



Kinerja Simpang Tak Bersinyal: Studi Kasus Jalan Wates KM 5 (Barat Pasar Gamping)

Muhammad Baihaqi^{1*}, Joko Triwanto²

¹ Universitas Muhammadiyah Malang, Malang, Indonesia

² Program Profesi Insinyur, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Raya Tlogomas 246 Malang, Indonesia

*Corresponding Author's e-mail: aqiwadug@gmail.com

Article History:

Received: August 7, 2026

Revised: September 4, 2026

Accepted: September 28, 2026

Keywords:

capacity, degree of saturation, delay, queue probability

Abstract: Sleman Regency has a high population density, requiring adequate transportation facilities to prevent traffic congestion and excessive fuel consumption. One of the intersections that frequently experiences long vehicle queues during peak hours is located at Jl. Wates Km 5, west of Gamping Market. This study aims to evaluate the performance of the intersection and propose appropriate improvement measures. The research method refers to the Indonesian Highway Capacity Manual (MKJI) 1997. Primary data were collected through field surveys conducted over three days (Monday, Wednesday, and Saturday) during morning, midday, and evening peak hours, while secondary data on population were obtained from relevant government agencies. The analysis of the existing condition indicates a degree of saturation (DS) of 1.249, which exceeds the recommended limit specified in MKJI 1997 (DS < 0.80). To address this problem, two improvement alternatives were evaluated. The first alternative involved installing a median barrier and reducing roadside friction from a medium to a very low level, resulting in a reduction of the DS to 0.921. The second alternative combined the first measure with a 2.5-meter widening of the minor-road approach, further reducing the DS to 0.894 and decreasing the average intersection delay to 15.236 seconds. Although the final degree of saturation remains above the ideal threshold of 0.80, both alternatives significantly improve traffic flow by reducing congestion and vehicle delay at the intersection.

Copyright © 2026, The Author(s).

This is an open access article under the CC-BY-SA license



How to cite: Baihaqi, M., & Triwanto, J. (2026). Kinerja Simpang Tak Bersinyal: Studi Kasus Jalan Wates KM 5 (Barat Pasar Gamping). *SENTRI: Jurnal Riset Ilmiah*, 5(9), 4807–4814. <https://doi.org/10.55681/sentri.v5i9.7086>

PENDAHULUAN

Persimpangan jalan merupakan bagian penting dari sistem jaringan jalan karena menjadi titik pertemuan dua atau lebih ruas jalan yang mengakomodasi berbagai manuver kendaraan. Pada lokasi ini terjadi interaksi arus lalu lintas yang paling kompleks sehingga berpotensi menimbulkan konflik, tundaan, antrean, maupun kecelakaan apabila kapasitas simpang tidak mampu mengimbangi volume kendaraan yang melintas. Oleh karena itu, evaluasi kinerja simpang menjadi salah satu aspek penting dalam perencanaan, pengoperasian, dan pengembangan sistem transportasi perkotaan. Penilaian kinerja simpang dilakukan melalui beberapa parameter utama, yaitu kapasitas, derajat kejenuhan (*degree of saturation*), tundaan (*delay*), dan peluang antrean (*queue probability*), sebagaimana tercantum dalam Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 yang hingga kini masih banyak digunakan sebagai acuan analisis kinerja simpang di Indonesia [1].

Pertumbuhan jumlah penduduk dan meningkatnya aktivitas ekonomi di kawasan perkotaan berpengaruh langsung terhadap peningkatan mobilitas masyarakat. Kondisi tersebut menyebabkan volume lalu lintas terus meningkat sehingga berbagai ruas jalan dan persimpangan mengalami penurunan tingkat pelayanan. Permasalahan kemacetan umumnya diawali dengan meningkatnya derajat kejenuhan yang mengakibatkan bertambahnya panjang antrean, tundaan kendaraan, konsumsi bahan bakar, serta emisi kendaraan bermotor. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa evaluasi kinerja simpang sangat diperlukan sebagai dasar dalam menentukan alternatif penanganan, baik melalui pengaturan lalu lintas, pelebaran pendekat, maupun rekayasa geometrik agar kapasitas simpang dapat kembali memenuhi tingkat pelayanan yang diharapkan [2]–[4].

