

ANALISIS JARAK EFEKTIF KOORDINASI SINYAL LAMPU ISYARAT LALU LINTAS ANTAR SIMPANG BERSINYAL Studi Kasus di Kota Malang

Nusa Sebayang¹, F Yudi Limpraptono², Hardianto³

Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITN Malang¹

Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri ITN Malang²

Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITN Malang³

E-mail: nusasebayang@lecturer.itn.ac.id

ABSTRAK

Optimasi pengendalian lalu lintas dengan lampu isyarat lalu lintas untuk simpang yang berdekatan dilakukan dengan melakukan koordinasi sinyal. Hingga saat ini sebagian besar sistem pengedali simpang dengan lampu isyarat lalu lintas yang terpasang berdekatan di Perkotaan di Indonesia masih dikendalikan dengan system isolated. Demikian juga system pengendali simpang bersinyal di Kota Malang, system pengendali simpang bersinyal yang jaraknya berdekatan masih belum terpasang secara terkoordinasi. Untuk itu kedepannya perlu dilakukan perbaikan dengan mengkoordinasikan sinyal antar simpang berdekatan, sehingga kemacetan di persimpangan bisa dikurangi. Untuk tujuan tersebut maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pada jarak berapakah simpang bersinyal efektif untuk dilakukan koordinasi sinyal. Penelitian ini dilakukan di Kota Malang pada bulan April 2019 di lima ruas jalan di Kota Malang yaitu Jalan Basuki Rachmat, Jalan Let Jen Sutoyo, Jalan Sunandar Prio Sudarmo, Jalan Panglima Sudirman dan Jalan Urib Somoharjo. Pada masing-masing ruas diteliti pleton yang terjadi dihilir simpang bersinyal dengan jarak yang bervariasi dengan merekam pola kedatangan kendaraan menggunakan handycam. Sebagai tolak ukur efektifitas jarak koordinasi digunakan indicator couple index (CI). Hasil penelitian di ruas jalan Kota Malang didapatkan formula nilai $CI = 1243.9 * X (- 1.129)$, dengan X adalah jarak simpang dan CI adalah Couple index. Hasil penelitian didapatkan batasan jarak maksimum antar simpang untuk dikoordinasikan adalah 800 meter, dengan nilai Couple Index lebih besar dari 0,66..

Kata kunci: koordinasi sinyal, Couple index, pleton

ABSTRACT

Optimization of traffic control with traffic signal lights for adjacent intersections is done by coordination of the signal. Until now, most of the intersection control systems with traffic signal lights installed close together in urban areas in Indonesia are still controlled by isolated systems. Likewise, the signal intersection control system in Malang City, the signal intersection control system that is close together are still not installed in a coordination system. For this reason, it is necessary to improve in the future by coordination signals between adjacent intersections, so that congestion at the intersection can be reduced. For this purpose it is necessary to conduct research to determine at what distance the signaled intersection is effective for signal coordination. This research was conducted in Malang City in April 2019 in five roads in Malang City, namely Basuki Rachmat Street, Letjen Sutoyo Street, Sunandar Prio Sudarmo Street, Panglima Sudirman Street and Urib Somoharjo Street. In each of the segments the platoon was observed which occurred downstream of signal intersections with varying distances by recording the arrival patterns of vehicles using video recording. As a benchmark for the effectiveness of the coordination distance the couple index indicator (CI) is used. The results of research on the streets of Malang City obtained the formula value of $CI = 1243.9 * X (- 1.129)$, where X is the intersection distance and CI is the Couple index. The results showed the maximum distance between intersections to be coordinated is 800 meters, with a Couple Index value greater than 0.66.

Keywords: signal coordination, Couple index, platoon

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah kendaraan yang tidak sebanding dengan peningkatan prasarana jalan di wilayah perkotaan di Indonesia menyebabkan terjadinya kemacetan lalu lintas pada jam-jam tertentu. Biasanya kemacetan terjadi saat warga kota berangkat ke tempat beraktivitas demikian juga saat pulang ke rumah setelah selesai

beraktivitas. Titik rawan kemacetan umumnya adalah pada

persimpangan, dimana pada titik tersebut terjadi konflik pergerakan kendaraan untuk arah yang berbeda. Untuk mengendalikan pergerakan lalu lintas saat melintasi persimpangan tersebut maka digunakan lampu isyarat lalu lintas. Konflik antar kendaraan dikurangi ataupun dihilangkan dengan mengatur pergerakan kendaraan secara

bergantian menggunakan isyarat lampu lalu lintas. Bila lampu hijau menyala maka lalu lintas pada arah yang

mendapat sinyal hijau berkesempatan melintasi simpang dan bila sinyal merah maka kendaraan yang mendapat sinyal merah tersebut harus berhenti.

Sebagian besar system pengendalai simpang dengan lampu isyarat lalu lintas yang sekarang terpasang adalah produk lama dan dikendalikan dengan system fixed time dan terpasang secara isolated. Untuk simpang bersinyal dengan jarak berdekatan akan lebih efektif apabila sinyal lampu kedua simpang terkoordinasi, sehingga kendaraan yang bergerak dari simpang satu dapat tiba di simpang kedua saat sinyal hijau. Namun pada kenyataannya untuk simpang bersinyal yang berdekatan masih terpasang secara isolated. Hal ini mengakibatkan system pengaturan sinyal kurang efektif serta menyebabkan tundaan yang dialami kendaraan yang melintasi simpang lebih besar. Untuk itu perlu dilakukan perbaikan sehingga system pengendalian simpang menjadi lebih baik dan tundaan yang dialami kendaraan menjadi lebih kecil.

