

ANALISA KEMACETAN LALU LINTAS PADA RUAS JALAN DENGAN DETERMINISTIC QUEUING ANALYSIS

Herawati *)

Mutharuddin **)

Badan Litbang Perhubungan Jalan Medan Merdeka Timur No.5 Jakarta

ABSTRACT

One of the phenomena of transportation problem currently is the congestion which occurs at highway bottlenecks. Congestion is determined by the low capacity at the bottleneck point compared to the entrance road segment before the bottleneck. This capacity reduction can be influenced by the decrease in the number of traffic lanes, the reduced width of road shoulders and traffic signs.

Location of the study is on a signalized intersection (MT Haryono Street) and unsignalized intersection (Cilincing Street). Traffic congestion Analysis is caused by the bottleneck based on the principle dynamic traffic with deterministic queuing method (DQA).

There are three point of conclusion based on the analysis is determined queuing length, the queuing rate, Physical diagram discharging. Firstly, queuing length are in the signalized intersection is 5.98 km and unsignalized intersection is 38.01 km. Secondly, queuing rate of vehicles produced by the method DQA at signalized intersection of 10,075 pcu smaller than the maximum cumulative volume at the intersection (19,900 pcu). Finally, Physical diagram discharging rate is means when congestion occurs until queue missing (during t_2). The Physical diagram discharging rate at signalized intersection is 19.01 km/hour and unsignalized intersection is only 4.15 km / hour. From those conclusions show the queuing length will increase the queuing rate and reduce congestion at the existing speed.

Keyword: traffic jam, bottleneck, capacity traffic lane

PENDAHULUAN

Transportasi merupakan sarana penting dalam mendukung kegiatan manusia, sehingga transportasi menjadi salah satu kebutuhan primer manusia saat ini. Kebutuhan akan sangat beragam, terutama kebutuhan kemudahan dan kecepatan dalam melakukan perjalanan yang semakin meningkat setiap tahunnya. Salah satu prasarana transportasi yang sangat penting saat ini adalah jalan raya, mengingat besarnya kebutuhan manusia terhadap mobilisasi transportasi darat.

Peningkatan permintaan prasarana transportasi darat (jalan raya) memicu meningkatnya jumlah kendaraan yang berpotensi besar untuk menimbulkan berbagai masalah lalu lintas baru. Adapun masalah lalu lintas yang paling sering terjadi terutama di kota-kota besar adalah kemacetan, tundaan, kecelakaan, polusi udara akibat gas buang kendaraan, kebisingan dan masalah lalu lintas lainnya yang secara tidak langsung menimbulkan kerugian baik waktu maupun biaya.

Pokok pembahasan dalam penelitian ini adalah seringnya terjadi kemacetan pada jalan raya. Salah satu fenomena masalah transportasi saat ini disebabkan oleh rendahnya kapasitas

pada titik *bottleneck* dibandingkan segmen jalan yang masuk sebelum *bottleneck*. Pengurangan kapasitas ini dapat berasal dari bermacam-macam sumber seperti penurunan jumlah lajur lalu lintas, berkurangnya lebar bahu jalan dan adanya rambu lalu lintas. Ada dua tipe yang diakibatkan oleh kemacetan yaitu (1) *recurring bottlenecks* dan (2) *incident-provoked bottleneck*. *Recurring bottleneck* terjadi dimana kapasitas jalan raya berkurang contohnya berkurangnya jumlah lajur. *Bottleneck* dihasilkan oleh arus lalu lintas rutin yang melebihi kapasitas pada wilayah *bottleneck*.

Maksud penelitian ini adalah untuk menganalisa kemacetan lalu lintas berdasarkan prinsip dinamis lalu lintas dengan *metode deterministic queuing*. Sedangkan tujuan penelitian ini adalah mengetahui penyebab kemacetan pada suatu ruas jalan.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menemukan penyebab kemacetan yang terjadi pada ruas jalan yang terjadi *bottleneck*.

