Penerapan Metode Webster pada pengaturan lampu lalu lintas di kota Pematangsiantar
(Studi kasus Simpang Dua Pematangsiantar)

Richard Fernando Sihotang[1*], Mulyono[2]
[1,2] PendidikanMatematika, Universitas Negeri Medan, Kota Medan, 20221, Indonesia
*Corresponding Author: richardfernandosihotang@gmail.com

Abstrak

Persimpangan jalan merupakan titik temu arus lalu lintas yang sering menimbulkan kemacetan apabila tidak diatur dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pengaturan lampu lalu lintas di Simpang Dua, Kota Pematangsiantar. Metode yang digunakan adalah Metode Webster dengan pendekatan graf. Data diperoleh melalui survei lalu lintas yang dilakukan pada tanggal 19 Juni hingga 21 Juli 2025, mencakup volume kendaraan berdasarkan jenis (HV, LV, dan MC) pada setiap pendekat. Data tersebut kemudian dikonversi ke dalam satuan mobil penumpang (smp/jam) dan dianalisis menggunakan Metode Webster untuk memperoleh siklus waktu optimal.Dalam penerapannya digunakan sistem dua fase, di mana fase pertama melayani arus dari Jalan D.I. Panjaitan ↔ Jalan Parapat, sedangkan fase kedua melayani arus dari Jalan Sisingamangaraja ↔ Jalan Saribu Dolok. Hasil analisis menunjukkan bahwa siklus optimal (C_o) sebesar 385 detik, dengan waktu rata-rata lampu hijau 178–197 detik, lampu merah 192–211 detik, dan lampu kuning 5 detik. Nilai derajat kejenuhan total (Σy) sebesar 0,9479 menunjukkan bahwa simpang beroperasi mendekati kapasitas maksimal, namun tetap efisien pada kondisi arus normal harian.Dengan demikian, penerapan Metode Webster menggunakan sistem dua fase terbukti mampu meningkatkan efisiensi pengaturan lalu lintas di Simpang Dua Kota Pematangsiantar, menekan waktu tundaan kendaraan, serta mengurangi antrean pada pendekat dengan volume kendaraan tinggi.
Kata kunci: persimpangan, lalu lintas, Metode Webster, graf,siklus, optimal, pematangsiantar

Abstract

An intersection is a meeting point of traffic flows that often causes congestion if not properly managed. This study aims to optimize the traffic signal control at Simpang Dua, Pematangsiantar City. The method used is the Webster Method with a graph-based approach. Data were obtained through traffic surveys conducted from June 19 to July 21, 2025, covering vehicle volumes by type (HV, LV, and MC) at each approach. The data were then converted into passenger car units (pcu/hour) and analyzed using the Webster Method to determine the optimal signal cycle.A two-phase system was applied, in which the first phase serves movements from D.I. Panjaitan Street ↔ Parapat Street, and the second phase serves movements from Sisingamangaraja Street ↔ Saribu Dolok Street. The analysis results show that the optimal cycle length (C_o) is 385 seconds, with average durations of green time 178–197 seconds, red time 192–211 seconds, and yellow time 5 seconds. The total degree of saturation (Σy = 0.9479) indicates that the intersection operates near its maximum capacity but remains efficient under normal traffic conditions.Thus, the implementation of the Webster Method with a two-phase system has proven effective in improving traffic signal performance at Simpang Dua, Pematangsiantar City, by reducing vehicle delays and queues, especially on approaches with higher traffic volumes. The findings of this study may serve as a basis for developing adaptive traffic signal control systems based on real-time vehicle volume
Keywords: intersection, traffic, Webster method, graph, cycle, optimal, Pematangsiantar.

Citation: Sihotang, R. F., & Mulyono. (2025). Penerapan Metode Webster pada pengaturan lampu lalu lintas di kota Pematangsiantar (Studi kasus Simpang Dua Pematangsiantar). *Prodising Seminar Nasional Jurusan Matematika 2025*. 468 – 473.