Upaya mengoptimalkan pergerakan kendaraan dalam melintasi simpang bersinyal dengan jarak berdekatan adalah dengan melakukan koordinasi sinyal. Adanya koordinasi sinyal antar simpang akan memperlancar pergerakan lalu lintas pada arah yang di koordinasikan. Umumnya koordinasi sinyal lampu isyarat lalu lintas dilakukan pada simpang-simpang di ruas jalan utama. Sistem koordinasi sinyal antar simpang memiliki keuntungan dan juga kelemahan.

Beberapa keuntungan system koordinasi sinyal dapat dijelaskan sebagai berikut (Nesheli. M.M at.al, 2012) : (1) Meningkatkan mobilitas dan akses melalui area koordinasi sinyal, (2) Mengurangi kecelakaan kendaraan melalui area tersebut, (3) Mengurangi penggunaan energy dan bahan bakar, (4) mengurangi kendaraan berhenti, (5) Dapat mengendalikan kecepatan perjalanan, (6) Meberikan keuntungan terhadap lingkungan dengan mengurangi emisi kendaraan, (7) Kemampuan mengontrol operasi lalu lintas harian. Disamping keuntungan tersebut, terdapat pula beberapa kerugian sebagai berikut (1) peningkatan kecepatan kendaraan mungkin berdampak negatif di masyarakat di sekitar jalan tersebut; (2) Dapat menarik lalu lintas tambahan melalui koridor tersebut; (3) Biaya pemeliharaan dan peralatan yang tinggi sesuai jenis perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan; (4) Membutuhkan staf yang memenuhi syarat untuk melakukan pemeliharaan dan pemantauannya.

Beberapa penelitian sebelumnya terkait koordinasi sinyal adalah sebagai berikut. Studi Koordinasi sinyal di Kota Bandung, koordinasi sinyal pada persimpangan yang berdekatan di

Ruas Jalan Moh Toha dua arah menggunakan metode minimasi tundaan (Sebayang, 1998). Penelitian koordinasi sinyal lebih lanjut pada jalan dua arah untuk kondisi arus lalu lintas oversaturated dilakukan oleh Girianna (2003). Studi efektifitas

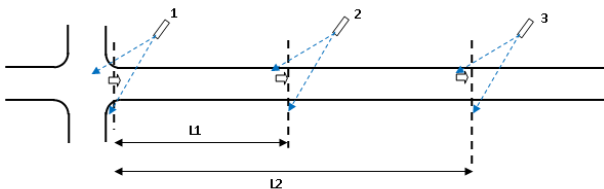
koordinasi sinyal menggunakan paket perangkat lunak Synchro dan SimTraffic untuk mengoptimalkan koordinasi sinyal oleh Li Wei at al (2007). Penelitian koordinasi sinyal di Ruas Jalan Dipenogoro Kota Surabaya (Zain E, 2010), dilakukan koordinasi empat persimpangan dengan merubah panjang siklus di persimpangan dengan panjang siklus terbesar yaitu 130 detik, sedangkan offset sinyal antar simpang dihitung dengan kecepatan rata-rata 40 km/jam. Penelitian koordinasi sinyal menggunakan metode maksimasi jumlah kendaraan bergerak menerus melintasi simpang pada jalan arteri (Lin Liang Tay, at al, 2010). Penelitian koordinasi sinyal pada ruas yang volume lalu lintasnya bervariasi (Andalibian R, at al, 2012). Penelitian selanjutnya dilakukan di Kota Palangkaraya yaitu koordinasi sinyal simpang di Ruas Jalan Rajawali-Tinggang dan Jalan Rajawali-Garuda (Puspasari N, 2018). Penelitian tersebut merubah system pengendali simpang dari system isolated menjadi system terkoordinasi dengan menyamakan panjang siklus sinyal pada simpang yang dikoordinasikan. Penelitian lainnya terkait koordinasi sinyal adalah penggunaan software TRANSYT7F dalam melakukan koordinasi empat simpang bersinyal berurutan dalam jarak 780 meter pada daerah macet pada ruas Jalan Johor Baru di Malaysia (Nesheli at. al, 2009). Zechman at al. (2010), melakukan koordinasi sinyal pada jaringan untuk kondisi lalu lintas oversaturated. Penelitian dilakukan dengan membandingkan hasil optimasi koordinasi sinyal menggunakan pendekatan Simple Genetic Algorithm (SGA) dan pendekatan menggunakan algoritma Ant Colony Optimization (ACO). Hasil yang didapat menunjukkan bahwa metode ACO lebih baik dibandingkan dengan Simple Genetic Algorithm (SGA).

Pada penelitian ini akan dianalisis perubahan pleton kendaraan terhadap jarak di hilir simpang bersinyal. Seberapa jauhkah dihilir simpang bersinyal masih terlihat pola pleton kendaraan. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan batasan jarak antar simpang bersinyal yang masih menguntungkan dilakukan koordinasi sinyal..