LANDASAN TEORI

1. Kategori Arus Lalu Lintas

Penambahan kendaraan tertentu pada saat arus rendah akan menyebabkan penambahan waktu tempuh yang kecil jika dibandingkan dengan penambahan kendaraan pada saat arus tinggi. Arus lalu lintas adalah jumlah kendaraan bermotor yang melewati suatu titik pada jalan per satuan waktu yang dinyatakan dalam kendaraan per jam atau smp/jam. Arus kendaraan pada fasilitas transportasi secara umum dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori (Khisty – Lall, 2003) :

- a. *Uninterrupted flow*, adalah kondisi arus lalu lintas dari hasil interaksi antara kendaraan dan antara kendaraan dengan karakteristik geometris dari sistem jalan. Selain itu, pengemudi kendaraan tidak perlu terpaksa untuk berhenti akibat faktor eksternal arus lalu lintas.
- b. *Interrupted flow*, adanya kondisi arus lalu lintas dari hasil interaksi antara kendaraan dan antara kendaraan dengan karakteristik geometris dari sistem jalan, serta elemen-elemen seperti rambu lalu lintas dan berbagai rambu pengendali lainnya yang mengakibatkan lalu lintas berhenti atau menjadi sangat lambat.

Tabel 1. Jenis – Jenis Fasilitas Transportasi

<i>Uninterrupted Flow</i>	<i>Interrupted Flow</i>
Jalan Tol	Jalan Raya Dengan Lampu Lalu Lintas
Jalan Raya Multi Lajur	Jalan Raya Tanpa Lampu Lalu Lintas Dengan Rambu Berhenti
Jalan Raya Dua Lajur	Jalan Arteri
	Jalan Pejalan Kaki, Jalan Sepeda

Sumber : Khisty – Lall, 2003

2. Karakteristik Lalu Lintas

Terdapat tiga variabel utama sebagai parameter dalam mengetahui karakteristik lalu lintas, yaitu kecepatan (*v*), volume (*q*), dan kerapatan (*k*).

a. Kapasitas

Kapasitas adalah arus lalu lintas maksimum yang dapat dipertahankan. Dimana kapasitas total adalah hasil perkalian antara kapasitas dasar (Co) yaitu kapasitas pada kondisi tertentu (ideal) dan faktor - faktor penyesuaian (F), dengan memperhitungkan pengaruh kondisi lapangan terhadap kapasitas.

Bentuk model kapasitas berdasarkan MKJI, 1997 adalah sebagai berikut :

$C = Co \times FCw \times FCsp \times FCsf \times FCcs \dots\dots\dots(2.3.)$

C = Kapasitas (smp/jam)

FCw = Faktor penyesuaian lebar jalur lalu lintas

FCsp = Faktor penyesuaian pemisahan arah (untuk jalan terbagi dan jalan satu arah, bernilai 1)

FCsf = Faktor penyesuaian hambatan samping

FCcs = Faktor penyesuaian ukuran kota

Co = Kapasitas dasar (smp/jam)

b. Volume

Volume adalah jumlah sebenarnya kendaraan yang diamati melalui suatu titik selama rentang waktu tertentu. Pada umumnya, satuan dari volume adalah kendaraan per jam. Biasanya volume (kend/jam) dikonversikan ke satuan mobil penumpang per satuan waktu. Pada Tabel 2. dapat dilihat nilai ekivalensi mobil penumpang untuk jalan perkotaan berdasarkan klasifikasi kendaraan (MKJI, 1997) .

Tabel 2. Nilai Ekivalensi Mobil Penumpang (EMP)
Untuk Jalan Perkotaan Terbagi dan Satu Arah

Tipe Jalan : Jalan Satu Arah dan Jalan Terbagi	Arah Lalu lintas per jalur (Kend/ jam	EMP	
		HV	MC
Dua Jalur Satu Arah (2/1)	0	1,3	0,40
Empat lajur terbagi (4/2D)	≥ 1050	1,2	0,25
Tiga lajur satu arah (3/1)	0	1,3	0,40
Enam lajur terbagi (6/2D)	≥ 1100	1,2	0,25

sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia,1997

Menurut MKJI (1997), klasifikasi kendaraan dibedakan menjadi Sepeda motor (MC) adalah kendaraan beroda dua atau tiga, kendaraan ringan (LV) adalah kendaraan bermotor dua as beroda dengan jarak as 2,0 – 3,0 m (termasuk mobil penumpang, minibus, pick up, dan truk kecil), untuk kendaraan ringan nilai emp sama dengan 1 dan kendaraan berat (HV) merupakan kendaraan bermotor dengan jarak as lebih dari 4 (termasuk bis, truk 2 as, truk 3 as, dan truk kombinasi).

c. Kecepatan

Kecepatan adalah salah satu ukuran dasar dari performansi lalu lintas. Kecepatan dinyatakan dengan satuan jarak per satuan waktu. Kecepatan didefinisikan sebagai suatu laju pergerakan. Pengukuran kecepatan terdiri dari *spot speed*, *running speed*, dan *journey speed*.