PENDAHULUAN

Kota Pematangsiantar merupakan salah satu pusat kegiatan ekonomi di Provinsi Sumatera Utara dengan intensitas pergerakan kendaraan yang terus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk dan aktivitas perdagangan kota (Badan Pusat Statistik, 2024). Simpang Dua sebagai jalur penghubung utama menuju Medan, Parapat, dan Saribudolok menjadi titik konsentrasi arus lalu lintas yang tinggi dan sering mengalami kepadatan pada waktu tertentu, terutama pada jam sibuk pagi, siang, dan sore. Sebagai sistem pengendali lalu lintas perkotaan, lampu lalu lintas (APILL) pada dasarnya berfungsi menciptakan keteraturan pergerakan kendaraan dan pejalan kaki agar arus lalu lintas tetap aman dan tertib (Kementerian Perhubungan RI, 2020). Namun pada kondisi di Simpang Dua, pengaturan sinyal lalu lintas masih bersifat tetap dan tidak menyesuaikan perubahan volume lalu lintas yang dinamis sepanjang hari, sehingga terjadi ketidakseimbangan durasi hijau antar arah pendekat (S. S., 2020)

Ketidakseimbangan tersebut memperpanjang waktu tunggu kendaraan pada beberapa pendekat, terutama pada arah dengan volume kendaraan tinggi namun mendapatkan durasi hijau yang relatif pendek (M. A. K., 2018). Selain itu, faktor eksternal seperti parkir liar, perilaku pengemudi yang kurang disiplin, serta aktivitas perdagangan di sekitar simpang turut memperburuk performa lalu lintas dan menurunkan efektivitas ruang jalan (P. R., 2022). Untuk mengatasi

permasalahan tersebut, penelitian ini menerapkan Metode Webster, yaitu metode perhitungan matematis yang digunakan untuk menentukan siklus dan pembagian waktu lampu hijau berdasarkan volume kendaraan dan waktu hilang pada setiap pendekat (Webster, 1958). Metode ini merupakan salah satu standar perhitungan yang banyak digunakan dalam rekayasa lalu lintas karena mampu memberikan pembagian waktu lampu yang lebih proporsional terhadap beban lalu lintas aktual di lapangan (World Economic Forum, 2018)

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan Metode Webster dapat meningkatkan kelancaran arus kendaraan dan menurunkan waktu tundaan secara signifikan di persimpangan perkotaan (Chairani et al., 2020; Poernamasari et al., 2019). Namun demikian, beberapa studi juga menekankan bahwa hasil perhitungan teoritis belum tentu sepenuhnya sesuai dengan kondisi lapangan karena adanya faktor non-teknis seperti hambatan samping dan perilaku pengendara (Kementerian Perhubungan RI, 2020). Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui observasi langsung di lapangan pada tiga periode waktu, yaitu pagi, siang, dan sore. Data yang dikumpulkan meliputi volume kendaraan, kondisi fisik simpang, serta karakteristik hambatan samping. Data ini kemudian dianalisis menggunakan Metode Webster untuk menghitung siklus sinyal yang optimal, sehingga dapat diperbandingkan dengan pengaturan lampu eksisting untuk melihat potensi peningkatan kinerja simpang. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi nyata bagi pemerintah daerah dalam memperbaiki sistem pengaturan lalu lintas di Simpang Dua Pematangsiantar, mengingat simpang tersebut merupakan jalur strategis yang menghubungkan beberapa koridor utama kota. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya mengenai penerapan metode optimasi pengaturan sinyal di lingkungan perkotaan, dengan harapan berdampak pada peningkatan kelancaran arus lalu lintas, pengurangan emisi gas buang, dan peningkatan keselamatan jalan raya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Simpang Dua, yang merupakan perpotongan antara Jalan Medan dan Jalan Sisingamangaraja, Kelurahan Sumber Jaya, Kecamatan Siantar Martoba, Kota Pematangsiantar, Sumatera Utara. Penelitian juga melibatkan Dinas Perhubungan (DISHUB) Kota Pematangsiantar sebagai sumber data sekunder. Penelitian ini direncanakan untuk dilaksanakan dalam periode waktu dua bulan, mencakup pengumpulan data hingga tahap analisis. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. Data kuantitatif yang diperoleh dari hasil pengamatan akan diolah dan diubah ke dalam bentuk graf, kemudian dianalisis untuk mendapatkan waktu siklus optimal pada lampu lalu lintas menggunakan Metode Webster. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh kendaraan (kendaraan berat, kendaraan ringan, maupun sepeda motor) yang melintas di Persimpangan Simpang Dua selama waktu pengamatan yang ditentukan. Sampel yang digunakan adalah seluruh populasi tersebut, karena pengamatan dilakukan terhadap semua arus lalu lintas yang melintas di persimpangan selama periode penelitian.

