akibat bertambahnya porsi kendaraan tak bermotor

dan becak mesin sangat signifikan. Nilai EMP baru direkomendasikan agar model prediksi kapasitas simpang mendekati dengan nilai yang terobservasi. Minh dan Sano (2003) meneliti kondisi lalu lintas di dua kota negara berkembang, yaitu Hanoi dan Bangkok. Pengamatan membuktikan arus jenuh simpang sangat dipengaruhi jumlah persentase roda dua disuatu aliran lalu lintas. Semakin tinggi persentase roda dua maka semakin kecil kapasitas simpang yang teramati. Model regresi digunakan untuk menentukan nilai EMP roda dua dan model arus jenuh dasarnya.

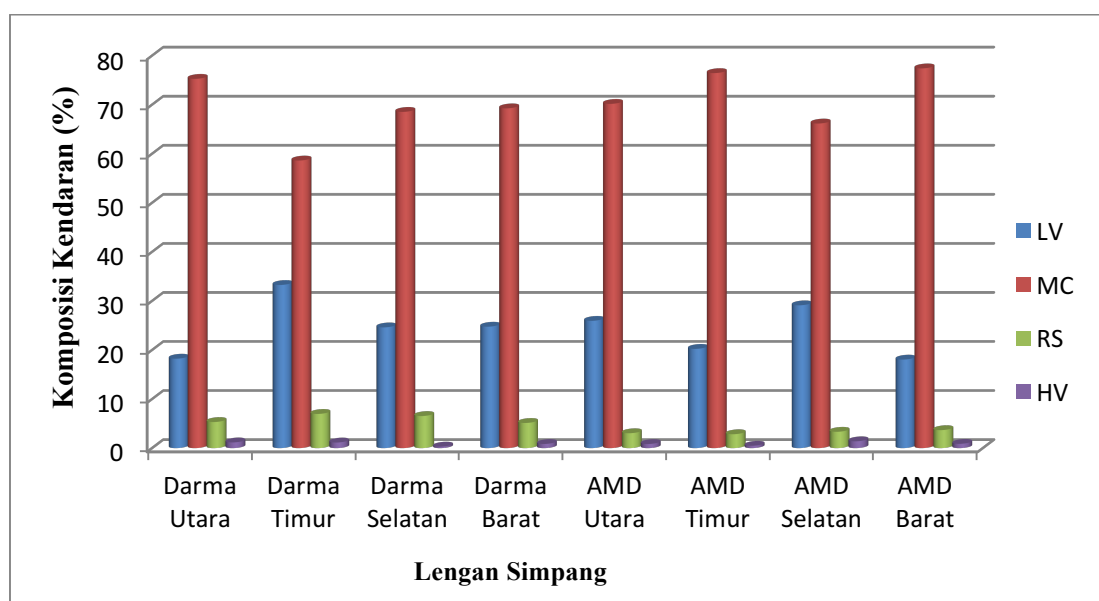
Patil *dkk* (2007) melakukan studi di kota Mumbai, India. Mereka memodelkan arus jenuh simpang dengan menggunakan regresi linear dengan mengakomodir lebar efektif lengan simpang persentase kendaraan berat, kendaraan membelok sebagai variabel bebasnya. Nguyen dan Montgomery (2007) memperkenalkan istilah *Motorcycle Homogenous Traffic* untuk menganalisa aliran lalu lintas yang didominasi oleh roda dua pada simpang bersinyal di kota Hanoi, Vietnam. Mereka memperkenalkan konsep satuan roda dua sebagai unit pengukuran arus jenuh simpang. Metode regresi digunakan untuk memodelkan arus jenuh dasar simpang dan menentukan nilai satuan roda dua untuk mobil, yaitu sebesar 3,67 MCU (*motorcycle unit*).

Penelitian terdahulu telah memberikan pengalaman bahwa mengadopsi manual HCM (1985, 2000) perlu dilakukan kalibrasi. Bahkan, para peneliti dari negara-negara berkembang seperti Rahman *dkk* (2004), Minh dan Sano (2003), Patil *dkk* (2007), dan

Nguyen dan Montgomery (2007) dengan jelas menyimpulkan kondisi aliran lalu lintas campuran lebih kompleks dan cenderung tidak bisa dijelaskan oleh teori aliran lalu lintas dari negara maju. Sehingga, mereka melakukan kajian di negara masing-masing dan memodelkan teorinya dengan menyesuaikan data empiris dari kondisi lokal. Maka, penelitian ini merupakan bentuk kontribusi awal (*preliminary study*) kondisi aliran lalu lintas di kota Banda Aceh. Penelitian ini ditujukan untuk melakukan *upgrading* dengan mengkalibrasi dan menvalidasi ulang parameter arus jenuh dasar sesuai dengan kondisi lokal di Banda Aceh.

#### METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data yang sama digunakan oleh Muntazar (2017). Hanya kajian pada penelitian ini adalah arus jenuh dasar simpang sedangkan Muntazar (2017) melakukan studi untuk nilai ekivalensi mobil penumpang (EMP) dan arus jenuh dasar pada simpang bersinyal. Lokasi penelitian yaitu simpang Darma dan simpang AMD. Kedua simpang ini merupakan simpang bersinyal berlengan 4 (empat) yang berada di wilayah kota Banda Aceh. Komposisi lalu lintas dari kedua simpang yang digunakan dipenelitian dapat dilihat pada **gambar 2**. Dari gambar 1 terlihat sangat jelas bahwa komposisi arus lalu lintas didominasi oleh sepeda motor (MC) dan mobil penumpang (LV). Komposisi MC berkisar antara 59% hingga 77% sedangkan komposisi LV berkisar antara 18% hingga 33% dan sisa komposisinya merupakan becak mesin (RS), dan kendaraan berat (HV).



Gambar 2. Komposisi lalu lintas pada lokasi penelitian.

### Pengolahan Data

Penelitian ini mengadopsi metode regresi. Kalibrasi parameter dilakukan dengan menggunakan metode *synchronous linear regression* (Branson dan Zuynen, 1978, Branson dan Gipps, 1981).

Metode *synchronous regression* diadopsi dalam menentukan besarnya nilai EMP (Muntazar, 2017). Namun pada studi ini EMP yang digunakan adalah EMP yang direkomendasikan oleh Muntazar (2017). Pada metode ini waktu jenuh diregresikan terhadap total komposisi lalu lintas yang dihitung selama waktu jenuh.

Pengamatan arus dan komponen waktu jenuh sama seperti yang diusulkan oleh Muntazar (2017). Waktu jenuh adalah lamanya waktu yang teramati berkoresponden dengan maksimum pelepasan arus yang dapat dipertahankan selama waktu hijau muncul. Berdasarkan pengamatan dilapangan waktu hilang awal (*start lag*) berkisar 4-5 detik,

sedangkan untuk waktu tambahan akhir (*end lag*) sekitar 3 detik. Kondisi dilapangan, waktu tambah akhir masih memperlihatkan jumlah maksimum pelepasan arus dari antrian, fenomena ini sangat sering terjadi dikarenakan kecenderungan pengemudi melakukan percepatan agar kendaraannya dapat terevakuasi dari lengan simpang dalam fase yang bersangkutan. Waktu jenuh disini diasumsikan sebagai penjumlahan waktu hijau efektif dengan waktu tambah akhir. Komposisi kendaraan yang teramati di lokasi studi terdiri dari lima jenis, yaitu sepeda motor (MC), mobil penumpang (LV), becak mesin (RS), dan kendaraan berat (HV).

### Model Arus Jenuh Dasar

Model arus jenuh dasar yang dikembangkan dipenelitian ini juga mengadopsi metode regresi linier. Dua model dikembangkan dalam penelitian ini, yaitu tanpa *intercept* dan dengan *intercept*.

Simple model dilakukan karena akan digunakan untuk komparatif studi dengan model arus jenuh dasarnya MKJI (1997). Pada manual ini model dasarnya juga mengacu pada konsep simple model, dimana variabel bebasnya hanya lebar efektif jalur saja. Bentuk dasar persamaan regresi untuk arus jenuh dasar sebagai berikut:

$$S_0 = \beta_{we}W + \varepsilon$$
$$S_0 = \beta_o + \beta_w W + \varepsilon$$

Dimana,  $S_0$  adalah arus jenuh dasar (SMP/jam),  $W$  adalah lebar efektif lengan pendekat simpang (m),  $\beta$  adalah parameter regresi dan  $\varepsilon$  adalah error komponen.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dua model arus jenuh dasar dibangun pada penelitian ini, meskipun keduanya adalah model prediksi arus jenuh dasar yang tergolong model sederhana (*simple model*). Untuk alasan praktis, dengan model yang sederhana namun terukur akan semaksimal mungkin dapat diaplikasikan dalam dunia praktisi. Model yang pertama adalah model tanpa konstanta regresi, artinya secara totalitas model diregresi dengan lebar efektif lengan simpang. Model kedua dengan mengakomodir nilai konstanta dan juga lebar efektif lengan simpang. Kalibrasi parameter model prediksi arus jenuh dasar simpang dilakukan dengan menggunakan data dari dua simpang dengan total 8 lengan simpang. Arus jenuh teramati dibedakan menjadi dua, yaitu berdasarkan nilai EMP dari MKJI (1997) dan dengan menggunakan EMP dari Muntazar (2017). Tujuan dilakukan hal ini agar dapat

mengevaluasi seberapa besar deviasi arus jenuh dasar MKJI (1997) dibandingkan dengan dengan model yang diusulkan.