Kabupaten Sleman merupakan salah satu wilayah dengan perkembangan kawasan permukiman, pendidikan, perdagangan, dan jasa yang sangat pesat di Daerah Istimewa Yogyakarta. Keberadaan berbagai pusat kegiatan tersebut menyebabkan intensitas pergerakan kendaraan semakin tinggi, terutama pada jam berangkat kerja, jam sekolah, dan jam pulang aktivitas. Kondisi ini menjadikan beberapa persimpangan di Kabupaten Sleman mengalami kepadatan lalu lintas yang cukup tinggi sehingga memerlukan evaluasi kinerja secara berkala. Penelitian-penelitian terdahulu di wilayah Sleman juga menunjukkan bahwa sejumlah simpang memiliki nilai derajat kejenuhan yang tinggi sehingga membutuhkan alternatif penanganan berupa rekayasa lalu lintas maupun perbaikan geometrik untuk meningkatkan kapasitas dan mengurangi tundaan kendaraan [2], [5].

Salah satu lokasi yang mengalami permasalahan tersebut adalah simpang tak bersinyal Jl. Wates Km 5 yang berada di sebelah barat Pasar Gamping, Kabupaten Sleman. Simpang ini merupakan salah satu akses utama yang menghubungkan kawasan permukiman, perdagangan, pendidikan, perkantoran, fasilitas kesehatan, serta jalur menuju Kota Yogyakarta. Pada jam sibuk pagi, siang, dan sore hari, arus kendaraan yang tinggi menyebabkan terbentuknya antrean panjang, meningkatnya tundaan perjalanan, serta menurunnya kenyamanan pengguna jalan. Selain dipengaruhi oleh besarnya volume kendaraan, kondisi tersebut juga dipengaruhi oleh tingginya aktivitas keluar-masuk kendaraan dari kawasan perdagangan, parkir di badan jalan, aktivitas pejalan kaki, dan hambatan samping lainnya yang mengurangi kapasitas efektif simpang.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan analisis kinerja simpang secara komprehensif untuk mengetahui tingkat pelayanan simpang pada kondisi eksisting sekaligus merumuskan alternatif penanganan yang paling efektif. Penelitian ini menggunakan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 dengan menganalisis parameter kapasitas, derajat kejenuhan, tundaan, dan peluang antrean berdasarkan hasil survei volume lalu lintas pada jam puncak. Selanjutnya dilakukan simulasi beberapa alternatif penanganan berupa pengurangan hambatan samping, pemasangan pembatas jalan, serta pelebaran pendekat simpang untuk memperoleh kondisi operasional yang lebih baik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi pemerintah daerah dalam menentukan kebijakan peningkatan kinerja simpang serta mendukung kelancaran mobilitas masyarakat di kawasan Jl. Wates Km 5 Kabupaten Sleman.

LANDASAN TEORI

2.1 Simpang Tak Bersinyal

Simpang tak bersinyal merupakan pertemuan dua atau lebih ruas jalan yang pengaturan pergerakan kendaraannya tidak menggunakan alat pemberi isyarat lalu lintas, sehingga prioritas kendaraan ditentukan berdasarkan aturan lalu lintas dan kondisi arus di lapangan. Kinerja simpang jenis ini sangat dipengaruhi oleh volume kendaraan, kondisi geometrik, hambatan samping, serta pola pergerakan kendaraan sehingga diperlukan evaluasi untuk mengetahui tingkat pelayanannya [2], [6], [7].

2.2 Kapasitas Simpang

Kapasitas simpang adalah jumlah maksimum kendaraan yang dapat melewati suatu simpang dalam satuan waktu tertentu pada kondisi jalan, lalu lintas, dan lingkungan tertentu. Menurut MKJI 1997, kapasitas dipengaruhi oleh kapasitas dasar dan berbagai faktor penyesuaian, seperti lebar pendekat, ukuran kota, median jalan, hambatan samping, serta proporsi kendaraan yang berbelok. Nilai kapasitas menjadi dasar dalam menilai kemampuan simpang melayani arus lalu lintas [2], [15].

