

GAP-ACCEPTENCE DAN PERSAMAAN EMPIRIS PREDIKSI KECEPATAN KENDARAAN TERHADAP JARAK PENDEKAT PADA BUNDRAN

Haryo Koco Buwono¹, Andika Setiawan², dan Trijети³

¹Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27, Jakarta, 10510

Email korespondensi: haryo.koco@umj.ac.id

²Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27, Jakarta, 10510

Email : andika.setiawan@umj.ac.id

³Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27, Jakarta, 10510

Email : trijети@umj.ac.id

ABSTRAK

Di Indonesia bundaran yang modern memiliki beberapa karakteristik yang jelas seperti diameter pulau tengah yang kecil, kendaraan yang masuk ke kendaraan yang bersirkulasi, penyimpangan kendaraan yang masuk, dan pulau yang terbelah antara pintu masuk dan keluar. Kemacetan muncul jelang memasuki bundaran karena kendaraan membutuhkan waktu untuk memutuskan apakah akan memasuki bundaran atau menunggu di ujung tepinya. Philbrick mengusulkan metode regresi linier, yang terutama digunakan di Inggris sedangkan metode regresi eksponensial (Brilon dan Stuwe, 1993) didasarkan pada banyak data survei di antara laju aliran masuk jenuh dan laju aliran yang bertentangan, geometri, dan lain-lain. Teori *gap-acceptence*, beberapa parameter harus ditentukan termasuk distribusi headway kendaraan yang bersirkulasi, celah kritis, dan celah berikut meskipun variabel tersebut bervariasi terhadap geometri dan kondisi lalu lintas bundaran yang berbeda. Kendaraan setiap memasuki bundaran dengan menggunakan celah aliran sirkulasi dan kapasitasnya dapat diterima terutama dalam menentukan laju aliran sirkulasi dan distribusi *headway*. Model empiris terhadap teoritis dalam kaitannya dengan model kapasitas bundaran merupakan *review* yang sederhana. Model sebagian memiliki dasar teori dan empiris dalam perilaku lalu lintas yang hampir sama. Namun, istilah model empiris memiliki kecenderungan berdasarkan analisis statistik data lapangan tanpa dasar langsung dalam teori lalu lintas. Area penelitian berdasarkan permasalahan bundaran dilakukan pada simpang Hotel Harris Summarecon Bekasi, dengan tipe bundaran satu lajur, dengan peluang konflik yang besar. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini menyatakan bahwa persamaan polinomial orde 2 dapat dijadikan model empiris dan prediksi kecepatan kendaraan terhadap jarak pendekat di bundaran.

Kata kunci: bundaran, *gap-acceptence*, numerik, empiris, prediksi

ABSTRACT

In Indonesia, modern roundabouts have several distinct characteristics, such as the small diameter of the central island, the vehicles entering the circulating vehicle, the deviation of the incoming vehicles, and the split island between the entrance and exit. Congestion arises before entering the roundabout because vehicles need time to decide whether to enter the roundabout or wait at the edge of the circle. Philbrick proposes a linear regression method, which is mainly used in the UK whereas the exponential regression method (Brilon and Stuwe, 1993) is based on a wealth of survey data among saturated inflow rates and conflicting flow rates, geometries, etc. In gap-acceptence theory, several parameters have to be determined including the distribution of circulating vehicle headway, critical gap, and the following gap although these variables vary with different roundabout geometries and traffic conditions. Every vehicle enters the roundabout using a circulation flow gap and its capacity is acceptable, especially in determining the circulation flow rate and headway distribution. Empirical model against theoretical in relation to the roundabout capacity model is a simple review. The model partially has the same theoretical and empirical basis in traffic behavior.

However, the term empirical model has a tendency to be based on statistical analysis of field data without a direct basis in traffic theory. The research area based on the roundabout problem was carried out at the intersection of the Harris Summarecon Hotel Bekasi, with a single-lane roundabout type, with a high chance of conflict. The results obtained from this study indicate that the second-order polynomial equation can be used as an empirical model and prediction of vehicle speed against short distances at roundabouts.