Kalibrasi model memperlihatkan nilai *Adjusted R<sup>2</sup>* dan *t-value* yang sangat baik dengan asumsi tingkat kepercayaan 95% untuk model yang diusulkan, seperti yang terlihat pada Tabel 1 (menggunakan EMP MKJI) dan Tabel 2 (menggunakan EMP Muntazar (2017)).

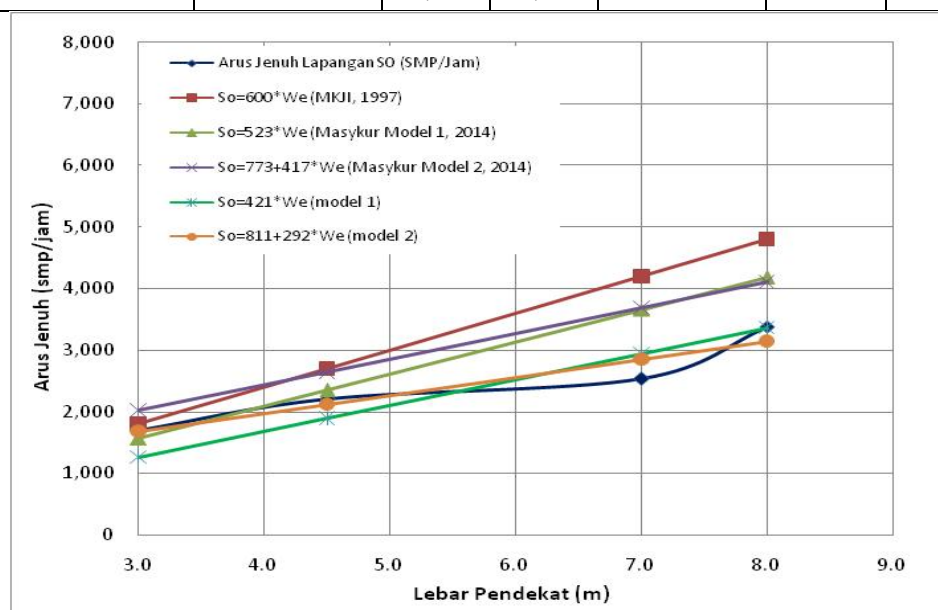
Untuk memperlihatkan tingkat sensitivitas model arus jenuh dasar, maka uji perbandingan diperlukan. Tujuannya untuk mengilustrasikan kemampuan model arus jenuh dasar MKJI (1997) dengan model yang diusulkan (*proposed*). Kemudian, sensitivitas kedua model divalidasi dengan plotting model antara MKJI (1997), model yang diusulkan, dan model dari Masykur (2014). Untuk model dengan nilai EMP dari MKJI (1997) dapat disimpulkan bahwa model prediksi arus jenuh dasar MKJI (1997) memperlihatkan deviasi positif yang sangat besar (*overestimate*). Hal ini jelas terlihat pada gambar 3, nilai arus jenuh dasar teramati memiliki perbedaan sangat besar dengan nilai arus jenuh yang diprediksi dengan metode MKJI (1997). Sedangkan model Masykur (2014) dan model yang diajukan masing-masing mendekati nilai arus jenuh teramati. Hasil *plotting* pada gambar 3 memperlihatkan bahwa model prediksi arus jenuh dasar MKJI (1997) kurang handal (*reliable*) memprediksi arus jenuh dasar suatu persimpangan apabila nilai EMP MKJI (1997) digunakan sebagai ekivalensi mobil penumpang untuk tujuan validasinya.