2.3 Derajat Kejenuhan (Degree of Saturation)

Derajat kejenuhan (DS) merupakan perbandingan antara volume lalu lintas dengan kapasitas simpang. Nilai DS digunakan sebagai indikator utama dalam mengevaluasi tingkat pelayanan simpang. Berdasarkan MKJI 1997, simpang dikatakan masih beroperasi dengan baik apabila nilai DS tidak melebihi 0,80. Semakin tinggi nilai DS, maka semakin besar kemungkinan terjadinya kemacetan, antrean, dan penurunan tingkat pelayanan lalu lintas [2], [15].

2.4 Tundaan (Delay)

Tundaan adalah tambahan waktu tempuh yang dialami kendaraan ketika melewati suatu persimpangan akibat adanya konflik lalu lintas, perlambatan, maupun waktu menunggu. Nilai tundaan terdiri atas tundaan geometrik dan tundaan lalu lintas yang dipengaruhi oleh kondisi arus kendaraan serta karakteristik simpang. Semakin tinggi volume lalu lintas dibandingkan kapasitas simpang, maka tundaan yang terjadi akan semakin besar [2], [6].

2.5 Peluang Antrean (Queue Probability)

Peluang antrean merupakan probabilitas terbentuknya antrean kendaraan pada pendekat simpang akibat tingginya derajat kejenuhan. Dalam MKJI 1997, peluang antrean dihitung berdasarkan hubungan empiris dengan nilai DS sehingga dapat digunakan untuk memperkirakan potensi kemacetan pada suatu persimpangan. Semakin besar nilai DS, semakin tinggi pula peluang terbentuknya antrean kendaraan [2].

2.6 Hambatan Samping

Hambatan samping adalah aktivitas di sekitar ruas jalan yang dapat mengganggu kelancaran arus lalu lintas, seperti kendaraan parkir, kendaraan keluar-masuk akses, aktivitas pejalan kaki, kendaraan lambat, dan kegiatan di tepi jalan. Tingkat hambatan samping yang tinggi akan menurunkan kapasitas efektif simpang sehingga meningkatkan tundaan dan derajat kejenuhan. Oleh karena itu, pengendalian hambatan samping merupakan salah satu upaya yang efektif untuk meningkatkan kinerja simpang [2], [17].

2.7 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian mengenai kinerja simpang tak bersinyal menunjukkan bahwa sebagian besar permasalahan lalu lintas disebabkan oleh tingginya volume kendaraan dibandingkan kapasitas simpang. Penelitian oleh Juniardi [3], Mustofa [8], Nugroho [9], Sinuhaji [13], dan Subkhan [14] menyimpulkan bahwa penerapan rekayasa lalu lintas,

pengurangan hambatan samping, serta pelebaran pendekat mampu meningkatkan kapasitas simpang, menurunkan derajat kejenuhan, dan mengurangi tundaan kendaraan sehingga tingkat pelayanan simpang menjadi lebih baik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk mengevaluasi kinerja simpang tak bersinyal Jl. Wates Km 5 di sebelah barat Pasar Gamping, Kabupaten Sleman. Lokasi penelitian merupakan simpang empat yang terdiri atas lengan utara (Jl. Delingsari), lengan selatan (Jl. Utara UMY), lengan barat (Jl. Wates Km 5 arah Kulon Progo), dan lengan timur (Jl. Wates Km 5 arah Kota Yogyakarta). Pendekatan ini digunakan untuk menggambarkan kondisi lalu lintas berdasarkan hasil survei lapangan yang dianalisis menggunakan parameter teknis sesuai Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 [1].

Data penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui survei lapangan yang meliputi volume lalu lintas, kondisi geometrik simpang, dan hambatan samping dengan bantuan formulir survei, *counter*, meteran, kamera video, serta jam tangan. Data sekunder berupa jumlah penduduk, kategori ukuran kota, dan peta lokasi diperoleh dari instansi terkait sebagai data pendukung analisis [1].

Survei volume lalu lintas dilaksanakan selama empat hari pada tiga periode jam sibuk, yaitu pukul 06.30–08.30 WIB, 11.00–13.00 WIB, dan 15.30–17.30 WIB dengan interval pencatatan setiap 15 menit. Pengamatan melibatkan tujuh orang surveyor yang bertugas menghitung volume kendaraan berdasarkan arah pergerakan serta mencatat aktivitas hambatan samping. Kendaraan diklasifikasikan menjadi kendaraan tidak bermotor (UM), sepeda motor (MC), kendaraan ringan (LV), dan kendaraan berat (HV) sesuai ketentuan MKJI 1997 [1].