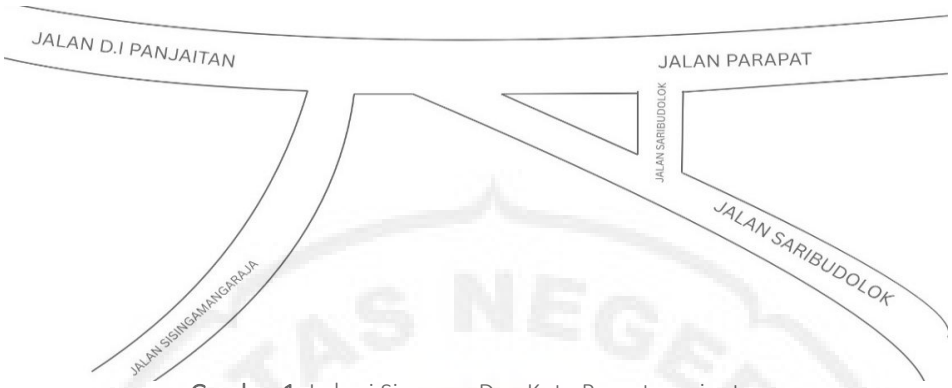
Variabel utama yang diteliti meliputi jumlah arus kendaraan pada setiap pendekat, lebar jalan pada masing-masing jalur, volume kendaraan yang mengantri saat lampu merah, dan waktu nyala lampu lalu lintas pada setiap fase. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan observasi langsung (survei) di lokasi penelitian untuk mendapatkan data primer aktual. Pengamatan dilakukan pada tiga periode waktu yang mewakili jam sibuk: Pagi, Siang, dan Sore. Pengamatan dilakukan selama 30 menit per periode, yang kemudian dikonversi ke satuan volume per jam. Data sekunder, seperti data geometrik simpang, diperoleh dari DISHUB Kota Pematangsiantar. Proses analisis data mencakup tiga tahapan utama. Pertama, dilakukan Pendekatan Graf untuk merencanakan fase-fase sinyal yang optimal, tujuannya adalah menghindari konflik antar arus kendaraan, mengurangi kemacetan, dan menurunkan risiko kecelakaan.

Kedua, dilakukan Perhitungan Waktu Siklus Menggunakan Metode Webster. Metode ini mempertimbangkan faktor-faktor penting, yaitu Volume Lalu Lintas, Lebar Jalan, Kapasitas Jalan, Waktu Hilang, dan Faktor Jenuh Lalu Lintas. Perhitungan ini bertujuan menentukan durasi optimal masing-masing fase lampu lalu lintas untuk meningkatkan efisiensi pergerakan kendaraan dan mengurangi waktu tunggu. Ketiga, dilakukan Evaluasi Kinerja Simpang dengan membandingkan kondisi sebelum (eksisting) dan sesudah (usulan) penerapan Metode Webster. Parameter evaluasi yang digunakan meliputi: Derajat Kejenuhan (DS), Panjang Antrian Kendaraan, dan Tingkat Pelayanan Simpang (*Level of Service* - LoS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simpang Dua Kota Pematangsiantar merupakan persimpangan empat bersinyal yang menghubungkan empat ruas jalan utama. Volume lalu lintas pada simpang ini tergolong tinggi, khususnya pada jam sibuk pagi dan sore, karena merupakan jalur perdagangan, permukiman, dan wisata. Sebelum penelitian, sistem sinyal masih menggunakan siklus

tetap tanpa evaluasi berbasis data aktual. Hal ini menyebabkan durasi lampu hijau tidak seimbang dengan volume kendaraan.



