

Analisa Hubungan Kinerja Simpang Bersinyal Dengan Konsumsi Bahan Bakar (Studi Kasus: Simpang Jl. A. A. Maramis – Jl. Ringroad II)

Theodora Paulina Sinambela^{#1}, Meike Kumaat^{#2}, Sisca V. Pandey^{#3}

[#]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

Jl. Kampus UNSRAT Kelurahan Bahu, Manado, Indonesia, 95115

¹theodorasinambela013@gmail.com; ²meikekumaat@unsrat.ac.id; ³siscapandey@gmail.com

Abstrak

Persimpangan Jalan A.A Maramis - Jalan Ringroad II yang berlokasi di wilayah kecamatan Mapanget kota Manado adalah persimpangan sebidang dengan 4 (empat) lengan/pendekat. Persimpangan ini dilengkapi dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) untuk meminimalisir terjadinya konflik lalu lintas serta optimalisasi kinerja persimpangan. Pembangunan wilayah permukiman penduduk (wilayah kecamatan Mapanget) yang sangat cepat serta posisi strategis wilayah sekitar persimpangan untuk menjadi area bisnis mengakibatkan pertumbuhan volume arus lalu lintas yang signifikan, sementara ukuran dan dimensi geometrik persimpangan tidak mengalami perubahan. Peningkatan volume arus lalu lintas pada persimpangan akan mengakibatkan tundaan yang semakin besar. Tundaan yang semakin besar mengindikasikan kinerja persimpangan semakin menurun. Penelitian dilakukan untuk menganalisa kinerja persimpangan bersinyal melalui parameter derajat kejenuhan dan tundaan serta hubungannya dengan konsumsi bahan bakar minyak. Derajat kejenuhan adalah merupakan rasio arus lalu lintas terhadap kapasitas dan tundaan adalah waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melewati suatu persimpangan dibandingkan dengan tanpa persimpangan. Tambahan waktu tempuh kendaraan akibat tundaan akan membutuhkan tambahan bahan bakar minyak sebagai sumber energi. Metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997) digunakan untuk menentukan kinerja persimpangan melalui parameter derajat kejenuhan dan tundaan, serta penentuan konsumsi bahan bakar minyak dengan penekatan formula LAPI-ITB tahun 1996 yang telah dikonversi pada satuan mobil penumpang oleh Isaeni 2003. Kinerja persimpangan Jalan A.A Maramis - Jalan Ringroad II hasil penelitian menunjukkan Derajat Kejenuhan 0.837 dan tundaan rata-rata persimpangan sebesar 29.345 det/smp, dengan kinerja persimpangan berada pada kategori D (kurang) serta tambahan konsumsi bahan bakar minyak rata-rata persimpangan sebesar 32.979 liter/persimpangan-jam.

Kata kunci – bahan bakar minyak, persimpangan, tundaan

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Persimpangan Jl. A.A Maramis - Jl. Ringroad II secara teknis dirancang dan direncanakan dengan kinerja yang optimal yang memenuhi kriteria keamanan dan keselamatan serta ekonomis. Pertumbuhan perekonomian kota Manado memicu pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor, terutama kendaraan pribadi sebagai pengguna persimpangan Jl. A.A Maramis - Jl. Ringroad II. Peningkatan volume arus lalu lintas persimpangan, secara teknis akan mempengaruhi (menurunkan) kinerja atau tingkat layanan persimpangan.

Parameter tundaan adalah salah satu indikator kinerja suatu persimpangan (MKJI 1997), dimana tundaan adalah waktu tambahan yang dibutuhkan oleh kendaraan bermotor untuk melewati persimpangan jika dibandingkan dengan tanpa persimpangan. Waktu tambahan akibat tundaan untuk setiap kendaraan bermotor mengakibatkan tambahan biaya operasional kendaraan berupa tambahan konsumsi bahan bakar (BBM).

B. Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan penelitian adalah :

1. Menentukan tingkat layanan atau kinerja persimpangan saat ini, melalui parameter derajat kejenuhan dan tundaan;
2. Menentukan besaran tambahan bahan bakar minyak sebagai konsekuensi tundaan yang terjadi pada persimpangan;
3. Menentukan hubungan kinerja persimpangan dengan tambahan konsumsi BBM untuk setiap kendaraan pengguna persimpangan.

C. Ruang Lingkup Penelitian

Sebagaimana diuraikan dalam latar belakang serta maksud dan tujuan penelitian, maka ruang lingkup penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Pengumpulan dan pengolahan data primer dan data sekunder melalui survei pengumpulan data langsung di lokasi persimpangan dan melalui studi laporan atau penelitian yang berhubungan dengan topik penelitian;

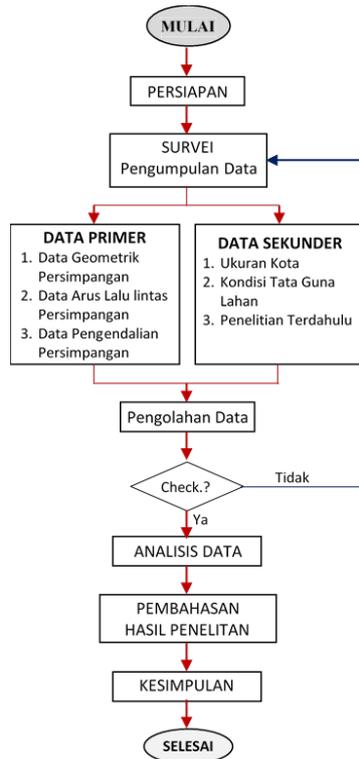
2. Analisa kinerja persimpangan (derajat kejenuhan dan tundaan) dengan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997;
3. Analisa konsumsi bahan bakar minyak berdasarkan tundaan yang terjadi pada persimpangan dengan metode pendekatan LAPI-ITB 1996 yang telah dikonversi ke satuan mobil penumpang (smp) oleh Isnaeni 2003;
4. Pembahasan hubungan kinerja persimpangan (tundaan) dengan konsumsi bahan bakar.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Metode pelaksanaan penelitian dilakukan dengan mekanisme atau tahapan penelitian sebagaimana digambarkan pada bagan alir berikut ini (Gambar 1).