METODE

Penelitian dilakukan dengan mengamati perubahan pola pleton kendaraan di hilir simpang bersinyal. Secara umum ada kecenderungan bahwa semakin jauh di hilir simpang bersinyal maka terdapat dispersi pleton kendaraan sehingga pada suatu jarak tertentu tidak terlihat lagi pleton kendaraan. Pada saat ini, pergerakan kendaraan di ruas tidak lagi terlihat secara berkelompok.

Pengamatan pleton kendaraan dilakukan menggunakan alat handycam untuk merekam pergerakan kendaraan pada tiga titik secara bersamaan yaitu (1) Titik awal pergerakan saat keluar dari simpang bersinyal, (2) pada jarak L1 dari persimpangan (titik awal), (3) Jarak L2 dari titik awal. Besar jarak L1 dan L2 direncanakan bervariasi menyesuaikan kondisi ruas jalan yang diteliti.



Gambar 1. Pengamatan Pergerakan Pleton Pada Ruas Jalan Menggunakan Handycam di hilir Simpang Bersinya

Penelitian dilakukan di lima ruas jalan di kota Malang yaitu Ruas Jalan Basuki Rachmat, Ruas Jalan Let Jen Sutoyo, Ruas Jalan Sunandar Prio Sudarmo, Ruas Jalan Panglima Sudirman, Ruas Jalan Urib Sumohorjo. Pelaksanaan Penelitian dari tanggal 10 April 2019 sampai dengan 17 April 2019.

Karakteristik pleton kendaraan akan diteliti pada lokasi titik 2 dan titik 3, meliputi kecepatan kendaraan serta penyebaran kecepatan yang diukur berdasarkan besar standar deviasi kendaraan yang bergerak dalam satu pleton. Rumus yang digunakan dalam perhitungan kecepatan rata-rata adalah sebagai berikut.

$$V_x = L_x / t_x$$

dimana:

V_x = kecepatan kendaraan di titik x m di hilir simpang bersinyal (titik awal)

L_x = jarak titik x di hilir simpang bersinyal

t_x = waktu tempuh kendaraan sejarak x meter.

Sedangkan waktu tempuh rata-rata dihitung dengan rumus berikut.

$$t_j = (\sum n \cdot t_i) / (\sum n)$$

$$s = (\sum (t_i - t_j)^2 / (\sum n - 1))^{0.5}$$

dimana :

t_i = waktu tempuh kendaraan i

n = jumlah kendaraan dalam interval 2 detik

s = standar deviasi kecepatan kendaraan

Sebagai tolak ukur dalam mengevaluasi kelayakan dilakukan koordinasi sinyal antar simpang bersinyal atau tidak digunakan ketentuan nilai couple index. Apabila nilai couple index lebih besar dari 0.5 maka kedua persimpangan perlu dilakukan koordinasi sinyanya (Wilshire, 1992). Besar couple index dapat dihitung rumus sebagai berikut.

$$CI = Q / (0.3048 \cdot L)$$

dimana:

CI = couple index

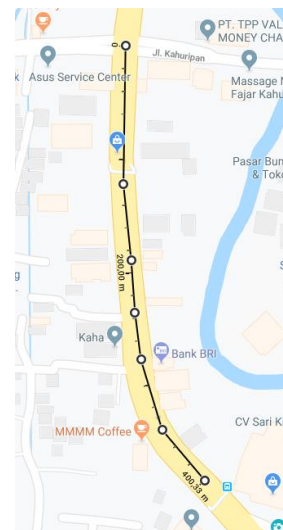
Q = arus lalu lintas (smp/jam)

L = jarak antar simpang (m)

Hubungan jarak dihilir simpang (L_x) dengan dengan besarnya nilai CI dimodelkan dengan metode regresi. Dengan model yang diperoleh maka dapat ditentukan batas jarak yang memenuhi syarat untuk dilakukan koordinasi sinyal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis perubahan pleton kendaraan terhadap jarak di hilir simpang untuk ruas jalan Basuki Rachmat pada jarak 200 m dan 400 meter diperlihatkan pada grafik gambar berikut.

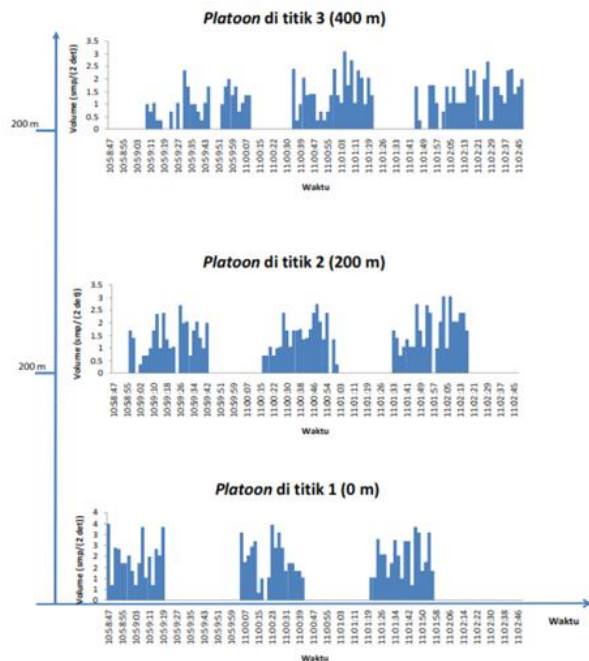


Gambar 2. Peta Lokasi Survey Pergerakan Pleton di Ruas Jalan Basuki Rachmat, Kota Malang