Data yang diperoleh kemudian ditabulasi dan dianalisis menggunakan metode MKJI 1997 untuk menghitung kapasitas simpang, derajat kejenuhan (*Degree of Saturation/DS*), tundaan (*Delay/D*), dan peluang antrean (*Queue Probability/QP*). Hasil analisis dibandingkan dengan kriteria MKJI, yaitu nilai derajat kejenuhan yang disarankan tidak melebihi 0,80. Apabila nilai tersebut terlampaui, dilakukan simulasi beberapa alternatif penanganan, seperti pengurangan hambatan samping, pemasangan pembatas jalan, dan pelebaran pendekat jalan minor untuk memperoleh kinerja simpang yang lebih baik [1].

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Data Masukan Simpang

4.1.1 Kondisi Geometrik dan Tipe Simpang

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan, persimpangan Jl. Wates Km 5, Jl. Delingsari, dan Jl. Utara UMY merupakan simpang empat tak bersinyal yang diklasifikasikan ke dalam tipe simpang 424. Angka ini menunjukkan simpang memiliki 4 lengan, dengan 2 lajur pada jalan minor (Jl. Delingsari dan Jl. Utara UMY) serta 4 lajur pada jalan utama (Jl. Wates). Lebar rata-rata pendekat total (*W_I*) didapatkan sebesar 4,55 meter. Detail dimensi eksisting lajur lengan simpang tersaji pada tabel berikut:

Tabel 1 Dimensi Eksisting Lajur Lengan Sim pang

Nama Lengan Sim pang	Notasi Lengan	Lebar Pendekat (W)	Jumlah Lajur	Fungsi Jalan
Jl. Delingsari	A	2,25 m	2 (Total $WAC = 2,7$ m)	Minor
Jl. Wates (Arah Timur)	B	6,40 m	4 (Total $WBD = 6,4$ m)	Utama
Jl. Utara UMY	C	3,15 m	2 (Total $WAC = 2,7$ m)	Minor
Jl. Wates (Arah Barat)	D	6,40 m	4 (Total $WBD = 6,4$ m)	Utama

4.1.2 Kondisi Lingkungan dan Hambatan Samping

Berdasarkan kondisi tata guna lahan di sekitar lokasi, kawasan jalan utama (B dan D) serta jalan minor (C) didominasi oleh aktivitas komersial berupa pertokoan, pasar, rumah makan, bengkel, serta area pendidikan (kampus dan sekolah). Tingginya aktivitas penyeberang jalan, kendaraan parkir, serta kendaraan masuk-keluar menyebabkan wilayah simpang ini diklasifikasikan ke dalam kelas hambatan samping sedang dengan nilai rasio kendaraan tak bermotor sebesar 0,014.

4.1.3 Fluktuasi Volume Arus Lalu Lintas (Q)

Berdasarkan hasil survei yang dilakukan, fluktuasi arus lalu lintas harian menunjukkan beban tertinggi terjadi pada hari Senin, 28 April 2014. Volume arus total pada jam puncak pagi (pukul 06.45 – 07.45 WIB) menyentuh angka 6.590 smp/jam. Tingginya volume pada awal pekan ini dipicu oleh mobilitas masyarakat yang berangkat bekerja serta aktivitas akademis di sekitar kawasan universitas.