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah persimpangan atau perpotongan sebidang antara ruas jalan A.A Maramis dengan ruas jalan Ringroad II di wilayah kecamatan Mapanget kota Manado provinsi Sulawesi Utara dengan titik koordinat 1° 30' 13.56" LU dan 124° 54' 3.88" BT.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Lokasi Penelitian

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui survei pengumpulan data langsung di lokasi persimpangan dan melalui studi laporan atau penelitian yang berhubungan dengan topik penelitian.

Data yang dibutuhkan dalam penelitian terdiri dari:

1. Data geometrik dan lingkungan persimpangan

Parameter geometrik dan lingkungan persimpangan yang mempengaruhi kinerja persimpangan adalah:

- a. Denah persimpangan yang menunjukkan jumlah lengan persimpangan dan jumlah pendekat pada setiap lengan serta posisi pendekat-pendekat, pulau-pulau lalu lintas, garis henti, penyeberangan pejalan kaki (zebra cross) dan marka jalan.
- b. Ukuran dan dimensi pendekat seperti lebar dan panjang lajur, lebar masuk dan lebar keluar dan ukuran lainnya
- c. Ukuran kota berdasarkan jumlah penduduk diperlukan untuk faktor penyesuaian ukuran kota.
- d. Pengaruh hambatan samping terhadap arus berangkat karena aktivitas di samping pendekat seperti angkutan umum berhenti, pejalan kaki berjalan/melintasi pendekat, keluar masuk halaman di sepanjang pendekat dan lain lain.
- e. Tipe lingkungan di sekitar pendekat yang menunjukkan fungsi dan penggunaan lahan (COM = komersil, RES = perumahan atau RA = akses terbatas).
- f. Informasi kelandaian masing-masing lengan/pendekat (naik = + % dan turun = - %)

2. Data pengendalian persimpangan

Pengendalian persimpangan adalah pengaturan seluruh pergerakan arah arus lalu lintas yang datang atau menuju pendekat. Secara umum pergerakan lalu lintas pada suatu pendekat dibedakan menjadi:

- Gerakan belok kiri (LT) atau belok kiri langsung (LTOR)
- Gerakan lurus (ST)
- Gerakan belok kanan (RT)

Menurut MKJI 1997 perencanaan pengendalian persimpangan jalan dilakukan berdasarkan pertimbangan keselamatan pengguna persimpangan, pertimbangan ekonomi serta pertimbangan lingkungan.

Salah satu jenis metode pengendalian persimpangan adalah penggunaan lampu lalu lintas (APILL) yang meliputi pengaturan :

a. Fase Sinyal

Fase sinyal adalah satuan pengaturan lampu sinyal yang merupakan bagian dari siklus-sinyal dengan lampu-hijau disediakan bagi kombinasi tertentu dari gerakan lalu lintas optimasi pengaturan lalu lintas dilakukan dengan pengaturan fase sinyal yang sesuai dengan kondisi geometrik dan lingkungan serta kondisi arus lalu lintas pada persimpangan.

b. Waktu Siklus

Waktu siklus adalah waktu untuk urutan lengkap dari indikasi sinyal (waktu antara dua saat permulaan hijau yang berurutan di dalam pendekat).

c. Waktu Hijau

Waktu hijau adalah waktu nyala lampu hijau pada suatu fase dari suatu pendekat.

3. Data arus lalu-lintas persimpangan

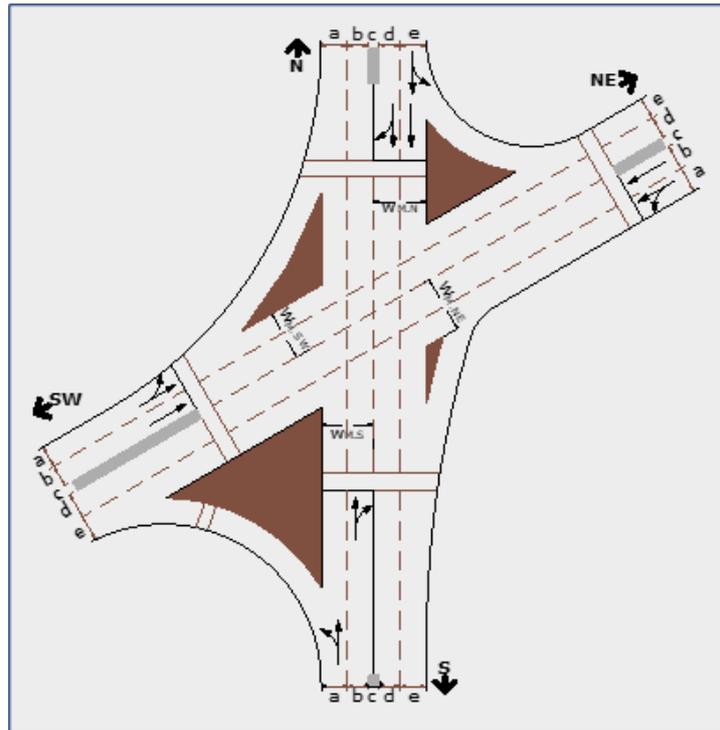
Pengumpulan data arus lalu lintas dilakukan dengan cara jam-jaman yaitu survei perhitungan volume arus lalu lintas dilakukan pada jam sibuk (peak hour) pagi, siang dan sore, dilakukan pada hari kerja (3 hari).

Data volume arus lalu lintas dalam satuan kendaraan/jam untuk masing-masing jenis kendaraan yang dibedakan dengan tipe terlindung atau terlawan. Arus lalu lintas persimpangan terdiri dari berbagai jenis, tipe dan ukuran kendaraan bermotor.