Pengukuran *running speed* dan *journey speed* dilakukan sepanjang suatu rute, karena begitu beragamnya kecepatan individual dalam aliran lalu lintas, maka biasanya digunakan kecepatan rata-rata, untuk mengetahui kecepatan rata-rata, dapat digunakan :

1) Kecepatan Rata-rata Ruang

Pengukuran kecepatan rata-rata waktu tempuh pada jarak / ruas tertentu.

$$V_s = \frac{1}{\sum \frac{v_i}{n}} \dots\dots\dots(1)$$

dimana

- Vs = kecepatan rata-rata ruang
- vi = kecepatan spot
- n = jumlah kendaraan yang diamati

2) Kecepatan Rata-rata Waktu

Kecepatan rata-rata waktu adalah rata-rata dari kecepatan spot. Kendaraan yang diukur dalam hal ini adalah kendaraan yang melintasi titik pengamat dalam rentang tertentu.

$$V_t = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \dots\dots\dots(2)$$

dimana

- Vt = kecepatan rata-rata waktu
- vi = kecepatan spot
- n = jumlah kendaraan yang diamati

3. Hubungan Arus, Kecepatan, dan Kerapatan

Arus, kecepatan, dan kerapatan merupakan karakteristik lalu lintas yang saling berkaitan dan dapat ditinjau secara makroskopik dan mikroskopik. Pendekatan makroskopik yaitu melihat arus lalu lintas secara keseluruhan dan pendekatan mikroskopik melihat respon dari setiap kendaraan secara terpisah – pisah. Hal ini dapat dilihat penjabarannya pada tabel 3.

Tabel 3. Kerangka Dasar Karakteristik Lalu Lintas

Karakteristik	Makroskopik	Mikroskopik
Arus	<i>Flow Rate</i>	Waktu Antara
Kecepatan	Kecepatan Rata-Rata	Kecepatan Individu
Kerapatan	Tingkat Kerapatan	<i>Distance Headway</i>

sumber : May, 1990

4. Arus Dinamik pada kondisi macet

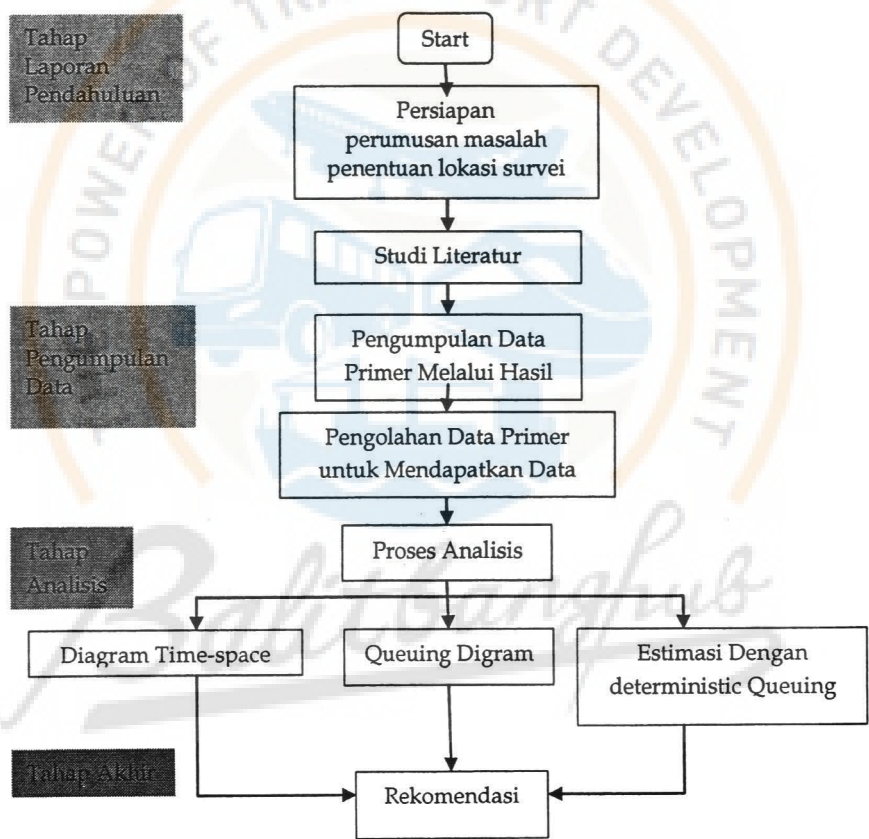
Pada lalu lintas *freeway* dengan kondisi kemacetan yang kronis, demand lalu lintas melebihi kapasitas *bottleneck*. Ada dua arus lalu lintas berbeda yang diteliti yaitu:

- a. *Approaching flow* menggambarkan demand
- b. *Queuing flow* menggambarkan lalu lintas pada kondisi macet pada *bottleneck*.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Alur Pikir/Tahapan Penelitian

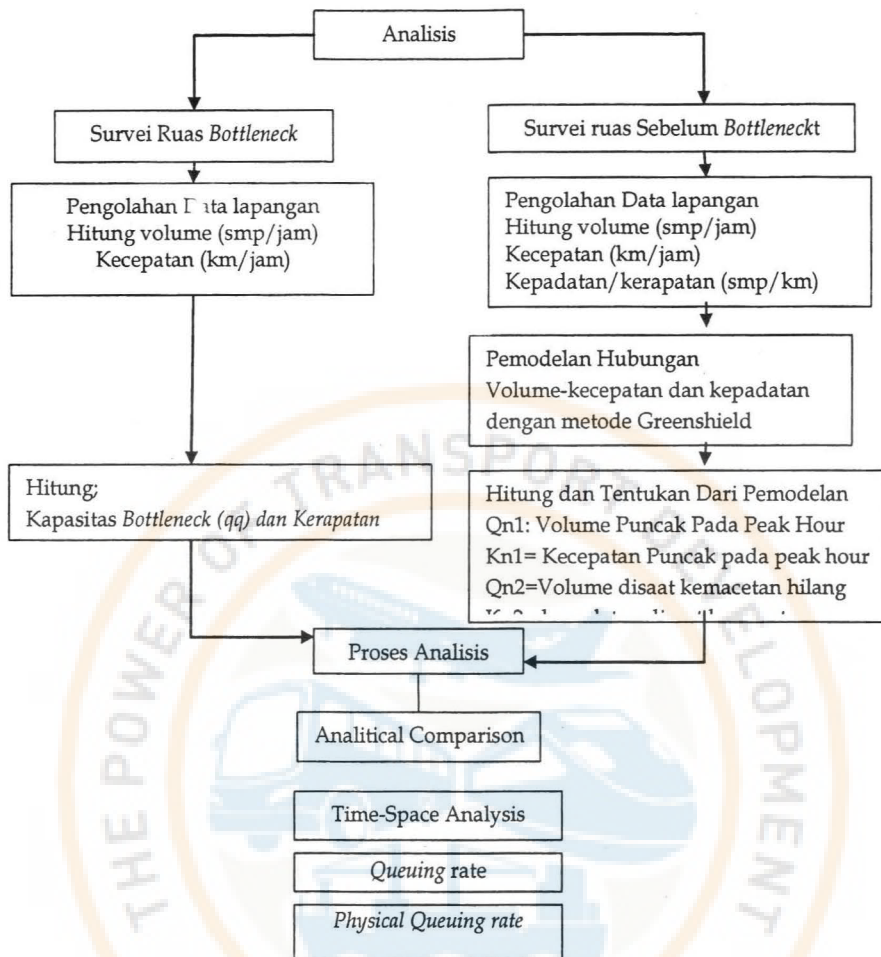
Secara diagram, alur pikir penelitian terbagi atas 4 tahap yaitu tahap pendahuluan, tahap pengumpulan data, tahap analisis dan tahap finalisasi. Untuk lebih jelasnya dapat terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Alur Pikir

2. Model Analisis

Metode analisis yang digunakan pada kajian ini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Alur Proses Analisa