Keywords: roundabout; gap-acceptance; empirical numeric; prediction

1. PENDAHULUAN

Di Indonesia bundaran yang modern memiliki beberapa karakteristik yang jelas seperti diameter pulau tengah yang kecil, kendaraan yang masuk ke kendaraan yang bersirkulasi, penyimpangan kendaraan yang masuk, dan pulau yang terbelah antara pintu masuk dan keluar. Kemacetan muncul jelang memasuki bundaran karena kendaraan membutuhkan waktu untuk memutuskan apakah akan memasuki bundaran atau menunggu di ujung tepinya. Oleh karena itu, penekanan penelitian bundaran modern selalu pada daya tampung jelang masuk bundaran [1].

Philbrick mengusulkan metode regresi linier [2], yang terutama digunakan di Inggris. Metode regresi eksponensial (Brilon dan Stuwe, 1993) didasarkan pada banyak data survei di antara laju aliran masuk jenuh dan laju aliran yang bertentangan, geometri, dll. Model regresi linier di Inggris dikembangkan dari bundaran tradisional, yang memiliki desain pulau berdiameter besar dan prioritas masuk. Kapasitas, seperti pada model yang diusulkan oleh Kimber [3], dan McNell dan Smith [4], diregresi dengan parameter geometri bundaran dan total volume lalu lintas yang beredar [5] terlepas dari status lalu lintas setiap jalur.

Dalam teori *gap-acceptance*, beberapa parameter harus ditentukan termasuk distribusi *headway* kendaraan yang bersirkulasi, celah kritis, dan celah berikut meskipun variabel tersebut bervariasi terhadap geometri dan kondisi lalu lintas bundaran yang berbeda. Kendaraan setiap memasuki bundaran dengan menggunakan celah aliran sirkulasi dan kapasitasnya dapat diterima terutama

dalam menentukan laju aliran sirkulasi dan distribusi *headway* [1].

Kontras model antara "empiris vs teoritis" (seperti yang sering dilakukan dalam literatur dalam kaitannya dengan model kapasitas bundaran) merupakan review sederhana karena sebagian besar model memiliki dasar teori dan empiris dalam perilaku lalu lintas pada saat yang bersamaan. Namun, istilah "model empiris" biasanya digunakan untuk berarti "berdasarkan analisis statistik data lapangan tanpa dasar langsung dalam teori lalu lintas"[6].

Area penelitian terkait bundaran adalah dilakukan pada simpang Hotel Harris Summarecon Bekasi. Penelitian ini dimaksudkan untuk mendapatkan pemodelan numerik kecepatan kendaraan berbanding kapasitas lalulintas, mengingat terjadinya *Gap-Acceptance* dan perbedaan hasil empiris dan teoritis.



Gambar 1. Bundaran Tidak Bersinyal Simpang Hotel Harris Summarecon.