Analisa dan perencanaan kinerja persimpangan dengan metode MKJI 1997 menggunakan satuan mobil penumpang (smp) sebagai satuan arus lalu lintas. Ekuivalensi mobil penumpang (emp) digunakan sebagai nilai konversi jumlah kendaraan ke satuan smp sesuai dengan acuan angka emp sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL 1
Faktor ekuivalensi mobil penumpang (emp)

Tipe Kendaraan	emp	
	Pendekat (Terlindung)	Pendekat (Terlawan)
Kendaraan Ringan (LV)	1.0	1.0
Kendaraan Berat (HV)	1.3	1.3
Sepeda Motor (MC)	0.2	0.4

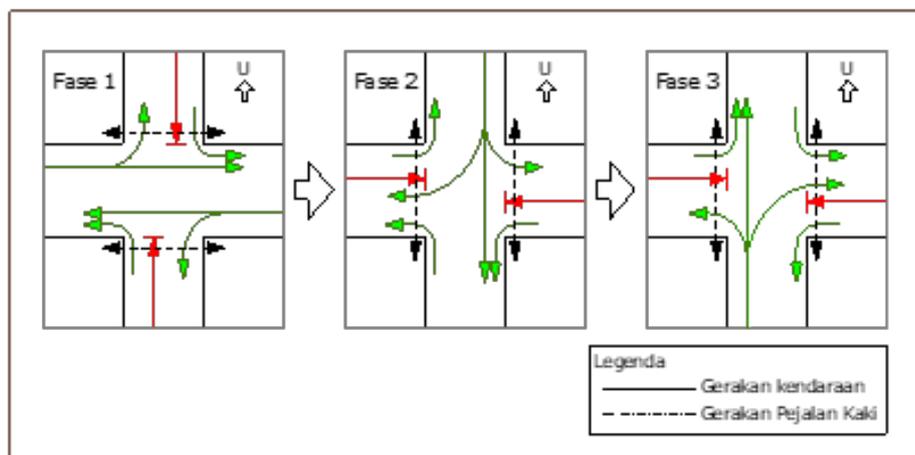


Gambar 3. Layout Persimpangan

TABEL 2
Data Geometrik dan Lingkungan

Kode Pendekat	Tipe Lingkungan Jalan	Hambatan Sampung	Kelandaian (%)	Lebar (meter)			
				Pendekat W_A	Masuk W_{MASUK}	Belok Kiri Langsung W_{LATOR}	Keluar W_{KELUAR}
N	RES	S	0	6.5	6.5	2.0	8.0
S	COM	R	0	8.0	8.0	2.0	6.5
NE	COM	S	0	7.5	8.5	2.0	7.5
SW	COM	T	0	7.5	8.5	2.0	7.5

*) T= Tinggi ; S = Sedang ; R = Rendah



Gambar 4. Pengaturan Fase Sinyal

TABEL 3
Data Durasi Waktu Sinyal Persimpangan

NO. Fase	Pendekat	No. Uji	Durasi waktu sinyal (detik)		
			Hijau	Kuning	Merah
Fase 1	NE, SW	1	70.98	3.08	63.92
		2	71.09	2.97	64.09
		3	71.12	3.10	64.11
		Rata-rata	71.00	3.00	64.00
Fase 2	N	1	19.18	3.05	116.02
		2	19.03	3.06	116.12
		3	18.85	3.01	116.32
		Rata-rata	19.00	3.00	116.00
Fase 3	S	1	30.16	3.02	104.91
		2	30.08	2.94	105.06
		3	29.88	3.12	105.01
		Rata-rata	30.00	3.00	105.00

Sumber: Hasil Penelitian

TABEL 4
Arus Lalu Lintas Pada Jam Puncak Pagi

Kode Pendekat	Arah	Arus Lalu lintas Kendaraan Bermotor (MV)										Kendaraan Tak Bermotor		
		Kendaraan Ringan (LV)		Kendaraan Berat (HV)		Sepeda Motor (MC)		Jumlah Kendaraan Bermotor (QMV)		Rasio Berbelok		Arus UM	Rasio UM/MV	
		(kend./jam)	emp=1.0 (smp)	(kend./jam)	emp=1.3 (smp)	(kend./jam)	emp=0.2 (smp)	(kend./jam)	(smp)	kiri PLT	kanan PRT			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
N	LTOR	28	28	2	3	75	15	105	46	0.14			2	
	ST	101	101	10	13	124	25	235	139				2	
	RT	111	111	3	4	120	24	234	139		0.43		2	
	JLH	240	240	15	20	319	64	574	324	0.14	0.43		6	0.010
S	LTOR	46	46	7	10	57	12	110	68	0.21			2	
	ST	47	47	8	11	111	23	166	81				2	
	RT	131	131	10	13	145	29	286	173		0.54		2	
	JLH	224	224	25	34	313	64	562	322	0.21	0.54		6	0.011
NE	LTOR	228	228	30	39	320	64	578	331	0.35			3	
	ST	465	465	25	33	631	127	1121	625				2	
	JLH	693	693	55	72	951	191	1699	956	0.35	0.00		5	0.003
SW	LTOR	92	92	11	15	177	36	280	143	0.26			6	
	ST	281	281	15	20	508	102	804	403				2	
	JLH	373	373	26	35	685	138	1084	546	0.26	0.00		8	0.007

Sumber: Hasil Penelitian

TABEL 5
Arus Lalu Lintas Pada Jam Puncak Siang

Kode Pendekat	Arah	Arus Lalu lintas Kendaraan Bermotor (MV)										Kendaraan Tak Bermotor		
		Kendaraan Ringan (LV)		Kendaraan Berat (HV)		Sepeda Motor (MC)		Jumlah Kendaraan Bermotor (QMV)		Rasio Berbelok		Arus UM	Rasio UM/MV	
		(kend./jam)	emp=1.0 (smp)	(kend./jam)	emp=1.3 (smp)	(kend./jam)	emp=0.2 (smp)	(kend./jam)	(smp)	kiri PLT	kanan PRT			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
N	LTOR	58	58	5	7	80	16	143	81	0.23			-	
	ST	116	116	12	16	46	10	174	142				-	
	RT	104	104	4	6	76	16	184	126		0.36		-	
	JLH	278	278	21	29	202	42	501	349	0.23	0.36		-	-
S	LTOR	92	92	7	10	74	15	173	117	0.21			1	
	ST	107	107	18	24	108	22	233	153				-	
	RT	227	227	29	38	120	24	376	289		0.52		-	
JLH	426	426	54	72	302	61	782	559	0.21	0.52		1	0.001	
NE	LTOR	251	251	34	45	210	42	495	338	0.31			1	
	ST	579	579	36	47	562	113	1177	739				1	
	JLH	830	830	70	92	772	155	1672	1077	0.31	0.00		1	0.001
SW	LTOR	188	188	10	13	146	30	344	231	0.21			-	
	ST	666	666	37	49	709	142	1412	857				-	
	JLH	854	854	47	62	855	172	1756	1088	0.21	0.00		-	-