Karakteristik Pleton di Ruas Jalan Basuki Rachmat diperlihatkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Karakteristik Pleton di Ruas Jalan Basuki Rachmat

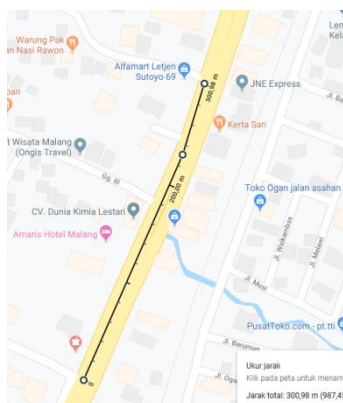
Pleton	Lokasi 2 (jarak 200 m)			Lokasi 3 (Jarak 400 m)		
	Waktu Tempuh Rata-rata (detik)	Std. Deviasi (detik)	Kec. Rata-rata (km/ja m)	Waktu Tempuh Rata-rata (detik)	Std. Deviasi (detik)	Kec. Rata-rata (km/ja m)
1	18.62	3.21	38.68	39.02	8.71	36.90
2	17.17	1.55	41.92	36.35	2.03	39.61
3	18.61	1.96	38.69	41.75	6.37	34.49
Re rata	18.13	2.24	39.76	39.04	5.70	37.00



Gambar 3. Grafik Perubahan Pleton kendaraan Pada Ruas Jalan Basuki Rachmat Terhadap Jarak di hilir Simpang Bersinyal

Hasil penelitian terhadap pleton kendaraan yang melintas pada ruas jalan Basuki Rachmat: (1) kecepatan rata-rata kendaraan pada jarak 200 m di hilir simpang bersinyal adalah 39.76 km/jam, sedangkan pada jarak 400 m kecepatan rata-rata 37 km/jam, (2) Besar standar deviasi waktu tempuh pada jarak 200 meter 2,24 detik sedangkan pada jarak 400 meter 5,7 detik. Pleton kendaraan yang melintas di ruas jalan Basuki Rachmat hingga jarak 400 meter jelas terlihat. Hasil ini menunjukkan bahwa jarak simpang hingga 400 meter masih membentuk pleton dan kendaraan melintas secara berkelompok.

Hasil analisis pleton di ruas Jalan Letjen Sutoyo pada jarak 150 m dan 300 meter diperlihatkan pada Tabel dan grafik berikut.

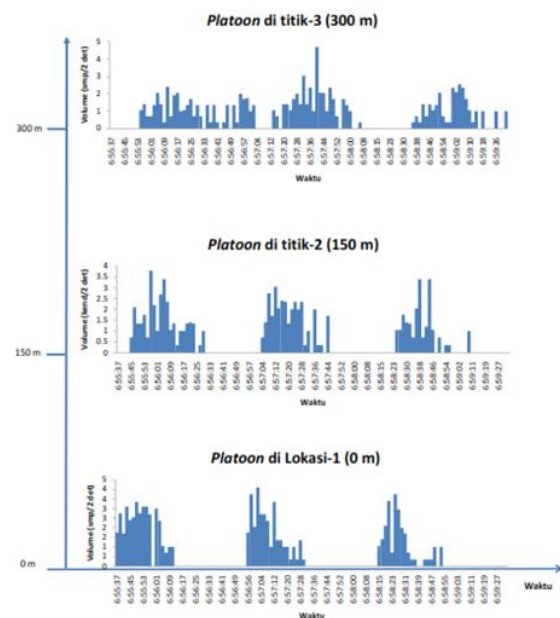


Gambar 4. Peta lokasi survey karakteristik pergerakan Pleton Kendaraan di Ruas Jalan Letjen Sutoyo, Kota Malang

Tabel 2. Karakteristik Pleton di Ruas Jalan Letjen Sutoyo.

Pleton	Lokasi 2 (jarak 150 m)			Lokasi 3 (Jarak 300 m)		
	Waktu Tempu Rata-rata (detik)	Std. Deviasi (detik)	Kec. Rata-rata (km/jam)	Waktu Tempu Rata-rata (detik)	Std. Deviasi (detik)	Kec. Rata-rata (km/jam)
1	13.45	2.08	40.14	35.32	9.21	30.58
2	11.64	1.04	46.38	27.37	4.16	39.46
3	13.33	1.46	40.50	30.97	5.14	34.87
Rerata	12.81	1.52	42.34	31.22	6.17	34.97

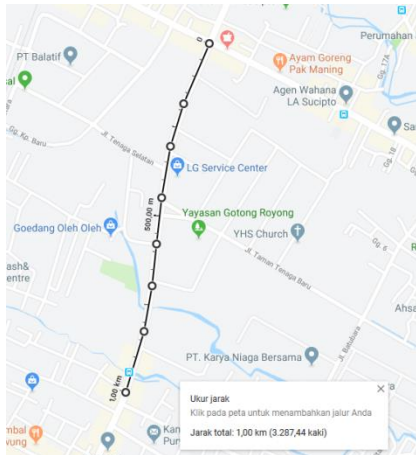
Perubahan bentuk pleton di ruas jalan Letjen Sutoyo yang diamati pada jarak 150 m dan jarak 300 meter diperlihatkan pada Gambar berikut.