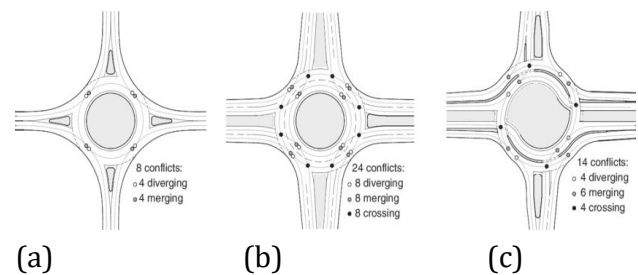
2. DESAIN BUNARAN

Merancang geometri bundaran melibatkan pemilihan antara *trade-off* keamanan dan kapasitas. Bundaran beroperasi paling aman saat geometrinya memaksa lalu lintas untuk masuk dan beredar dengan kecepatan lambat. Pada penelitian terdahulu dalam perencanaan pada bundaran dapat memperhatikan volume lalu lintas, kendaraan rencana yang digunakan, kecepatan rencana. Maksud dari kendaraan rencana yang digunakan adalah kendaraan dengan radius putar yang paling besar [7]. Bundaran Lengkungan horizontal dan lebar perkerasan sempit digunakan untuk menghasilkan lingkungan kecepatan rendah ini. Sebaliknya, kapasitas bundaran dipengaruhi secara negatif oleh elemen desain kecepatan rendah ini. Karena lebar dan jari-jari jalan masuk dan sirkulasi diperkecil, maka juga kapasitas bundaran cenderung berkurang. Secara prinsip bundaran tersebut diharapkan dapat meningkatkan kapasitas dari suatu simpang di jalan tersebut [8]. Lebih jauh lagi, banyak parameter geometrik diatur oleh persyaratan manuver kendaraan terbesar yang diharapkan melewati persimpangan. Jadi, merancang bundaran adalah proses penentuan keseimbangan optimal antara ketentuan keselamatan, kinerja operasional, dan akomodasi kendaraan besar.

Tipe konflik pada bundaran

Para peneliti telah mencapai konsensus yang lebih besar tentang manfaat keselamatan dari *turbo roundabouts*, meskipun kurangnya data kecelakaan kuantitatif. Dari serangkaian studi sebelum dan sesudah di Belanda, Fortuijn menyimpulkan bahwa “efek terukur dari bundaran turbo pada keselamatan sebanding dengan bundaran satu lajur” [9]. Sebuah studi dari Mauro dan Cattani berdasarkan teknik analisis konflik menunjukkan penurunan 40% hingga 50% dalam tingkat kecelakaan untuk bundaran turbo dibandingkan dengan

bundaran dua lajur [10]. Perbandingan jumlah titik konflik—delapan di bundaran satu lajur, 24 di bundaran dua lajur, dan 14 di bundaran turbo (Gambar 3)—juga menunjukkan peningkatan keamanan bundaran turbo dibandingkan dengan dua lajur memutar. tata letak bundaran jalur [11].



Gambar 2. Jenis Konflik Pada (a) Bundaran Satu Lajur, (b) Bundaran Dua Lajur, dan (c) Bundaran Turbo. [11]

Kecepatan kendaraan dan *gap-acceptance*

Kecepatan jalur untuk kendaraan yang melewati bundaran, terlepas dari ukuran persimpangan tersebut, merupakan penentu utama dari kapasitas lalu lintas dan keselamatan. Kecepatan kendaraan yang tepat melewati bundaran menciptakan prasyarat untuk kapasitas lalu lintas yang lebih tinggi dan untuk mengurangi bahaya kecelakaan lalu lintas. Semakin besar kelengkungan lintasan kendaraan, semakin rendah perbedaan kecepatan antara kendaraan yang masuk dan yang bersirkulasi. Hal ini menciptakan prasyarat untuk mengurangi jumlah kecelakaan lalu lintas yang terjadi pada saat kendaraan masuk atau keluar bundaran [12].

Gap-acceptance biasanya terjadi pada simpang tak bersinyal yang dikendalikan oleh prioritas kendaraan yang akan memasuki bundaran. Kendaraan yang akan memasuki persimpangan ketika tidak ada kendaraan di jalan utama atau menunggu celah yang dapat diterima di garis berhenti. Kendaraan masuk akan memasuki persimpangan jika terjadi gap di jalan utama lebih besar dari atau sama

maka akan terjadi *critical-gap*; jika tidak, kendaraan yang masuk akan melambat atau berhenti untuk menunggu *gap* berikutnya yang lebih besar dari *critical-gap*. *Critical-gap* dapat dianggap sebagai ambang penilaian pengemudi, yang menentukan apakah kendaraan dapat masuk dan memiliki cukup waktu untuk memasuki persimpangan dengan aman atau tidak. Perilaku pengemudi tentunya berbeda satu sama lain, sehingga dalam kenyataannya terjadi *critical-gap* dari berbagai pengemudi yang lain. *Critical-gap* biasanya dianggap mengikuti pola distribusi tertentu yang didiskripsikan sebagai nilai rata-rata dan varian [1].