**Tabel 1. Kalibrasi model arus jenuh dasar dengan menggunakan nilai EMP (MKJI, 1997)**

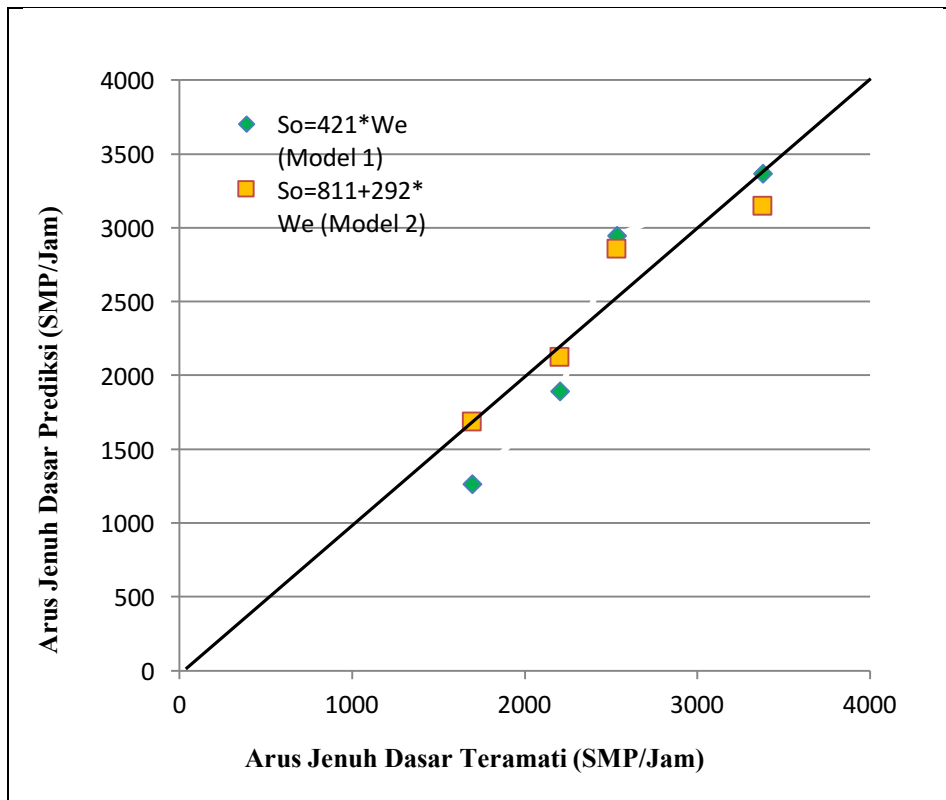
Model	Parameter	Parameter Kalibrasi		Adjusted R Squer	Std. Error	Sampel (lengan simpang)
		A	B			
Model 1 ( $S_o=405*W_e$ )	Koefisien	-	405	0,648≈ 0,7	384,25	4
	t-value	-	12,57			
Model 2 ( $S_o=729+279*W_e$ )	Koefisien	796	279	0,82	286,17	4
	t-value	1,85	3,87			

**Tabel 2. Kalibrasi model arus jenuh dasar dengan menggunakan nilai EMP Muntazar (2017)**

Model	Parameter	Parameter Kalibrasi		Adjusted R Squer	Std. Error	Sampel (lengan simpang)
		A	B			
Model 1 ( $S_o=421*W_e$ )	Koefisien	-	421	0,698≈ 0,7	388,87	4
	t-value	-	12,90			
Model 2 ( $S_o=811+292*W_e$ )	Koefisien	811	292	0,84	285,81	4
	t-value	1,89	4,05			



**Gambar 3. Plot model arus jenuh dasar berdasarkan nilai EMP Muntazar (2017).**



Gambar 4. Validasi model arus jenuh dasar

Namun, apabila nilai EMP dari Muntazar (2017) digunakan untuk memvalidasi arus jenuh dasar yang diprediksi oleh model prediksi arus jenuh dasar MKJI (1997). Memperlihatkan hasil yang mendekati kondisi sesungguhnya (teramati). Hal ini terlihat jelas pada gambar 3, uji perbandingan ketiga model (MKJI, 1997; Masykur, 2014; dan model yang diajukan) saling mendekati nilai arus jenuh dasar yang teramati sebagai referensi validasi ketiga model tersebut. Dapat disimpulkan bahwa model arus jenuh dasar MKJI (1997) masih dapat digunakan, dengan catatan hasil prediksi arus jenuh dasar model MKJI (1997) wajib divalidasi kembali dengan menggunakan data lapangan dan menggunakan EMP yang baru. Jika, validasi tidak dilakukan maka nilai arus jenuh dasar

tidak bisa terpantau mendekati kondisi teramati. Sehingga analisa kapasitas dan tingkat pelayanan simpang besar kemungkinannya bias.