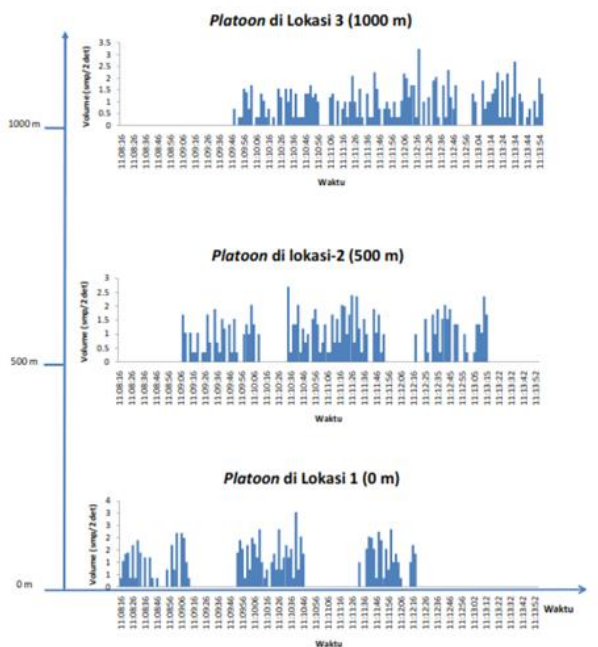
Gambar 5. Grafik Perubahan Pleton kendaraan Pada Ruas Jalan Letjen Sutoyo terhadap Jarak di hilir Simpang Bersinyal

Hasil penelitian pleton pada ruas jalan Letjen Sutoyo: (1) kecepatan rata-rata pleton pada jarak 150 meter adalah sebesar 42,34 km/jam dan pada jarak 300 meter sebesar 34.97 km/jam, (2) Besar standar deviasi waktu tempuh pleton pada jarak 150 meter sebesar 1.52 detik dan pada jarak 30 meter sebesar 6.17 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa untuk jarak 300 meter pergerakan lalu lintas masih berbentuk pleton.

Hasil analisis pleton di Ruas Jalan Sunandar Prio Sudarmo pada jarak 500 m dan 600 meter diperlihatkan pada tabel 3 dan grafik Gambar berikut.



Gambar 6. Lokasi Penelitian Karakteristik Pergerakan Pleton kendaraan di Ruas Jalan Sunandar Prio Sudarmo, Kota Malang.



Gambar 7. Grafik Perubahan Pleton kendaraan Pada Ruas Jalan Sunandar Prio Sudarmo terhadap Jarak di hilir Simpang Bersinyal

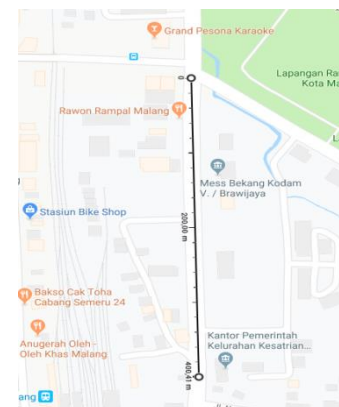
Hasil penelitian pleton pada ruas jalan Sunandar Prio Sudarmo: (1) kecepatan rata-rata pleton pada jarak 500 meter adalah sebesar 32,88 km/jam dan pada jarak 1000 meter sebesar 36.46 km/jam, (2) Besar standar deviasi waktu tempuh pleton pada jarak 500 meter sebesar 3.58 detik dan pada jarak 1000 meter sebesar 7,37 detik.

Tabel 3. Karakteristik Pleton di Ruas Jalan Sunandar Prio Sudarmo

Pleton	Lokasi 2 (jarak 500 m)			Lokasi 3 (Jarak 1000 m)		
	Waktu Tempu Rata-rata (detik)	Std. Deviasi (detik)	Kec. Rata-rata (km/jam)	Waktu Tempuh Rerata (detik)	Std. Deviasi (detik)	Kec. Rata-rata (km/jam)
1	56.09	1.36	32.09	99.57	5.76	36.15
2	54.75	6.15	32.87	100.83	13.94	35.70
3	53.46	3.24	33.67	95.91	2.42	37.53
Rerata	54.77	3.58	32.88	98.77	7.37	36.46

Pada Gambar 6 terlihat bahwa untuk pergerakan pleton dengan jarak 1000 meter, bentuk pleton masih ada tetapi hampir hilang.

Hasil penelitian karakteristik pleton di Ruas Panglima Sudirman untuk pengamatan pada jarak 200 m dan 400 m diperlihatkan pada tabel dan grafik berikut.