Sumber: Hasil Penelitian

TABEL 6
Arus Lalu Lintas Pada Jam Puncak Sore

Kode Pendekat	Arah	Arus Lalu lintas Kendaraan Bermotor (MV)										Kendaraan Tak Bermotor		
		Kendaraan Ringan (LV)		Kendaraan Berat (HV)		Sepeda Motor (MC)		Jumlah Kendaraan Bermotor (QMV)		Rasio Berbelok		Arus UM	Rasio UM/MV	
		(kend./jam)	emp=1.0 (smp)	(kend./jam)	emp=1.3 (smp)	(kend./jam)	emp=0.2 (smp)	(kend./jam)	(smp)	kiri P _{LT}	kanan P _{RT}			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
N	LTOR	63	63	3	4	72	15	138	82	0.23			4	
	ST	130	130	8	11	83	17	221	158				1	
	RT	97	97	4	6	104	21	205	124		0.34		4	
	JLH	290	290	15	21	259	53	564	364	0.23	0.34		9	0.016
S	LTOR	127	127	6	8	135	27	268	162	0.23			6	
	ST	169	169	13	17	212	43	394	229				3	
	RT	246	246	19	25	224	45	489	316		0.45		1	
	JLH	542	542	38	50	571	115	1151	707	0.23	0.45		10	0.009
NE	LTOR	283	283	15	20	355	71	653	374	0.33			5	
	ST	575	575	23	30	710	142	1308	747				5	
	JLH	858	858	38	50	1065	213	1961	1121	0.33	0.00		10	0.005
SW	LTOR	263	263	8	11	298	60	569	334	0.27			9	
	ST	694	694	16	21	827	166	1537	881				5	
	JLH	957	957	24	32	1125	226	2106	1215	0.27	0.00		14	0.007

Sumber: Hasil Penelitian

C. Pengolahan Data

Data hasil survei pengumpulan data diolah menjadi:

1. Data geometrik dan lingkungan persimpangan

Lay-out persimpangan menunjukkan penamaan setiap pendekat dan arah pergerakan arus lalu lintas dalam persimpangan ditunjukkan pada Gambar 3. Data geometrik dan lingkungan ditampilkan pada Tabel 2.

2. Data pengendalian persimpangan

Pengaturan fase sinyal pada persimpangan adalah terdiri dari 3 (tiga) fase dengan urutan fase menurut pendekat ditunjukkan pada Gambar 4.

Pengaturan waktu sinyal yaitu pengaturan durasi waktu sinyal hijau, kuning dan merah pada setiap fase ditunjukkan pada Tabel 3.

3. Data arus lalu-lintas

Data arus lalu lintas rata-rata hasil penelitian adalah sebagai berikut ditampilkan pada Tabel 4 sd. Tabel 6.

Tahap 1 :

$$W_e = 6,5 - 2.0 = 4.5 \text{ m}$$

$$W_e = 6,5 \text{ m}$$

$$\text{Lebar efektif } W_e = 4,5 \text{ m}$$

Tahap 2 :

$$W_e = W_{\text{KELUAR}} \text{ bila } W_{\text{KELUAR}} < W_e \times (1 - P_{\text{RT}})$$

$$W_e \times (1 - P_{\text{RT}}) = 4.5 \times (1 - 0.43) = 2.565 \text{ m}$$

$$W_{\text{KELUAR}} = 8.0 \text{ m} > 2.565 \text{ m},$$

Sehingga lebar efektif pendekat N adalah **W_e = 4,5 m**

2. Arus jenuh dasar (S₀)

$$S_0 = 600 \times W_e$$

$$S_0 = 600 \times 4.5 = 2,700 \text{ smp/jam hijau}$$

3. Faktor koreksi

a. *Faktor koreksi ukuran kota (F_{CS})*

Penduduk kota Manado tahun 2019 ± 0.527 juta jiwa, sehingga F_{CS}=0.94 (ditentukan berdasarkan Tabel 7).

b. *Faktor koreksi gradien jalan (F_G)*

F_G = 1 untuk G = 0 % pendataran (Gambar 6).

c. *Faktor koreksi kondisi parkir (F_P)*

F_P = 1.0 (tidak ada parkir di sekitar pendekat).

d. *Faktor koreksi belok kanan (F_{RT}) dan belok kiri (F_{LT})*

Semua Pendekat adalah tipikal terlindung (tipe P) dengan median dan lebar efektif tidak ditentukan oleh lebar masuk, sehingga **F_{RT} = 1.0 dan F_{LT} = 1.0.**

III.HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Kinerja Persimpangan

Analisa kinerja persimpangan untuk menentukan tundaan yang terjadi pada setiap pendekat, dilakukan secara manual dengan metode MKJI 1997.