Gambar 1. Lokasi Simpang Dua Kota Pematangsiantar

Tabel 1. Durasi Lampu Eksisting Sebelum Penelitian

Nama Jalan	Waktu Lampu merah	Waktu Lampu kuning	Waktu Lampu hijau	ALL right
Jalan D.i Panjaitan	140 detik	3 detik	30 detik	5 detik
Jalan Parapat	141 detik	3 detik	35 detik	5 detik
Jalan Sisigamagaraja	142 detik	3 detik	25 detik	5 detik
Jalan Saribudolok	139 detik	3 detik	20 detik	5 detik

Dari Tabel 1. terlihat bahwa ada perbedaan durasi hijau antar pendekat, namun tidak mencerminkan volume sambungan lalu lintas yang sebenarnya. Data lalu lintas dikumpulkan melalui **manual counting** selama satu bulan (19 Juni–21 Juli 2025). Pengamatan dilakukan pada tiga periode; 07.00–08.00 WIB (pagi); 12.00–13.00 WIB (siang); 16.00–17.00 WIB (sore). Kemudian Jenis kendaraan diamati terdiri dari; MC : Sepeda motor; LV : Kendaraan ringan; HV : Kendaraan berat Konversi dilakukan menggunakan faktor ekivalensi PKJI 2014:

Tabel 2. PKJI 2014

Jenis Kendaraan	Notasi	Nilai Ekivalensi SMP
Sepeda Motor	MC	0,25
Kendaraan Ringan	LV	1,00
Kendaraan Berat	HV	1,50

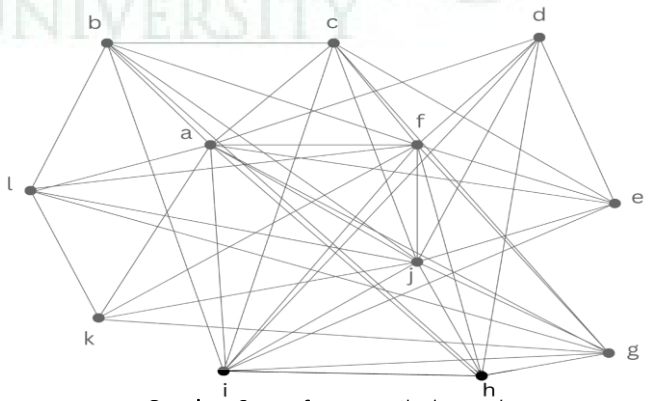
Tabel 3. Contoh Data Volume Kendaraan (D.I Panjaitan)

Waktu	MC		LV		HV		Jumlah	
	kend	smp	kend	smp	kend	smp	kend	Smp
Pagi hari (07.00-8.00)	937	234,25	568	568	568	352,50	1740	1.154,75
Siang hari (12.00-13.00)	748	187	477	477	275	412,50	1500	1.076,50
Sore hari (16.00-17.00)	951	237,75	384	384	325	487,50	1660	1.109,25

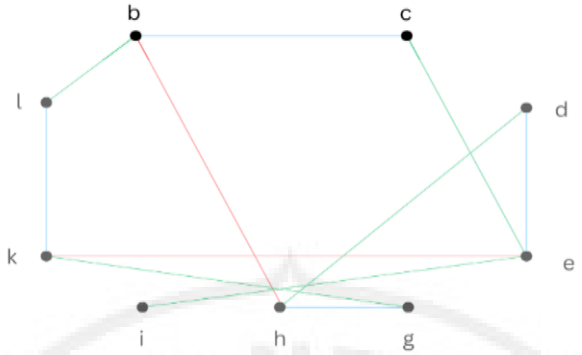
Tabel 4. Hasil Konversi Volume Kendaraan ke Satuan Mobil Penumpang (SMP) di Simpang Dua Kota Pematangsiantar

Waktu	Pendekat	MC	LV	HV	Volume SMP/jam
07.00-08.00	D.I panjaitan	937	568	235	1154.75
12.00-13.00	D.I panjaitan	748	477	275	1076.50
16.00-17.00	D.I panjaitan	951	384	325	1109.25

Analisis graf kompatibel digunakan untuk melihat arus mana yang dapat berjalan bersamaan tanpa menimbulkan konflik.