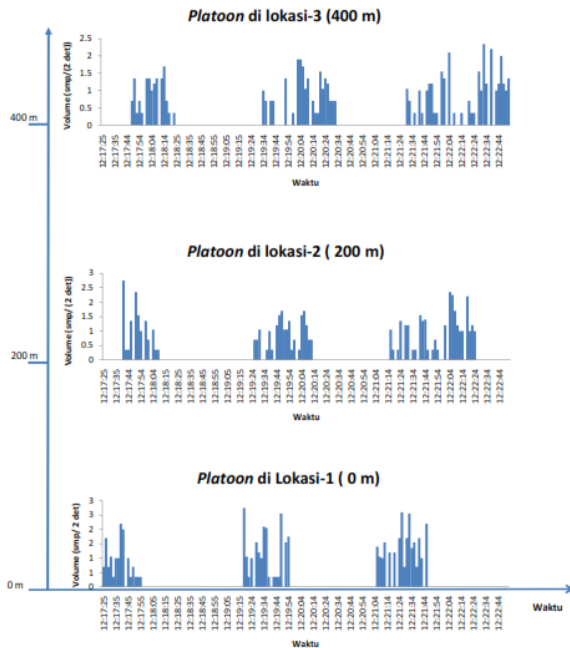
Gambar 7. Peta lokasi penelitian karakteristik pleton kendaraan di Ruas Jalan Panglima Sudirman, Kota Malang.

Tabel 4. Karakteristik Pleton Kendaraan Pada Ruas Jalan Panglima Sudirman

Pleton	Lokasi 2 (jarak 200 m)			Lokasi 3 (Jarak 400 m)		
	Waktu Tempu Rata-rata (detik)	Std. Deviasi (detik)	Kec. Rata-rata (km/jam)	Waktu Tempuh Rata-rata (detik)	Std. Deviasi (detik)	Kec. Rata-rata (km/jam)
1	16.43	1.02	43.83	26.95	0.72	53.43
2	14.43	2.80	49.88	29.63	7.51	48.60
3	25.84	7.74	27.86	49.37	14.62	29.17
Rerata	18.90	3.85	40.52	35.32	7.62	43.73

Hasil penelitian pleton pada ruas jalan Sudirman: (1) kecepatan rata-rata pleton pada jarak 200 meter adalah sebesar 40,52 km/jam dan pada jarak 400 meter sebesar 43.73 km/jam, (2) Besar standar deviasi waktu tempuh pleton pada jarak

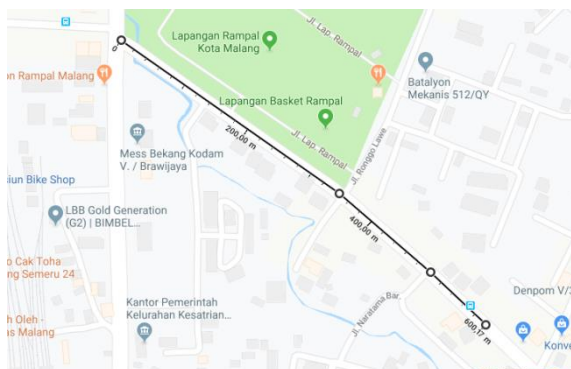
200 meter sebesar 3,58 detik dan pada jarak 1000 meter sebesar 7,62 detik.



Gambar 8. Grafik Pleton kendaraan Pada Ruas Jalan Panglima Sudirman

Pada Gambar 8, bentuk pleton pada jarak 200 m dan 400 m terlihat jelas dan penyebaran pleton dengan besar standar deviasi waktu tempuh semakin besar untuk jarak yang semakin jauh di hilir simpang bersinyal. Namun untuk jarak hingga 400 meter di hilir simpang, kondisi pergerakan masih berbentuk pleton.

Hasil penelitian karakteristik pleton di ruas jalan Urib Sumoharjo dilakukan pada jarak 300 m dan 600 m di hilir simpang bersinyal diperlihatkan pada Gambar dan tabel berikut.



Gambar 9 Lokasi Penelitian Karakteristik Pleton Kendaraan di Ruas Jalan Urib Sumoharjo.

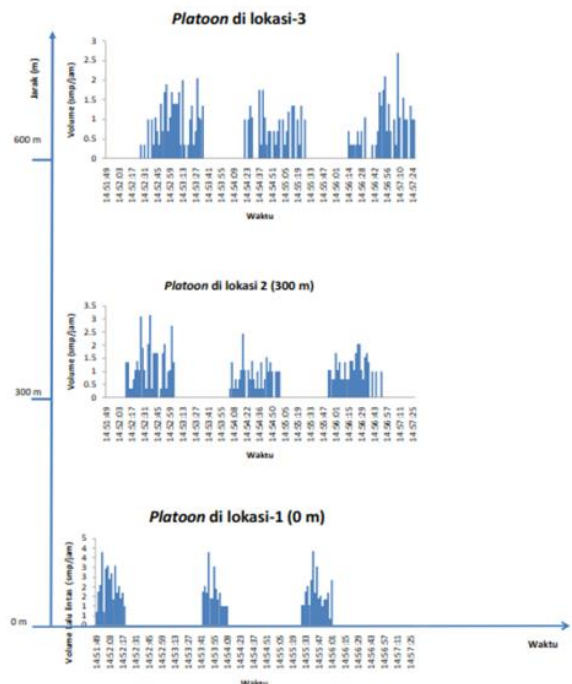
Kecepatan rerata pleton pada jarak 300 m dihilir simpang bersinyal sebesar 29,79 km/jam dan pada jarak 600 m sebesar 34.32 km/jam,

sedangkan standar deviasi waktu tempuh pada jarak 300 m sebesar 7.05 dan pada jarak 600 m sebesar 13,33.