Contoh perhitungan dilakukan pada pendekat N kondisi jam puncak pagi, sebagai berikut :

1. Lebar efektif (W_e)

Data ukur :

$$W_A = 6.5 \text{ m}$$

$$W_{\text{LTOR}} = 2.0 \text{ m} \geq 2.0 \text{ m}$$

$$W_{\text{MASUK}} = 6.5 \text{ m}$$

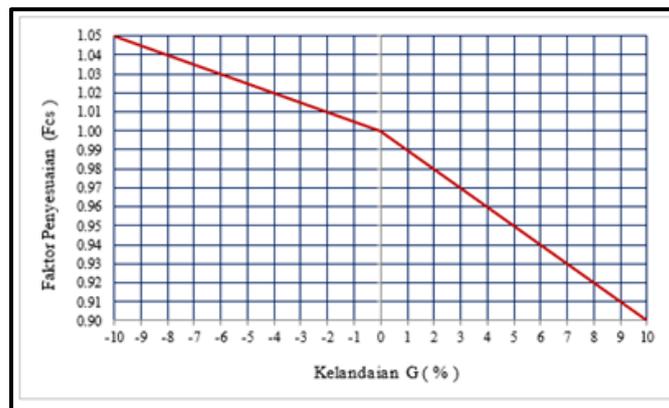
$$W_{\text{KELUAR}} = 8.0 \text{ m}$$

- e. Faktor koreksi hambatan samping (F_{SF}) Data (Tabel 2) tipe lingkungan jalan adalah “RES” dengan hambatan samping “Sedang” dan tipe fase “Terlindung”.

Rasio kendaraan tak bermotor $\frac{UM}{MV} = 0.010$, (Tabel 4), Dengan interpolasi linier (Tabel 8) faktor penyesuaian hambatan samping $F_{SF} = 0.966$

TABEL 7
Faktor Penyesuaian Ukuran Kota

Jumlah Penduduk Kota (Juta Jiwa)	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (F_{CS})
> 3.0	1.05
1.0 - 3.0	1.00
0.5 - 1.0	0.94
0.1 - 0.5	0.83
< 0.1	0.82



Gambar 5. Faktor Penyesuaian Kelandaian

TABEL 8
Faktor Penyesuaian Hambatan Samping

Lingkungan Jalan	Hambatan Samping	Tipe Fase	Rasio Kendaraan Tak Bermotor					
			0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	≥ 0.25
Komersial (COM)	Tinggi	Terlawan	0.93	0.88	0.84	0.79	0.74	0.70
		Terlindung	0.93	0.91	0.88	0.87	0.85	0.81
	Sedang	Terlawan	0.94	0.89	0.85	0.80	0.75	0.71
		Terlindung	0.94	0.92	0.89	0.88	0.86	0.82
	Rendah	Terlawan	0.95	0.90	0.86	0.81	0.76	0.72
		Terlindung	0.95	0.93	0.90	0.89	0.87	0.83
Permukiman (RES)	Tinggi	Terlawan	0.96	0.91	0.86	0.81	0.78	0.72
		Terlindung	0.96	0.94	0.92	0.89	0.86	0.84
	Sedang	Terlawan	0.97	0.92	0.87	0.81	0.79	0.73
		Terlindung	0.97	0.95	0.93	0.90	0.87	0.85
	Rendah	Terlawan	0.98	0.93	0.88	0.82	0.80	0.74
		Terlindung	0.98	0.96	0.94	0.91	0.88	0.86
Akses Terbatas (AT)	Tinggi / Sedang / Rendah	Terlawan	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75
		Terlindung	1.00	0.98	0.94	0.93	0.90	0.88

4. Arus jenuh

Arus jenuh adalah jumlah atau besarnya keberangkatan antrian pada suatu pendekat selama waktu sinyal hijau (smp/jam-hijau) yang dihitung sebagai arus jenuh dasar yang telah dikoreksi dengan faktor-faktor penyesuaian.

$$S = S_0 \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT}$$

$$S = 2700 (0.94) (0.966)(1.0) (1.0) (1.0) (1.0)$$

$$S = 2,452 \text{ smp/jam}$$

5. Rasio arus (FR)

Rasio arus jenuh (flow ratio) yang terjadi pada setiap pendekat yang memiliki fase yang sama adalah perbandingan arus lalu lintas (Q) dengan arus jenuh (S).

$$FR = \frac{Q}{S} = \frac{278}{2,452} = 0.113$$

6. Rasio fase (PR)

$$FR_{crit} = FR_{maks} = 0.113$$

$$IFR = \sum FR_{crit} = 0.407$$

Sehingga:

$$PR = \frac{FR_{crit}}{IFR} = \frac{0.113}{0.407} = 0.278$$

7. Rasio hijau (PR)

Rasio hijau adalah perbandingan waktu sinyal hijau (g) dengan waktu siklus (c). Dimana (Tabel 3) untuk pendekat N Fase 2 nilai g = 19 det. dan c = 138 det.

Sehingga:

$$G_R = \frac{19}{138} = 0.138$$

8. Kapasitas (S)

Kapasitas adalah arus lalu lintas maksimum yang dapat dipertahankan (tetap) pada suatu pendekat. $C = S \times \frac{g}{c}$, g = 19 det (waktu hijau) c = 138 det (waktu siklus)

Sehingga:

$$C = S \times \frac{g}{c} = 2,454 \left(\frac{19}{138} \right) = 338 \text{ smp/jam}$$

9. Derajat kejenuhan (Ds)

Derajat kejenuhan adalah rasio antara arus lalu lintas dengan kapasitas:

$$D_s = \frac{Q}{C} = \frac{278}{338} = 0.832$$

10. Antrian (N_Q)

Antrian adalah jumlah kendaraan yang antri dalam suatu pendekat (smp).