Kecepatan jalur pergerakan kendaraan adalah kecepatan kendaraan beroperasi saat memasuki bundaran, saat berkendara di sepanjang jalan sirkulasi, dan saat keluar dari bundaran, sesuai dengan jalur pergerakan kendaraan imajiner. Selain itu, kecepatan ini secara langsung mempengaruhi kapasitas dan keselamatan lalu lintas di bundaran. Inilah sebabnya mengapa bundaran yang dirancang dengan benar mengurangi kecepatan kendaraan relatif antara jalur lalu lintas yang berkonflik di bundaran, yang mengharuskan kendaraan untuk melewati bundaran sesuai dengan lintasan lengkung yang sesuai [12]. Oleh karena itu penting untuk memahami metodologi untuk mendefinisikan pengaruh korelasi antara elemen desain dan kecepatan jalur kendaraan, dan untuk mengantisipasi kecepatan jalur kendaraan yang melewati bundaran dengan tepat.

Namun demikian, pada persimpangan melingkar dengan beberapa jalur lalu lintas (pada akses ke bundaran, dan di dalam zona bundaran), peningkatan kelengkungan lintasan kendaraan menyebabkan peningkatan faktor gesekan perkerasan, yang dapat mengakibatkan tingginya angka kecelakaan lalu lintas karena kendaraan tumpang tindih dan penyaradan. Inilah sebabnya mengapa kecepatan optimal harus dirancang untuk setiap jenis bundaran untuk menekan angka kecelakaan lalu lintas [13]. Nilai

kecepatan rencana maksimum yang direkomendasikan untuk kendaraan yang memasuki bundaran disajikan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Kecepatan Desain Maksimum yang Direkomendasikan untuk Kendaraan yang Memasuki Bundaran [10]

<i>Tipe Bundaran</i>	<i>Kecepatan desain entri maksimum yang disarankan [km/h]</i>
Bundaran Mini	25-30
Bundaran Kecil <i>Single Lane</i>	30-35
Bundaran Kecil <i>Double-Lane</i>	40
Bundaran Medium <i>Single Lane</i>	40
Bundaran Medium <i>Double-Lane</i>	50

Pemodelan empiris

Setiap bilangan positif dapat digunakan sebagai basis untuk fungsi eksponensial, tetapi beberapa basis adalah: lebih berguna daripada yang lain. Basis yang paling penting adalah angka yang dilambangkan dengan huruf e. Angka e tidak rasional, jadi kita tidak bisa menulis nilai eksaknya; nilai perkiraan hingga 20 angka desimal yang sangat kompleks adalah $e = 2.71828182845904523536$. Mungkin terlihat pada awalnya bahwa basis seperti 10 pangkat tertentu mungkin lebih mudah untuk digunakan, tetapi dalam aplikasi tertentu, seperti: sebagai bunga majemuk atau pertumbuhan penduduk, angka e memiliki hasil terbaik.

Berbeda dengan Polinomial yang juga memiliki fleksibilitas untuk mewakili hubungan nonlinear yang sangat umum [14]. Dua alasan mengapa persamaan polinomial digunakan, yang pertama adalah karena persamaan ini meminimalkan kesalahan, dengan minimal persamaan kuadrat dan alasan yang kedua adalah persamaan ini meminimalkan kesalahan terburuk, yaitu

pada saat persamaan mencapai maksimum [15].

3. KETERBARUAN

Gerakan pada bundaran dalam sebuah arus lalu lintas sangat dipengaruhi oleh manajemen sistem transportasinya dalam penelitian ini mengisi gap yang belum dilakukan untuk kebijakan yang dapat diambil yaitu:

- a. Mendapatkan pemodelan numerik kecepatan kendaraan berbanding kapasitas lalulintas,
- b. Mendapatkan *Gap-Acceptance* dan prediksi dari pemodelan menggunakan persamaan non linier eksponensial dan polinomial dari kecepatan kendaraan pada jarak pendekat bundaran.