Persamaan variable deskriptif analisis kemacetan rutin dengan *Deterministic Queuing Analysis*

$$\text{Queuing rate (kend/jam)} = q_{n1} - q_q \dots\dots\dots (\text{Pers 3})$$

$$\text{Physical Queuing Rate (km/jam)} = \frac{(q_{n1} - q_q)}{k_q} \dots\dots\dots .(\text{Pers 4})$$

$$\text{Jumlah kendaraan maksimum dalam antrian (kendaraan)} = (q_{n1} - q_q)t_1 \dots\dots\dots (\text{Pers 5})$$

$$\text{Discharging Rate (kend/jam)} = (q_q - q_{n2}) \dots\dots\dots (\text{Pers 6})$$

$$\text{Physical Discharging rate (km/jam)} = \frac{(q_q - q_{n2})}{k_q} \dots\dots\dots (\text{Pers 7})$$

$$\text{Jumlah kendaraan maks. Yang lepas (kend)} = (q_q - q_{n2})t_2 \dots\dots\dots (\text{Pers 8})$$

$$\text{Panjang antrian fisik maksimum (km)} = l' \max \left[\frac{q_{n1} - q_q}{k_q} \right] t_1 \dots\dots\dots (\text{Pers 9})$$

Dimana $l' \max$ = panjang antrian fisik maksimum (km)

Total kendaraan-jam dari tundaan (kend-jam) = TD (kend-jam)

$$TD = \frac{1}{2} l_{maks} t_2 (k_q - k_{n2}) \dots\dots\dots (\text{Pers 10})$$

Total kendaraan-jam dari perjalanan dalam kemacetan = TTT' (kend-jam)

$$TTT = \frac{1}{2}(Q_1 t_2 + Q_2 t_1) \dots\dots\dots (Pers 11)$$

Tundaan individual rata-rata (menit)

$$\frac{t_1}{2_{q_q}}(q_{n1} - q_q)(1 - \frac{k_{n2}}{k_q}) \dots\dots\dots (Pers 12)$$

Waktu tempuh individual rata-rata dalam kemacetan

$$\frac{t1}{2_{q_q}}(q_{n1} - q_q) \dots\dots\dots (Pers 13)$$

3. Lokasi Kajian

Pada kajian ini, pengambilan data dilakukan pada dua tempat yaitu simpang bersinyal di Jalan MT. Haryono dan tidak simpang bersinyal di Jalan Raya Cilincing. Pemilihan lokasi dilakukan pada daerah rawan kemacetan dengan volume kendaraan berat yang tinggi.

4. Waktu Kajian

Pengambilan data volume lalu lintas dan kecepatan lalu lintas dilakukan pada pukul 06.00-10.00. Pengambilan data ini untuk mengetahui volume jam puncak pagi dan kecepatan pada jam puncak tersebut.

HASIL PENELITIAN

1. Karakteristik Kendaraan

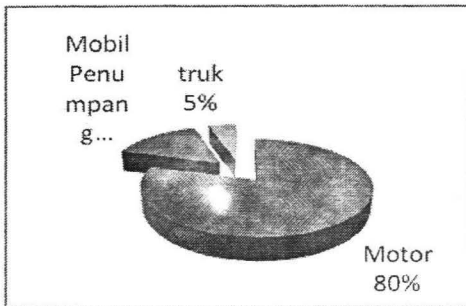
a. Jalan Raya MT Haryono

Jalan Raya MT Haryono merupakan salah satu ruas yang memiliki *level of service* (LOS) rendah karena tingginya volume lalu lintas dengan kapasitas jalan yang tersedia sangat terbatas. Hal ini menjadi penyebab utama terjadinya kemacetan pada ruas jalan tersebut. Pada kajian ini, pencatatan kecepatan dan volume kendaraan dilakukan di dua tempat yaitu di ruas jalan pada saat kemacetan dan ruas jalan mendekati kemacetan.

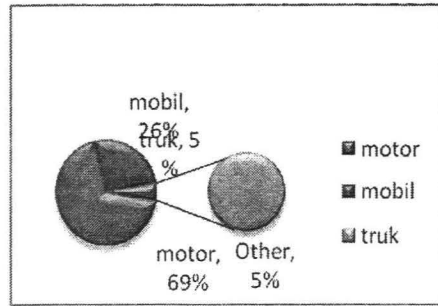
Pada ruas jalan yang macet diperoleh komposisi kendaraan seperti pada gambar 4.1 dan berikut. Dari gambar tersebut dibawah menunjukkan bahwa persentase kendaraan bermotor merupakan persentase tertinggi dari ketiga klasifikasi jenis kendaraan. Sedangkan persentase kendaraan tertendah adalah truk. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3 dan 4.

b. Jalan Raya Cilincing

Jalan Raya Cilincing merupakan salah satu akses ruas jalan menuju Pelabuhan Tanjung Priok. Pada gambar dibawah menunjukkan bahwa sepeda motor merupakan salah satu moda transportasi yang sangat diminati oleh masyarakat. Hal ini disebabkan karena tingkat efisiensi dan ekonomi sehingga masyarakat lebih memilih menggunakan sepeda motor dibandingkan menggunakan angkutan umum.