$$N_Q = N_{Q1} + N_{Q2}$$

N_{Q1} adalah antrian yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya dihitung dengan rumus:

$$N_{Q1} = 0.25 \times C \times \left[(D_s - 1) + \sqrt{(D_s - 1)^2 + \frac{8 \times (D_s - 0.5)}{C}} \right]$$

$$N_{Q1} = 0.25 \times 338 \times \left[(0.832 - 1) + \sqrt{(0.832 - 1)^2 + \frac{8 \times (0.832 - 0.5)}{338}} \right]$$

$$N_{Q1} = 1.73 \text{ smp}$$

Catatan : untuk $D_s \leq 0.5 \rightarrow N_{Q1} = 0$

N_{Q2} adalah antrian yang terjadi selama fase merah dihitung dengan rumus:

$$N_{Q2} = c \times \frac{1 - G_R}{1 - G_R \times D_s} \times \frac{Q}{3600}$$

$$N_{Q2} = 138 \times \frac{1 - 0.138}{1 - 0.138 \times 0.832} \times \frac{278}{3600}$$

$$N_{Q2} = 10.36 \text{ smp}$$

Sehingga:

$$N_Q = 1.73 + 10.36 = 12.10 \text{ smp}$$

11. Angka henti (N_s)

Angka henti adalah jumlah rata-rata berhenti per kendaraan (termasuk berhenti berulang-ulang dalam antrian), dihitung dengan rumus :

$$N_s = 0.9 \times \frac{N_Q}{Q \times c} \times 3600$$

$$N_s = 0.9 \times \frac{12.10}{278 \times 138} \times 3600 = 1.021$$

12. Tundaan (D)

Tundaan yang terjadi pada setiap pendekat yang dialami oleh setiap kendaraan (smp) terdiri dari tundaan lalu lintas (D_T) dan tundaan geometrik (D_G).

$$D = D_T + D_G$$

Tundaan Lalu lintas:

$$D_T = c \times \frac{0.5 \times (1 - G_R)^2}{(1 - G_R \times D_s)} + \frac{N_{Q1} \times 3600}{C}$$

$$D_T = 138 \times \frac{0.5 \times (1 - 0.138)^2}{(1 - 0.138 \times 0.823)} + \frac{1.73 \times 3600}{338}$$

$$D_T = 76.34 \text{ det/smp}$$

Tundaan Geometrik:

$$D_G = (1 - p_{sv}) \times P_T \times 6 + (p_{sv} \times 4)$$

$$p_{sv} = \text{Min}(N_s, 1) = \text{Min}(1.021, 1) = 1.0$$

$$P_T = 0.43 \text{ (Tabel 4)}$$

Sehingga:

$$D_G = (1 - 1.0) \times 0.43 \times 6 + (1.0 \times 4)$$

$$D_G = 4.0 \text{ det/smp}$$

$$\text{Tundaan rata-rata: } D = D_T + D_G$$

$$D = 76.34 + 4.0 = 80.34 \text{ det/smp}$$

Sehingga:

Tundaan total per-jam yang terjadi pada pendekat N adalah :

$$D_{TOTAL} = D \times Q = 80.34 \times 278 \\ = 23,323 \text{ det}$$

B. Analisis Konsumsi Bahan Bakar (BBM)

Isnaeni (2003) dalam penenelitian tentang konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang, menghitung konsumsi bahan bakar dengan menggunakan pendekatan formulasi diajukan oleh LAPI-ITB yang telah dikonversikan ke dalam satuan mobil penumpang.

Konsumsi bbm untuk kendaraan dengan kondisi idle dihitung dengan rumus:

$$F = 140.10^{-2} \text{ (liter/smp-jam)}$$

$$F = 140.10^{-2}/3600 \text{ (liter/smp-det)}$$

$$F = 3.889.10^{-4} \text{ (liter/smp-det)}$$

Artinya konsumsi bahan bakar minyak untuk satu satuan mobil penumpang kendaraan dalam kondisi idle (diam dengan mesin hidup) adalah sebesar $3.889.10^{-4}$ (liter/detik).

Sehingga konsumsi bbm akibat Tundaan pada pendekat N per-jam adalah:

$$F = 3.889 \cdot 10^{-4} \cdot D_{TOTAL} \text{ (liter)}$$

$$F = 3.889 \cdot 10^{-4} \times 23,323 \\ = 8.685 \text{ (liter)}$$

C. Hasil Analisis Kinerja Persimpangan

Parameter tundaan yang terjadi pada setiap pendekat pada jam sibuk (peak hour), adalah indikator penentuan kinerja persimpangan melalui tingkat layanan (LOS) setiap pendekat. Klasifikasi tingkat layanan suatu persimpangan berdasarkan parameter tundaan menurut MKJI 1997 ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 10 menunjukkan kinerja persimpangan pada jam puncak pagi dengan kategori D (kurang) dengan tundaan rata-rata persimpangan = 28.45 det/smp. Kinerja paling buruk terjadi pada pendekat N dengan tundaan = 80.34 det/smp dengan tingkat layanan kategori F (buruk sekali), serta kinerja paling baik terdapat pada pendekat NE dengan tundaan = 22.93 det/smp kategori C (sedang).

Tabel 11 menunjukkan kinerja persimpangan pada jam puncak siang dengan kategori D (kurang) dengan tundaan rata-rata persimpangan = 29.05 det/smp. Kinerja paling buruk terjadi pada pendekat N dengan tundaan = 76.76 det/smp dengan tingkat layanan kategori F (buruk sekali), serta kinerja paling baik terdapat pada pendekat NE dengan tundaan = 24.13 det/smp kategori C (sedang).

Tabel 12 menunjukkan kinerja persimpangan pada jam puncak sore dengan kategori D (kurang) dengan tundaan rata-rata persimpangan = 30.53 det/smp. Kinerja paling buruk terjadi pada pendekat N dengan tundaan = 82.70 det/smp yaitu tingkat layanan kategori F (buruk sekali), serta kinerja paling baik terdapat pada pendekat NE dengan tundaan = 24.23 det/smp kategori C (sedang).

TABEL 9
Hubungan Tingkat Layanan dengan Tundaan

Tingkat Pelayanan	Tundaan (det/smp)	Keterangan
A	<5	Baik sekali
B	5.1 – 15	Baik
C	15.1 – 25	Sedang
D	25.1 – 40	Kurang
E	40.1 – 60	Buruk
F	>60	Buruk sekali

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga

D. Hasil Analisis Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar minyak tambahan yang membebani setiap kendaraan dalam satuan mobil penumpang pada setiap pendekat serta konsumsi bahan bakar minyak tambahan persimpangan per-jam hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 13.