Untuk tujuan kepercayaan terhadap model arus jenuh dasar yang diajukan pada penelitian ini, validasi model dilakukan dengan memploting arus jenuh dasar teramati dengan yang diprediksi oleh model 1 ( $S_0=421W_e$ ) dan model 2 ( $S_0=811+292W_e$ ). Sudut *plotting*  $45^0$  digunakan untuk memvisualisasi distribusi arus jenuh teramati dan diprediksi. Hasil *plotting* memperlihatkan titik-titik sebaran data terdistribusi secara acak (*randomly distributed*) disekitar garis lurus  $45^0$ , ini memperlihatkan model yang diajukan memenuhi kriteria. Untuk membuktikan model diterima, *root mean square error*



(RMSE) dan *root mean square percent error* (RMSPE) digunakan sebagai tolak ukur untuk menjelaskan keakuratan model.

Hasil perhitungan menunjukkan RMSE 337 (model 1), 202 (model 2) sedangkan nilai RMSPE 2,6% (model 1), 0,8% (model 2). Secara teoritis, ini membuktikan bahwa model menghasilkan kesalahan maksimum sebesar 0,8-2,6 %, atau memiliki deviasi 202-337 SMP/jam dari nilai arus jenuh dasar yang teramati. Hasil ini masih bisa diterima, karena secara praktis tingkat kesalahan dibawah 10% dapat diterima (*acceptable*).

#### KESIMPULAN

Metode regresi yang digunakan pada studi ini, memperlihatkan kemampuannya dalam menganalisa variabilitas arus jenuh dasar akibat dari perubahan nilai EMP, dengan mempertimbangkan faktor tingginya jumlah roda dua dan variasi lebar efektif lengan simpang. Beberapa hal penting dapat disimpulkan dari penelitian ini, diantaranya model arus jenuh dasar MKJI (1997) masih dapat digunakan dengan catatan wajib dilakukan validasi dengan menggunakan EMP. Model arus jenuh dasar yang diajukan dalam penelitian ini dapat digunakan untuk memprediksi arus jenuh dasar simpang, terutama untuk tujuan disain dan pengoperasian simpang, dan hasil validasi memperlihatkan tingkat kesalahan maksimum 0,8-2,6%. Untuk tujuan kelanjutan penelitian ini, perlu dilakukan pengembangan model arus jenuh dasar dengan mengakomodir lebih banyak variasi lebar lengan simpang

(geometrik) dan variasi komposisi lalu lintas. Sehingga model arus jenuh dasar akan lebih optimal dan tervalidasi. Faktor penyesuaian perlu diteliti lebih lanjut untuk simpang-simpang tidak ideal, sebelum model tersebut dikembangkan lebih lanjut untuk model kapasitas, antrian dan tundaan simpang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Akcelik, R. (1989). *Traffic Signal: Capacity and Timing Analysis. Reprint*. Research Report ARR No. 123, Australian Road Research Board.
- Anonim, (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Direktorat Jenderal Bina Marga, Bina Jalan Kota (BINKOT), Jakarta, Indonesia.
- Branston., D. M., and Van Zuylen., J. H. (1978). *The Estimation of Saturation Flow, Effective Green Time and Passenger Car Equivalents at Traffic Signals by Multiple Linear Regression*. Transportation Research, 12: 47-33.
- Branston, D. M., and Gipps., P. (1981). *Some Experience With a Multiple Linear Regression Method of Estimating Parameters of the Traffic Signal Departure Process*. Transportation Research, 6:445-458.
- Khisty. C. J dan Lall B. K., 2003. *Dasar-dasar Rekayasa Transportasi Jilid 1 Edisi Ketiga*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Masykur., (2014). *Analisis Arus Jenuh Da-*

- sar Pada Simpang Bersinyal Berlengan Empat dengan Lalu Lintas Campuran di Kota Banda Aceh*, penerbit Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- Minh, C. C., and Sano, K. (2003). *Analysis of Motorcycle Effects to Saturation Flow Rate at Signalized Intersection in Developing Countries*. Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5, 1211-1222.
- Nguyen, H. Q and Montgomery, F. (2007). *Saturation Flow and Vehicle Equivalence Factors in Traffic Dominated by Motorcycles*. 86th TRB Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Patil, Gopal R., Krishna Rao, K V dan Xu, Ning (2007). *Saturation Flow Estimation at Signalized Intersections in Developing Countries*. 86th TRB Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Rahman, M. Md., Okura, I., dan Nakamura, F. (2004). *Effects of Rickshaws and Autorickshaws on the Capacity of Urban Signalized Intersections*. IATSS Research, 28(1), 26-33.
- TRB. (2000). *Highway Capacity Manual 2000*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 2000