4.2 Kapasitas Sim pang (C)

Perhitungan kapasitas nyata simpang tak bersinyal mengacu pada ketentuan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Berdasarkan tipe simpang 424, nilai kapasitas dasar (C_0) ditetapkan sebesar 3.400 smp/jam. Nilai kapasitas riil (C) diperoleh dengan mengalikan kapasitas dasar dengan faktor-faktor penyesuaian sebagai berikut:

1. Faktor penyesuaian lebar pendekat (F_w) = 0,947
2. Faktor penyesuaian median jalan utama (F_m) = 1,200 (karena lebar median < 3m)
3. Faktor penyesuaian ukuran kota (F_{cs}) = 1,00 (berdasarkan jumlah penduduk Kabupaten Sleman tahun 2013 sebesar 1.114.833 jiwa yang termasuk kategori Kota Besar)
4. Faktor penyesuaian hambatan samping (FRSU) = 0,927
5. Faktor penyesuaian belok kiri (FLT) = 0,936
6. Faktor penyesuaian belok kanan (FRT) = 1,00
7. Faktor penyesuaian rasio jalan minor (FMI) = 1,497

Melalui substitusi nilai-nilai tersebut, perhitungan kapasitas riil simpang (C) adalah sebagai berikut:

$$C = C_0 \times F_w \times F_m \times F_{cs} \times FRSU \times FLT \times FRT \times FMI$$

$$C = 3400 \times 0,947 \times 1,200 \times 1,00 \times 0,927 \times 0,936 \times 1,00 \times 1,497 = 5.018 \text{ smp/jam}$$

4.3 Perilaku Lalu Lintas Eksisting

Berdasarkan perbandingan antara volume total kendaraan pada jam puncak ($Q_{\text{total}} = 6.270$ smp/jam) dan kapasitas nyata ($C = 5.018$ smp/jam), diperoleh parameter kinerja simpang eksisting sebagai berikut:

- Derajat Kejenuhan

$$DS = Q_{\text{total}} / C = 6270 / 5018 = 1,249$$

Nilai derajat kejenuhan eksisting yang didapatkan sebesar 1,249 menunjukkan beban lalu lintas telah melebihi daya tampung persimpangan. Angka ini melampaui batas maksimal kelayakan empiris yang dipersyaratkan dalam MKJI 1997, yaitu $DS \leq 0,80$.

- Tundaan Simpang (D)

Tingginya nilai derajat kejenuhan berimplikasi langsung pada waktu penundaan kendaraan. Waktu tundaan lalu lintas simpang ($DT1$) tercatat sebesar 55,583 detik/smp. Ditambah dengan tundaan geometrik simpang ($DG = 4,00$ detik/smp), didapatkan total tundaan simpang keseluruhan (D) sebesar 59,583 detik/smp. Angka ini menggambarkan bahwa pengendara mengalami hambatan waktu tunggu yang signifikan untuk melewati persimpangan.

- Peluang Antrean (QP)

Berdasarkan perhitungan statistik berbasis nilai DS, probabilitas terciptanya penumpukan kendaraan di area persimpangan memiliki rentang persentase batas bawah sebesar 63,98% hingga batas atas mencapai 131,22%. Nilai batas atas yang melebihi 100% menandakan antrean kendaraan pada pendekat jalan terkadang mengunci pergerakan kendaraan di lengan persimpangan lainnya (gridlock).

4.4 Alternatif Solusi Persimpangan

Kondisi eksisting yang menunjukkan nilai $DS = 1,249$ mengonfirmasi perlunya tindakan penanganan manajemen lalu lintas. Kemacetan ini disebabkan oleh tingginya konflik pergerakan kendaraan berbelok, volume kendaraan yang tinggi, serta tingginya aktivitas hambatan samping.

Langkah penanganan disimulasikan melalui perbaikan tata lalu lintas pada Formulir USIG-II Pilihan ke-2. Skenario ini diterapkan pada jalan minor A (Jl. Delingsari) dan jalan minor C (Jl. Utara UMY), dengan aturan kendaraan dari jalan minor dilarang bergerak lurus dan dilarang belok kanan. Seluruh kendaraan dari jalan minor diwajibkan untuk belok kiri langsung serta dilakukan sterilisasi hambatan samping di sekitar simpang sehingga kelas hambatan samping turun dari kategori sedang menjadi sangat rendah. Melalui skenario manajemen rekayasa lalu lintas ini, volume konflik pada titik persimpangan dapat ditekan, sehingga mampu meningkatkan efisiensi dan kelancaran arus kendaraan di sekitar persimpangan.