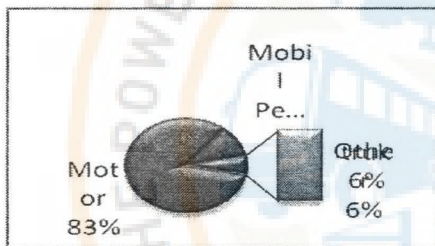
Gambar 3. Komposisi kendaraan Pada Ruas *Bottleneck* (Jalan Raya MT Haryono)



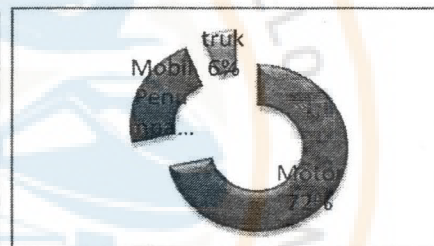
Gambar 4. Komposisi kendaraan Mendekati Ruas *Bottleneck* (Jalan Raya MT Haryono)

2. Time of Day Modelling

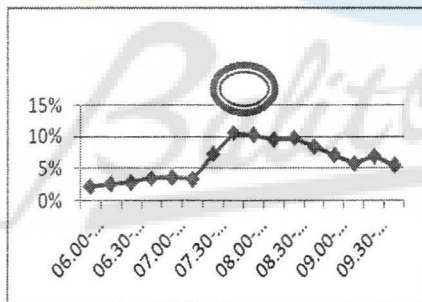
Time of day modelling bertujuan untuk menentukan jam puncak (*peak hour*) berdasarkan pencatatan volume lalu lintas dalam satuan mobil penumpang (smp). Pada ruas jalan MT Haryono diperoleh *peak hour* terjadi pada pukul 07.45-08.00 sedangkan *peak hour* pada ruas Jalan Raya Cilincing pada pukul 07.00-07.15. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6.



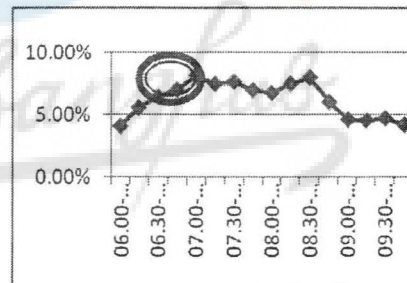
Gambar 5. Komposisi kendaraan Mendekati Ruas *Bottleneck* (Jalan Raya Cilincing)



Gambar 6. Komposisi kendaraan Mendekati Ruas *Bottleneck* (Jalan Raya Cilincing)



Gambar 7. Time of Modelling (Jalan Raya MT Haryono)



Gambar 8. Time of Modelling (Jalan Raya Cilincing)

ANALISA KEMACETAN

1. Lokasi simpang bersinyal (Jalan Raya MT Haryono)

a Perhitungan Pada Ruas Kapsitas *Bottleneck*

1) Perhitungan Kapasitas Pada Ruas *Bottleneck* dengan metode MKJI

Kapasitas adalah suatu faktor yang terpenting dalam perencanaan dan pengoperasian jalan raya. Berdasarkan data geometri ruas jalan dapat diperoleh variabel-variabel pada perhitungan kapasitas (qq) dengan metode MKJI. Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada tabel 4.

Tabel 4. Dasar Asumsi Perhitungan Kapasitas Menurut MKJI

Variabel	Asumsi	Nilai	Variabel	Asumsi	Nilai
Co	Empat lajur Terbagi	1650	FCsp		1
FCw	>empat lajur terbagi Lebar per lajur 3 meter	0,98	FCsf	Tipe jalan Kelas Hambatan samping Lebar bahu efektif	0,88
			FCcs	Ukuran kota Sangat Besar	1,04

Sumber: Analisis (2010)

2) Perhitungan Kepadatan Jam puncak ruas bottleneck

Berdasarkan data hasil survei diperoleh bahwa *peak hour* terjadi pada pukul 07.45 hingga pukul 08.00 dengan kecepatan rata-rata (kq)= 17.45 km/jam. Berdasarkan persamaan 2.1 diperoleh kepadatan puncak *bottleneck* adalah 322,18.