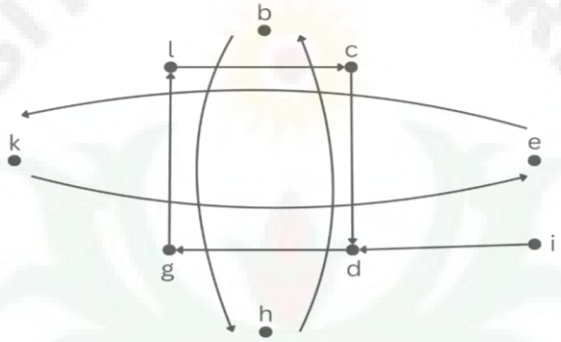


Gambar 2. Graf Kompatibel Penuh



Gambar 3. Graf Kompatibel Sederhana

Selanjutnya dibuat graf berarah berbobot untuk menentukan prioritas fase berdasarkan volume aktual.



Gambar 4. Graf Berarah Berbobot Simpang Dua Kota Pematangsiantar

Hasil menunjukkan bahwa arus dominan terdapat pada; D.I. Panjaitan ↔ Parapat; dan Sisingamangaraja → Saribudolok Sehingga arah ini menjadi prioritas dalam alokasi waktu hijau. Arus jenuh dihitung menggunakan pedoman PKJI 2014 berdasarkan lebar efektif tiap pendekat. Derajat kejenuhan dihitung dengan persamaan 1.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Arus Jenuh

Pendekat	Lebar Jalan (M)	Arus Jenuh (SMP/JAM
Jalan sisingamangaraja	3,25	1.706,25
Jalan D.I Panjaitan	5,00	2.625
Jalan Parapat	5,00	2.625
Jalan Saribudolok	4,50	2.362,50

$$y = \frac{Q}{S} \tag{1}$$

Tabel 6. Hasil Perhitungan Derajat Kejenuhan

Pendekat	Q (SMP/jam)	S(SMP/jam)	Y=Q/S	Keterangan
Jalan D.I. Panjaitan	1.154,75	2.265	0,44	Lancar
Jalan Parapat	1.580,50	2.265	0,60	Ramai lancar
Jalan Sisigamangaraja	1,524,50	1.706,25	0,89	Padat
Jalan Saribudolok	1.154	2.362,50	0,49	Lancar

Pendekat Sisingamangaraja memiliki nilai kejenuhan tertinggi, sehingga memerlukan alokasi waktu hijau lebih besar. Kemudian penentuan siklus optimal webster, data yang diketahui waktu hilang (L) = 9 detik dan rasio arus kritis (Y) = 0,9531. Rumus Webster persmaan 2, diperoleh C_0 = 394 detik, sehingga waktu hijau total: $G = C_0 - 9 = 385$ detik.

$$C_0 = \frac{1{,}5L + 5}{1 - Y} \tag{2}$$

Tabel 7. Durasi Lampu Setelah Optimasi Metode Webster dan perbedaan waktu lampu hijau

Nama jalan	Waktu				Selisih Lampu Hijau
	Merah	Kuning	Hijau (Sesudah)	Hijau (sebelum)	
Jalan D.I panjaitan	192 detik	5 detik	178 detik	30 detik	+148 detik
Jalan parapat	192 detik	5 detik	178 detik	35 detik	+143 detik
Jalan Sisingamangaraja	211 detik	5 detik	197 detik	25 detik	+172 detik
Jalan saribudolok	211 detik	5 detik	197 detik	20 detik	+177 detik