E. Hubungan Kinerja Persimpangan Dengan Konsumsi BBM

Gambar 6 menunjukkan hubungan kinerja persimpangan yang berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar minyak tambahan. Ini berarti bahwa penambahan tundaan yang terjadi pada persimpangan akan mengakibatkan penambahan konsumsi bahan bakar minyak.

TABEL 10
Kinerja Persimpangan (Tundaan) pada Jam Puncak Pagi

Kode Pendekat	Arus Lalu Lintas smp/jam	Kapasitas smp/jam	Derajat Kejenuhan	Rasio Hijau	Antrian (smp)			Angka Henti	Tundaan			
									Tundaan Lalu Lintas (det/smp)	Tundaan Geometrik (det/smp)	Tundaan Rata-rata (det/smp)	Tundaan Total
									Q	C	DS	GR
1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12
N	278	338	0.823	0.138	1.73	10.36	12.10	1.022	76.3	4.0	80.34	22,333
S	254	696	0.365	0.217	-	8.28	8.28	0.765	45.9	3.2	49.14	12,483
NE	625	1,498	0.417	0.514	-	14.81	14.81	0.556	20.7	2.2	22.93	14,334
SW	403	1,480	0.272	0.514	-	8.72	8.72	0.508	18.9	2.0	20.95	8,442
LTOR	588								-	6.0	6.00	3,528
Σ Q	2,148	Tundaan Rata-rata Persimpangan = $\sum(D \times Q) / \sum Q$									28.45	61,120

Sumber: Hasil Analisa

TABEL 11
Kinerja Persimpangan (Tundaan) pada Jam Puncak Siang

Kode Pendekat	Arus Lalu lintas smp/jam	Kapasitas smp/jam	Derajat Kejenuhan	Rasio Hijau	Antrian (smp)			Angka Henti	Tundaan			
									Tundaan Lalu Lintas Rata-rata	Tundaan Geometrik Rata-rata (det/smp)	Tundaan Rata-rata (det/smp)	Tundaan Total
									Q	C	DS	GR
1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12
N	282	337	0.837	0.138	1.94	10.54	12.47	1.039	78.7	4.0	82.70	23,323
S	545	696	0.783	0.217	1.28	19.70	20.98	0.904	57.5	3.9	61.42	33,472
NE	747	1,497	0.499	0.514	-	18.70	18.70	0.588	21.9	2.4	24.23	18,102
SW	881	1,480	0.595	0.514	0.24	23.64	23.87	0.636	24.0	2.5	26.56	23,404
LTOR	952								-	6.0	6.00	5,712
Σ Q	3,407	Tundaan rata-rata untuk Persimpangan = $\sum(D \times Q) / \sum Q$									30.53	104,012

Sumber: Hasil Analisa

TABEL 12
Kinerja Persimpangan (Tundaan) pada Jam Puncak Sore

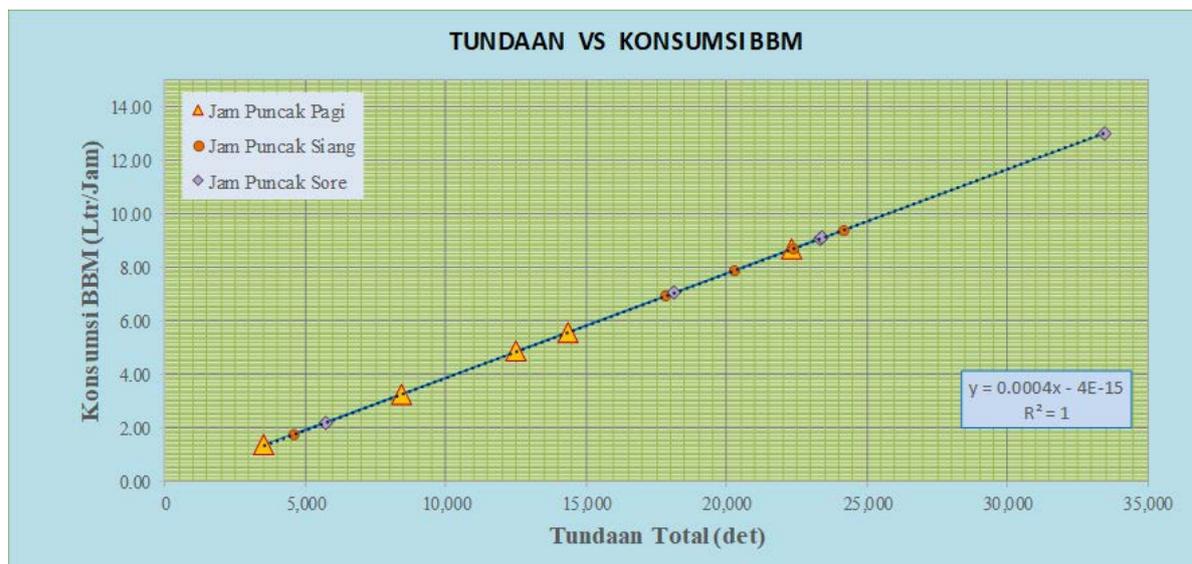
Kode Pendekat	Arus Lalu lintas smp/jam	Kapasitas smp/jam	Derajat Kejenuhan	Rasio Hijau	Antrian (smp)			Angka Henti	Tundaan			
									Tundaan Lalu Lintas Rata-rata	Tundaan Geometrik Rata-rata (det/smp)	Tundaan Rata-rata (det/smp)	Tundaan Total
									Q	C	DS	GR
1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12
N	282	337	0.837	0.138	1.94	10.54	12.47	1.039	78.7	4.0	82.70	23,323
S	545	696	0.783	0.217	1.28	19.70	20.98	0.904	57.5	3.9	61.42	33,472
NE	747	1,497	0.499	0.514	-	18.70	18.70	0.588	21.9	2.4	24.23	18,102
SW	881	1,480	0.595	0.514	0.24	23.64	23.87	0.636	24.0	2.5	26.56	23,404
LTOR	952								-	6.0	6.00	5,712
Σ Q	3,407	Tundaan rata-rata untuk Persimpangan = $\sum(D \times Q) / \sum Q$									30.53	104,012