4. METODE

Area observasi

Dalam kalibrasi model, perkiraan kapasitas dan kinerja dari model dan yang diamati di lapangan dibandingkan, dan parameter yang sesuai dalam model dimodifikasi agar sesuai dengan pengamatan dunia nyata. Konsistensi definisi juga penting dalam membandingkan perkiraan ukuran kinerja dari model yang berbeda. Semua data simpang relevan yang digunakan dalam kalibrasi model harus dikumpulkan pada waktu yang sama. Untuk bundaran, kecepatan pada semua pendekat dan kapasitas adalah diperlukan untuk mengamati pada saat yang sama karena sifat interaktif dari operasi bundaran.

Analisis kecepatan jalur kendaraan untuk bundaran yang dipilih dilakukan pada semua pendekatan dalam kondisi arus lalu lintas normal. Jadi kecepatan masuk bundaran (V_1), kecepatan sirkulasi (V_2) dan kecepatan keluar (V_3) dihitung untuk jari-jari R pergerakan jalur kendaraan.

Area observasi adalah di simpang tak bersinyal bundaran Hotel Harris Summarecon Bekasi Sedang penelitian olahan data dari survei area observasi dilakukan di laboratorium komputer dan

laboratorium Sistem Transportasi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta.

Tahapan penelitian

Pengumpulan data primer dan sekunder yang diperlukan. Untuk data primer adalah:

- a. Survey lokasi.
- b. Survey data kecepatan kendaraan dan kepadatan lalu lintas.

Kemudian data sekunder yang diperlukan adalah:

- a. Peraturan MKJI.
- b. Peraturan PPPB serta Jurnal-jurnal pendukung yang digunakan sebagai referensi atas hasil penelitian.

Dari olahan data primer menggunakan analisis statistik:

- a. Uji Normal.
- b. Probabilitas.
- c. Standar Error.
- d. Standar Deviasi.

Kemudian dilakukan uji validasi. Langkah selanjutnya dilakukan pemodelan numerik non linier:

- a. Eksponensial.
- b. Polinomial.

Pengujian Pemodelan terhadap variabel kecepatan. Sedangkan untuk data sekunder untuk memperoleh analisis model regresi dan simulasi numerik empiris berdasarkan Jurnal terkait. Dari hasil pendekatan yang didapatkan diusulkan untuk menjadi persamaan kecepatan pada bundaran.

5. DISKUSI DAN HASIL

Hasil dari pengumpulan data yang telah dilakukan maka dilakukan analisis berdasarkan data survei tersebut. Untuk data survei geometrik diinformasikan sebagai berikut:

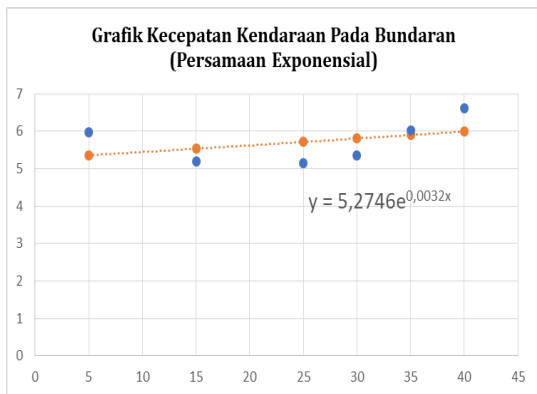
- a. Lebar jalur sebelum bundaran: 8,67 m.
- b. Lebar jalur bundaran: 15 m.
- c. Lebar jalur setelah bundaran: 13,46 m.
- d. Diameter bundaran: 6 m.