Tabel 5. Karakteristik Pleton Kendaraan Pada Ruas Jalan Urib Sumoharjo

Pleton	Lokasi 2 (jarak 300 m)			Lokasi 3 (Jarak 600 m)		
	Waktu Tempuh Rata-rata (detik)	Std. Deviasi (de tik)	Kec. Rata-rata (km/jam)	Waktu Tempuh Rata-rata (de tik)	Std. Deviasi (de-tik)	Kec. Rata-rata (km/jam)
1	34.445	5.33	31.35	60.41	12	35.76
2	37.36	8.55	28.91	59.04	14	36.59
3	37.10	7.25	29.11	70.52	14	30.63
Re-rata	36.30	7.05	29.79	63.32	13.33	34.32

Perubahan bentuk pleton kendaraan di titik pada jarak 0 m, 300 m dan 600 m di hilir simpang diperlihatkan pada grafik Gambar 5. Bentuk pleton kendaraan masih terlihat jelas, dan terlihat dispersi pleton yang semakin besar untuk jarak yang semakin jauh di hilir simpang.



Gambar 10. Grafik Pleton kendaraan Pada Ruas Jalan Urib Sumoharjo

Koordinasi sinyal antar simpang akan efektif apabila pergerakan kendaraan yang melintasi ruas antar simpang berbentuk pleton. Dengan pola pergerakan kendaraan pada ruas berbentuk pleton maka dapat diupayakan system koordinasi sinyal sehingga kedatangan pleton di pendekat simpang bersinyal bersamaan dengan munculnya sinyal hijau.

Sebagai indicator apakah suatu simpang yang berdekatan perlu dikoordinasikan sinyal lampu

isyaratnya ataupun tidak dapat digunakan ketentuan couple index. Apabila nilai couple index melebihi 0,5, maka kedua simpang tersebut akan efektif bila dilakukan koordinasi sinyal. Hal ini menunjukkan bahwa pola pergerakan masih dalam bentuk pleton sehingga akan menguntungkan bila sinyal lampu isyarat kedua simpang dikoordinasikan. Berdasarkan

hasil penelitian di beberapa Ruas Jalan di Kota Malang didapatkan hasil seperti diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Besar Nilai Couple Index (CI) di Ruas Jalan Kota Malang

Ruas Jalan	Pleton	Lokasi Titik-2		Lokasi titik-3	
		Jarak L (meter)	Couple Index (CI)	Jarak L (meter)	Couple Index (CI)
Jl. Urib Somoharjo (Jalan Lokal Sekunder)	1	300	3.15	600	1.56
	2	300	1.58	600	0.94
	3	300	1.26	600	0.69
	Rerata	300	2.00	600	1.06
Jl. Panglima Sudirman (Arteri Primer)	1	200	2.93	400	1.64
	2	200	2.21	400	1.11
	3	200	1.95	400	1.00
	Rerata	200	2.36	400	1.25
Jl. Sunandar Prio Sudarmo (Jl. Arteri Primer)	1	500	0.88	1000	0.45
	2	500	1.26	1000	0.54
	3	500	0.99	1000	0.55
	Rerata	500	1.04	1000	0.51
Jl. Letjen Sutoyo (Arteri Sekunder)	1	150	5.34	300	2.01
	2	150	5.61	300	2.54
	3	150	3.42	300	1.72
	Rerata	150	4.79	300	2.09
Jl. Basuki Rachmat (Arteri Sekunder)	1	200	3.69	400	1.21
	2	200	3.89	400	2.04
	3	200	4.53	400	1.88
	Rerata	200	4.04	400	1.71

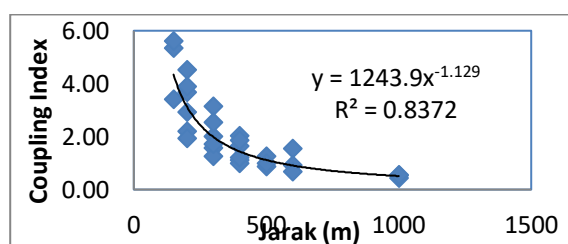
Analisis regresi hubungan antara besar jarak di hilir simpang bersinyal dengan nilai coupling index dengan analisis regresi didapatkan hasil seperti grafik pada Gambar 7. Sedangkan persamaan regresinya didapatkan koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,837 dengan persamaan sebagai berikut:

$$CI = 1243.9 * X^{-1.129}$$

dimana :

CI = *coupling index*

X = jarak di hilir simpang bersinyal (m)



Gambar 11. Grafik Hubungan Jarak di hilir simpang terhadap besar nilai *coupling index* (CI)

Hasil penelitian di beberapa ruas Jalan di Kota Malang menunjukkan bahwa koordinasi sinyal lampu isyarat lalu lintas dapat dilakukan dengan jarak maksimum 1000 meter, dimana besar nilai coupling index sebesar 0,51 sehingga berdasarkan kriteria nilai coupling index masih memenuhi syarat. Sedangkan untuk jarak simpang bersinyal yang melebihi ketentuan tersebut tidak perlu dilakukan koordinasi sinyal antar simpang tersebut.