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, penerapan Metode Webster pada Simpang Dua Kota Pematangsiantar menghasilkan siklus optimal sebesar 385 detik. Durasi lampu yang dihasilkan telah disesuaikan dengan volume kendaraan tertinggi pada setiap pendekat sehingga arus lalu lintas menjadi lebih teratur. Sistem dua fase diterapkan, yaitu fase pertama untuk pergerakan Jalan D.I. Panjaitan menuju Jalan Parapat, dan fase kedua untuk pergerakan Jalan Sisingamangaraja menuju Jalan Saribu Dolok. Distribusi durasi lampu setelah optimasi menunjukkan bahwa lampu merah berada pada rentang 192–211 detik, lampu kuning 5 detik, dan lampu hijau 178–197 detik. Pengaturan ini mampu menekan konflik antar-arus sehingga kendaraan dapat bergerak lebih lancar, terutama pada arah dengan volume lalu lintas dominan. Selain itu, analisis menunjukkan bahwa derajat kejenuhan total mencapai 0,9479, menandakan bahwa simpang beroperasi mendekati kapasitas penuhnya. Durasi hijau yang cukup panjang, yaitu antara 178 hingga 197 detik, serta lampu kuning selama 5 detik berhasil mengurangi waktu tunggu dan memperpendek antrean kendaraan. Dampak ini terutama terasa pada Jalan D.I. Panjaitan dan Jalan Parapat yang memiliki volume kendaraan terbesar selama periode pengamatan. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa sistem pengaturan lampu lalu lintas eksisting belum optimal karena masih menggunakan sistem waktu tetap yang tidak menyesuaikan pembagian fase dengan volume lalu lintas aktual maupun pertumbuhan kendaraan dari waktu ke waktu. Optimasi menggunakan Metode Webster dan penerapan sistem dua fase memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan sistem adaptif berbasis volume secara real-time pada kondisi lalu lintas normal. Namun demikian, hasil penelitian ini tidak berlaku untuk kondisi lalu lintas pada hari besar seperti Natal, Tahun Baru, atau hari libur nasional lainnya karena pola arus pada hari tersebut berbeda dan tidak mencerminkan kondisi operasional harian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terimakasih kepada orang tua, saudara dan teman-teman yang telah mendukung saya selama penelitian. Rasa terimakasih yang besar kepada dosen pembimbing saya yang sudah membimbing dan mengarahkan dalam proses penelitian ini hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik. (2021). Statistik Indonesia 2021. Jakarta: BPS. Link

Badan Pusat Statistik. (2024). *Proyeksi Penduduk Indonesia* 2024. Jakarta: BPS. Link

Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York: W.W. Norton & Company. Link

Bondy, J. A., & Murty, U. S. R. (2008). *Graph Theory*. Springer.

Chartrand, G., & Zhang, P. (2012). *A First Course in Graph Theory*. Dover Publications.

Chairani, C., Jaya, I., & Cipta, H. (2020). "*Optimasi Waktu Tunggu Total Dengan Metode Webster dalam Mengatasi Kemacetan Lalu Lintas Persimpangan Jalan Kolonel Yos Sudarso*." Skripsi, Universitas XYZ.

Farida, N., Fanani, M., Purwanti, R., Wulandari, D., & Zaen, A. (2020). *"Pemodelan Arus Lalu Lintas dan Waktu Tunggu Total Optimal Di Persimpangan Jl. Jemur Andayani Ahmad Yani Sebagai Upaya Mengurai Kemacetan*." Jurnal Transportasi dan Logistik, 8(2), 123-135.

HCM (Highway Capacity Manual). (2016). Highway Capacity Manual.

Kamaruddin, M., & Rahman, M. (2020). Traffic Flow and Safety Analysis at Intersections. Journal of Transportation Engineering.

Mokyr, J. (1990). *The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress.* New York: Oxford University Press. Link

Poernamasari, R., Tumilaar, S., & Montolalu, M. (2019). "*Optimasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas dengan Menggunakan Metode Webster (Studi Kasus Persimpangan Jalan Babe Palar)*." Jurnal Teknik Sipil, 12(1), 45-56.

P. R. (2022). *"Evaluating the Effectiveness of Traffic Signal Systems in Urban Areas."* Journal of Urban Traffic Management, 15(1), 607-80.

Sistem Transportasi dan Rekayasa Lalu Lintas. (2018). *Pedoman Kapasitas Jalan Nasional*.

Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution. New York: Crown Business. Link

Shafique, M., & Khan, M. (2019). *Impact of Traffic Congestion on Air Quality: A Review*. Environmental Science and Pollution Research, 26(1), 1-12.

S.H. (2021). "*Graph Theory Applications in Traffic Management*." Transportation Research Part A: Policy and Practice, 145, 234-245.

S.S.(2020). "*The Role of Traffic Lights in Urban Traffic Management.*" International Journal of Urban Planning Systems in Urban Areas." *Journal of Urban Traffic Management*, 15(1), 607-80.

Webster, H. W. (1958). "*Traffic Signal Control*." Traffic Engineering and Control.

West, D. B. (2001). *Introduction to Graph Theory*. Prentice Hall.

World Bank. (2020). *Indonesia Economic Prospects: Boosting Competitiveness.* Washington, D.C.: World Bank. Link

World Economic Forum. (2018). *The Future of Jobs Report 2018*. Geneva: WEF. Link

World Health Organization. (2018). *Global Status Report on Road Safety 2018*.