Berdasarkan data dengan 100 kendaraan dari pembacaan menggunakan rekaman video, kecepatan kendaraan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 2. Hubungan Antara Jarak Pendekat dengan Kecepatan Kendaraan

Jarak (m)	Waktu Tempuh (detik)	Kecepatan (m/det)	Kecepatan (Km/jam)
5	1,54	3,01	5,976
15	5,75	10,41	5,184
25	5,31	19,31	5,148
30	0,81	20,12	5,364
35	0,83	20,95	6,012
40	0,78	21,73	6,624

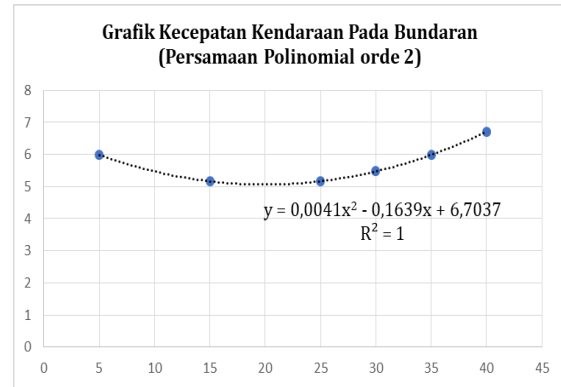
Dari hasil pembacaan kecepatan tersebut diperoleh grafik dengan eksponensial adalah sebagai berikut:



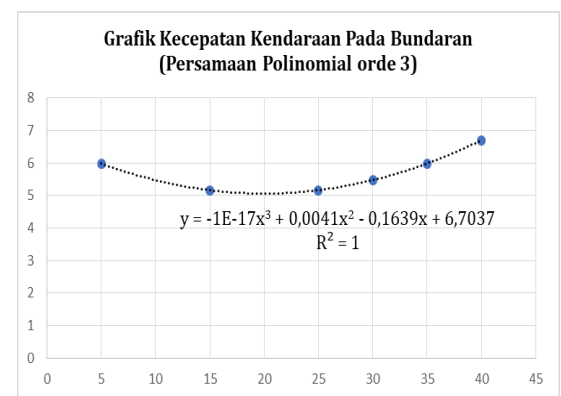
Gambar 3. Persamaan Eksponensial dari Kecepatan Kendaraan pada Bundaran

Berdasarkan Gambar 3 maka persamaan eksponensial dinyatakan tidak mewakili dari representasi data yang didapatkan maka perlu diperbaiki dengan menggunakan persamaan model polinomial.

Hasil pembacaan data kecepatan kendaraan dengan dimodelkan menggunakan polinomial diperoleh grafik sebagai berikut:



Gambar 4. Persamaan Polinomial Orde 2 dari Kecepatan Kendaraan pada Bundaran



Gambar 5. Persamaan Polinomial Orde 3 dari Kecepatan Kendaraan pada Bundaran.

Dari kedua persamaan polinomial tersebut diperoleh simpangan data error/residu sebagai berikut:

Tabel 3. Selisih Error/Residu Kedua Persamaan Polinomial

Jarak (m)	Kecepatan (Km/jam)	Poli 2 error	Poli 3 error
5	5,976	5,98 67	0,010 7
15	5,184	5,16 77	0,016 3
25	5,148	5,16 87	0,020 7
30	5,364	5,47 67	0,112 7

Jarak (m)	Kecepatan (Km/jam)	Poli 2	Poli 3	error	error
35	6,012	5,9897	0,0223	5,9524	-0,0596
40	6,624	6,7077	0,0837	6,6758	0,0518
Jumlah error			0,1892		0,0708

Berdasarkan analisis residu yang didapatkan maka dinyatakan polinomial orde 3 lebih baik dibandingkan polinomial orde 2. Dalam penggunaan secara praktis maka polinomial orde 2 lebih memudahkan dalam perhitungan mengingat selisih yang digunakan tidak signifikan dengan hasil polinomial orde 3.

Persamaan bundaran yang diusulkan untuk diameter 6 meter pada bundaran depan Hotel Harris dinyatakan dalam persamaan polinomial orde 2:

$$V = 0,004(j^2) - 0,1639(j) + 6,7037 \quad (1)$$

Dengan V = kecepatan rata-rata kendaraan (Km/Jam), j = Jarak pendekat.