Namun berdasarkan penelitian terhadap perubahan bentuk pleton terhadap jarak di hilir simpang yang diperlihatkan secara grafik pada Gambar 3, terlihat bahwa untuk jarak 1000 meter, bentuk pleton sudah hampir hilang, pada hal nilai CI didapatkan sebesar 0,51. Hasil ini menunjukkan bahwa berdasarkan karakteristik lalu lintas di ruas jalan di Kota Malang perlu dilakukan penyempurnaan terhadap ketentuan nilai CI untuk dilakukan koordinasi sinyal.

Berdasarkan penelitian sebelumnya merekomendasikan jarak maksimum untuk dilakukan koordinasi sinyal adalah sebesar 800 meter (Mc Shane, 1990). Berdasarkan analisis hubungan nilai CI dengan jarak dihilir simpang, maka untuk jarak 800 meter didapatkan nilai CI sebesar 0,66. Hasil penelitian bentuk pleton pada jarak 600 m di ruas Urib Sumoharjo dan jarak 1000 m di Ruas Sunandar Prio Sudarmo seperti diperlihatkan pada Gambar 3 dan Gambar 4, maka diprediksikan untuk jarak 800 meter pergerakan kendaraan masih bentuk pleton. Untuk itu, batasan koordinasi sinyal berdasarkan nilai CI direkomendasikan sebesar 0,66.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang diuraikan sebelumnya maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak 1000 m dihilir simpang bersinyal dimana pergerakan kendaraan tidak lagi membentuk Pleton.
2. Hasil analisis menunjukkan bahwa jarak maksimum antar simpang untuk dilakukan koordinasi sinyal adalah 800 meter.
3. Model hubungan jarak di hilir simpang dengan besarnya nilai couple index di Kota Malang adalah $CI = 1243.9 * X^{-1.129}$ dimana CI adalah coupling index dan X adalah jarak di hilir simpang bersinyal (m)
4. Hasil analisis batasan nilai CI untuk dilakukan koordinasi sinyal antar simpang adalah sebesar 0,66.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan terima kasih atas pendanaan penelitian ini kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Sesuai

dengan Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2019
Nomor: 229/ SP2H/ LT/ DRPM/2019.

DAFTAR PUSTAKA

- Andalibian Rasool, Zong Tian, Ph.D., P.E. (PI), (2012), Signal Timing and Coordination Strategies Under Varying Traffic Demands, NEVADA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Center for Advanced Transportation Education and Research Department of Civil & Environmental Engineering, University of Nevada, Reno, NV 89557.
- Bayasut, Emal Zain Muzambek Tun, Budi Raharjo (2010), Analisa Dan Koordinasi Sinyal Antar Simpang Pada Ruas Jalan Dipenegoro Surabaya, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, ITS – Surabaya.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, (1997), Manual Kapasitas Jalan Indonesia
- Girianna Montty, Rahim F. Benekohal, (2003), Signal Coordination For A Two-way Street Network With Oversaturated Intersections, Transportation Research Board Annual Meeting Submitted for publication in the proceeding of the 82
- Hisai, M. (1987), Delay-Minimizing Control and Bandwith-Maximizing Control of Coordinated Traffic Signals by Dynamic Programming, Transportation and Traffic Theory, Editor Gartner, N.H. Elsevier.
- Kirono Joko Candra, Nirwana Puspasari, Noviyanthi Handayani, (2018), Analisis Koordinasi Sinyal Antar Simpang (Studi Kasus Jalan Rajawali-Tingang Dan Jalan Rajawali-Garuda), Media Ilmiah Teknik Sipil, Volume 6 Nomor 2 Juni 2018, Hal. 109-123.
- Lin Liang-Tay, Li-Wei _Chris_Tung, A.M.ASCE, Hsin-Chuan Ku, (2010), "Synchronized Signal Control Model for Maximizing Progression along an Arterial", JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING © ASCE / AUGUST 2010 / 727.
- Li Wei, Andrew P. Tarko (2007), Effective And Robust Coordination of Traffic Signals on Arterial Streets, Research Report, School of Civil Engineering Purdue University, Joint Transportation Research Program Project No. C-36-17WWW File No. 8-4-75 SPR-2947.
- Mc Shane, W.R. and Roess, R.P. (1990), Traffic Engineering, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Nesheli, Mahmood Mahmoodi, Othman Che Puan, Arash Moradkhani Roshandeh, Optimization of Traffic Signal Coordination System on Congestion: A Case Study, Department of Geotechnics and Transportation Universiti Teknologi of Malaysia, UTM 81310, Skudai, Johor Bahru MALAYSIA.
- Sebayang. N., (1998), Pengembangan Model Analisis Performansi Koordinasi Sinyal Lalu Lintas Pada Suatu Jalan Dua Arah, Tesis Magister, Bidang Khusus Rekayasa Transportasi, Program Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana ITB Bandung
- Wilshire R L, (1992), Traffic Signals, Traffic Engineering Hand Book 4th Edition, Insitut of Transportation Engineering, Prentice hall, Englewood cliffs, New Jersay 07632.
- Zechman E, Luca Quadrifoglio, Rahul Putha, (2010), Ant Colony Optimization Algorithm For Signal Coordination of Oversaturated Traffic Networks, NTIS: National Technical Information Service 5285 Port Royal Road Springfield, Virginia 22161.