Sumber: Hasil Analisa

TABEL 13
Konsumsi BBM Tambahan akibat Tundaan pada Jam Puncak Pagi, Siang dan Sore

Kode Pendekat	JAM PUNCAK PAGI				JAM PUNCAK SIANG				JAM PUNCAK SORE			
	Arus Lalulintas (Q)	Derajat Kejenuhan (Ds)	Tundaan Total (DT)	Konsumsi BBM Tambahan (F)	Arus Lalulintas (Q)	Derajat Kejenuhan (Ds)	Tundaan Total (DT)	Konsumsi BBM Tambahan (F)	Arus Lalulintas (Q)	Derajat Kejenuhan (Ds)	Tundaan Total (DT)	Konsumsi BBM Tambahan (F)
	(smp/jam)			(liter/jam)	(smp/jam)			(liter/jam)	(smp/jam)			(liter/jam)
N	278	0.823	22,333	8.685	268	0.791	20,304	7.896	282	0.837	23,323	9.070
S	254	0.365	12,483	4.855	442	0.632	24,179	9.403	545	0.783	33,472	13.017
NE	625	0.417	14,334	5.575	739	0.493	17,832	6.935	747	0.499	18,102	7.040
SW	403	0.272	8,442	3.283	857	0.577	22,357	8.695	881	0.595	23,404	9.102
LTOR	588		3,528	1.372	767		4,602	1.790	952		5,712	2.221
Σ	2,148		61,120	23.770	3,073		89,273	34.718	3,407		104,012	40.450
Tundaan rata-rata = $\Sigma(DT) / \Sigma Q$			28.455				29.051				30.529	
TUNDAAN RATA-RATA PERSIMPANGAN (det/smp)											29.345	
KONSUMSI BBM TAMBAHAN RATA-RATA PERSIMPANGAN (liter/persimpangan-jam)											32.979	

Sumber: Hasil Analisa



Gambar 6. Grafik Hubungan Tundaan Persimpangan dengan Konsumsi BBM

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan akhir hasil penelitian yang telah dilaksanakan terhadap analisa kinerja persimpangan Jl. A.A Maramis – Jl. Ringroad II dan hubungannya dengan kebutuhan bahan bakar minyak adalah sebagai berikut:

1. Kinerja persimpangan Jl. A.A Maramis - Jl. Ringroad II berdasarkan parameter tundaan rata-rata persimpangan 29.345 det/smp berada pada tingkat layanan D atau kategori kurang (25.1 - 40), dan pendekat dengan kinerja paling buruk dengan

- tingkat layanan F (≥ 60) adalah pendekat N dengan tundaan rata-rata 79.6 det/smp.
2. Tambahan konsumsi bahan bakar minyak akibat tundaan rata-rata persimpangan yang terjadi adalah 32.979 liter/persimpangan-jam.
3. Hasil penelitian menunjukkan hubungan kinerja persimpangan (derajat kejenuhan dan tundaan) adalah berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar minyak, artinya tundaan yang semakin besar mengakibatkan konsumsi bahan bakar minyak juga meningkat (semakin besar).

B. Saran

Berdasarkan kesimpulan akhir hasil penelitian dan pengamatan secara visual di lapangan selama pelaksanaan penelitian, maka saran atau rekomendasi teknis adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan ulang pengaturan waktu sinyal sangat diperlukan untuk meningkatkan kinerja persimpangan.
2. Perbaikan bangunan median pada pendekat N dan pendekat S diperlukan untuk meningkatkan kinerja persimpangan.
3. Kontribusi masyarakat sangat diperlukan dengan memperbaiki perilaku berkendara yang senantiasa mematuhi rambu lalu lintas dan pengaturan pergerakan lalu lintas yang ada di persimpangan.
4. Tambahan konsumsi BBM pada persimpangan mengakibatkan tingkat polusi udara, maka diperlukan studi analisis dampak kinerja persimpangan terhadap polusi udara pada wilayah persimpangan tersebut.

KUTIPAN**A. Buku**

- [1] Binkot Bina Marga, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, 1997.
- [2] R. Akcelik, *Traffic Signal: Capacity and Timing Analysis. Reprint. Research Report ARR No. 123*. Australian Road Research Board, 1989.
- [3] Edwin K. Morlok, *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*. Jakarta: Erlangga, 1989.
- [4] J. D. Ortuzar, L. G. Willumsen, *Modelling Transport*. 1994

B. Undang-Undang

- [5] UU RI Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan
- [6] UU Nomor 22 tahun 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi
- [7] UU RI Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu lintas dan Angkutan Jalan

C. Jurnal

- [8] Valentino Ahrys “Hubungan Tundaan dan Panjang Antrian Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Minyak Pada Pendekat Simping (Studi Kasus Simping Antasari, Simping Air Putih, Simping Lembuswana dan Simping Ahmad Yani)”, dalam Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur, Vol. 1, No. 1, 2017.
- [9] Dwi Yudha Yogama, “Hubungan Antara Tundaan dan Panjang Antrian dengan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Pada Pendekat Simping di Surakarta”, dalam e-jurnal Matriks TEKNIK SIPIL, hal. 230, Maret 2016.

D. Skripsi, Tesis, Laporan

- [10] M. Isnaeni, “Efek Lingkungan Interaksi Transportasi dan Tata Ruang Kota”, Tesis Magister Rekayasa Transportasi ITB, Bandung, 2003.
- [11] Eko Nugroho Julianto, “Analisis Kinerja Simping Bersinyal Simping Bangkong dan Simping Milo Semarang Berdasarkan Konsumsi Bahan Bakar Minyak”, Tesis Jurusan Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Semarang, 2007.
- [12] Lembaga Afiliasi dan Penerapan Industri ITB bekerjasama dengan PT. Jasa Marga, “Laporan Akhir Studi Perhitungan Biaya Operasi Kendaraan”, Bandung, Indonesia, 1996.
- [13] Samuel Y. R. Rompis, “Characterizing Queue Dynamics at Signalized Intersections from Probe Vehicle Data”. 2015.