6. KESIMPULAN

Analisis dan hasil yang dinyatakan dalam penelitian ini disimpulkan bahwa *gap acceptance* yang dihasilkan menyatakan bahwa persamaan polinomial orde 3 memiliki ketepatan yang lebih akurat dibandingkan polinomial orde 2. Namun dalam implementasi praktis, polinomial orde 2 memiliki sisi kemudahan dalam proses perhitungan kecepatan pendekat. Sedangkan eksponensial tidak dapat digunakan sebagai referensi untuk prediksi kecepatan pendekat pada bundaran.

DAFTAR PUSTAKA

[1] T. Tollazzi, R. Mauro, D. Žilioniene, I. I. Otković, and N. Stamatiadis, "Modern Roundabouts: A Challenge of the Future," *J. Adv.*

Transp., vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/3950891.

[2] MILLER AJ, "Empirical Model for Multilane Road Traffic," *Transp. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 164–186, 1970, doi: 10.1287/trsc.4.2.164.

[3] R. M. Kimber, "Gap-acceptance and empiricism in capacity prediction," *Transp. Sci.*, vol. 23, no. 2, pp. 100–111, 1989, doi: 10.1287/trsc.23.2.100.

[4] D. R. McNeil and J. T. Smith, "A Comparison of Motorist Delays for Different Merging Strategies," *Transp. Sci.*, vol. 3, no. 3, pp. 239–254, 1969, doi: 10.1287/trsc.3.3.239.

[5] R. T. Luttinen, *Capacity at Unsignalized*, no. 3. 2003.

[6] R. Akçelik, "Roundabout Model Calibration Issues and a Case Study," *Victoria*, no. May, pp. 22–25, 2005.

[7] H. K. Buwono, A. Setiawan, and O. Damarwulan, "Pemodelan Polinomial Kecepatan Kendaraan Ringan Pada Bundaran," *Agregat*, vol. 7, no. 1, pp. 642–648, 2022, doi: 10.30651/ag.v7i1.13297.

[8] A. Setiawan, "Proyeksi Kinerja Tundaan Pada Bundaran Monumen Selamat," *Konstruksia*, vol. 13, no. 1, pp. 128–136, 2021.

[9] L. G. H. Fortuijn, "Turbo roundabouts," *Transp. Res. Rec.*, no. 2096, pp. 16–24, 2009, doi: 10.3141/2096-03.

[10] R. Mauro, M. Cattani, and M. Guerrieri, "Evaluation of the safety performance of turbo roundabouts by means of a potential accident rate model," *Balt. J. Road Bridg. Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 28–38, 2015, doi: 10.3846/bjrbe.2015.04.

[11] L. Vasconcelos, A. Silva, Á. Seco, P. Fernandes, and M. Coelho,

- “Turboroundabouts,” *Transp. Res. Rec.*, no. 2402, pp. 28–37, 2014, doi: 10.3141/2402-04.
- [12] H. Pilko, D. Brčić, and N. Šubić, “Study of vehicle speed in the design of roundabouts,” *Gradjevinar*, vol. 66, no. 5, pp. 407–416, 2014, doi: 10.14256/JCE.887.2013.
- [13] and E. M. K. Lee Rodegerdts, Justin Bansen, Christopher Tiesler, Julia Knudsen, *Roundabouts: An Informational Guide 2nd Edition - NCHRP Report 672*. 2010.
- [14] B. G. K. Smyth, “Polynomial approximation,” *North-holl. Math. Stud.*, vol. 11, no. C, pp. 67–75, 2014, doi: 10.1016/S0304-0208(08)71986-8.
- [15] N. Brisebarre, J. M. Muller, and A. Tisserand, “Computing machine-efficient polynomial approximations,” *ACM Trans. Math. Softw.*, vol. 32, no. 2, pp. 236–256, 2006, doi: 10.1145/1141885.1141890.