Langkah penanganan lainnya yang dapat dilakukan yaitu dengan melakukan pelebaran jalan dengan pelebaran tambahan 2,5 meter atau sesuai dengan batas minimum lebar pendekat. Hasil yang diperoleh dengan pelebaran jalan ini yaitu terjadi penurunan kemacetan, tundaan simpang pun menurun dan derajat nilai kejenuhan yang dihasilkan kurang lebih 0,8.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis menggunakan MKJI 1997, kinerja eksisting simpang empat tak bersinyal Jl. Wates Km 5 (Barat Pasar Gamping) menunjukkan kondisi yang kurang baik dengan kapasitas (C) 5.018 smp/jam, derajat kejenuhan (DS) kritis sebesar 1,249, dan tundaan (D) 59,583 det/smp. Untuk mengatasi masalah tersebut, penerapan Skenario I

(pelarangan jalan lurus/belok kanan pada jalan minor serta penurunan hambatan samping) terbukti mampu memperbaiki kinerja simpang menjadi C: 6.566 smp/jam, DS: 0,921, dan D: 16,051 det/smp. Sementara itu, Skenario II (pelebaran jalan pendekat sebesar 2,5 meter) memberikan hasil yang paling optimal dalam mengurangi antrean kemacetan dengan meningkatkan kapasitas hingga 6.771 smp/jam serta menurunkan DS menjadi 0,894 dan D menjadi 15,236 det/smp, meskipun nilai derajat kejenuhan yang dihasilkan masih berada di atas ambang batas 0,8.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Badan Pusat Statistik Kabupaten Sleman, *Kabupaten Sleman Dalam Angka 2013*. Sleman, Indonesia: BPS Kabupaten Sleman, 2013.
- [2] Direktorat Jenderal Bina Marga, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997: Simpang Tak Bersinyal*. Jakarta, Indonesia: Departemen Pekerjaan Umum, 1997.
- [3] Juniardi, "Analisis Arus Lalu Lintas di Simpang Tak Bersinyal di Simpang Timoho dan Simpang Tunjung di Kota Yogyakarta," Tesis Magister, Program Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia, 2006.
- [4] Juniardi, *Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal*. Pontianak, Indonesia: Universitas Tanjungpura, 2006.
- [5] Kementerian Pekerjaan Umum, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Jakarta, Indonesia: Departemen Pekerjaan Umum RI, 1997.
- [6] C. J. Khisty and B. K. Lall, *Dasar-Dasar Rekayasa Transportasi*, Indonesian ed. Jakarta, Indonesia: Erlangga, 2005.
- [7] E. K. Morlok, *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*. Jakarta, Indonesia: Erlangga, 1995.
- [8] Z. Mustofa, "Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal (Studi Kasus Simpang Empat Jalan Godean Km 6–Jalan Munggur dan Jalan Sidomoyo, Sleman, Yogyakarta)," Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia, 2012.
- [9] P. Nugroho, "Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal Menggunakan Metode MKJI 1997 (Studi Kasus Simpang Tiga Tak Bersinyal Jalan Seturan–Jalan Babarsari)," Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia, 2008.
- [10] C. H. Oglesby and R. G. Hicks, *Teknik Jalan Raya*, 4th ed. Jakarta, Indonesia: Erlangga, 1999.
- [11] Pradana, "Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal (Studi Kasus Simpang Tiga Jalan Pangeran Diponegoro–Bumijo Lor, Kota Yogyakarta)," Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia, 2013.
- [12] B. A. Putranto, "Analisis Lalu Lintas di Simpang Tak Bersinyal di Jalan Godean Km 2.8 Yogyakarta," Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia, 2012.
- [13] L. Sinuhaji, "Analisis Kinerja Simpang Tak Bersinyal (Studi Kasus Simpang Tiga Jalan Gamping Tengah–Jalan Wates Km 5, Gamping, Sleman, Yogyakarta)," Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia, 2012.
- [14] M. Subkhan, "Evaluasi Kinerja Simpang Empat Tak Bersinyal Pasar Cebongan Menggunakan Metode MKJI 1997," Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia, 2012.

- [15] O. Z. Tamin, *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, 2nd ed. Bandung, Indonesia: Penerbit ITB, 2000.
- [16] Republik Indonesia, *Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*. Jakarta, Indonesia, 2009.
- [17] S. Warpani, *Pengelolaan Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*. Bandung, Indonesia: Penerbit ITB, 2002.