b. Hubungan Kepadatan-Kecepatan-Volume

Tabel 5. Hubungan Kecepatan-Kecepatan-Volume berdasarkan waktu

N0	Grafik Hubungan Us dan D		Gafik II Hub V dan us		Grafik hubungan		SMP/panjang ruas
	D	Us	us	V	D	V	
1	135,49	34,32	34,32	4650	135,490	4650	1
2	162,40	33,56	33,56	5450	162,396	5450	1,20
3	211,20	30,07	30,07	6350	211,197	6350	1,56
4	212,85	29,83	29,83	6350	212,849	6350	1,57
5	241,86	32,87	32,87	7950	241,862	7950	1,79
6	249,60	31,45	31,45	7850	249,603	7850	1,84
7	233,86	36,13	36,13	8450	233,856	8450	1,73
8	255,15	32,33	32,33	8250	255,155	8250	1,88
9	201,24	30,56	30,56	6150	201,243	6150	1,49
10	222,16	29,03	29,03	6450	222,158	6450	1,64
11	336,63	28,67	28,67	9650	336,628	9650	2,48
12	254,49	29,67	29,67	7550	254,494	7550	1,88
13	264,59	26,27	26,27	6950	264,594	6950	1,95

Sumber: Analisis (2010)

Berdasarkan tabel di atas diperoleh

Kn2	=	135,49	kend/km
qn2	=	4650	smp/jam
kn1	=	264,59	smp/km
qn1	=	6950	smp/jam

2 Time-space Diagram

Perhitungan variabel *time-space diagram* tersebut dapat mengacu pada persamaan-persamaan yang telah ada pada bab III. Untuk menghitung nilai t_0 dan t_2 menggunakan persamaan pada Bab III. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Time Space Diagram

Variabel	Nilai	Satuan	Variabel	Nilai	Satuan
qq	5622	smp/jam	wu	-23,0621	km/jam
qn1	6950	smp/jam	wd	5,206544	km/jam
qn2	4650	smp/jam	t1	1,45	jam
kn1	264,59	smp/jam	t2	3,43107	jam
kn2	135,49	smp/jam	t0	0,818062	jam
kq	322,18	smp/jam	t1-t0	0,631938	jam

Sumber: Analisis (2010)

3. Queuing Rate Diagram

Tabel 7. Queuing Rate Diagram

Variabel	Nilai	Satuan	Variabel	Nilai	Satuan
qq	5622	smp/jam	wd	5,206544	km/jam
qn1	6950	smp/jam	t1	1,45	jam
qn2	4650	smp/jam	t2	3,43107	jam
kn1	264,5939	smp/jam	t0	0,818062	jam
kn2	135,4895	smp/jam	t1-t0	0,631938	jam
kq	322,1777	smp/jam	Q'i	8151,9	Kendaraan
wu	-23,0621	km/jam	Q2	19289,48	Kendaraan

Sumber: Analisis (2010)

4. Physical Disharging Rate Diagram

Berdasarkan nilai-nilai dari variabel-variabel pada point (a), (b), (c) dan (d) maka analisis terhadap kemacetan pada suatu ruas jalan dapat dihitung. Dengan menggunakan persamaan pada bab III, variabel terhadap analisis kemacetan dengan menggunakan metode *Deterministic Queuing Analysis* dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. *Physical Discharging Rate Diagram*

Variabel		Nilai	Satuan
Queuing rate (smp/jam)	=	1328	kend/jam
Physical Queuing Rate (km/jam)	=	4,121949	smp/jam
Discharging rate (smp/jam)	=	972	km/jam
Physical Discharging Rate (km/jam)	=	3,016969	km/jam
Jumlah kendaraan maksimum dalam antrian pada peak hour (smp)	=	1925,6	kendaraan
Jumlah kendaraan maksimum yang lepas (kend)		1409,4	kendaraan
Panjang antrian maksimum, $I_{\max}$ (km)	=	5,976827	km
total kendaraan jam dari tundaan TD (smp/jam)	=	1914,199	kend/jam
Tundaan individual rata-rata	=	0,099235	menit
waktu tempuh individual rata-rata dalam kemacetan	=	0,685023	menit

Sumber: Analisis (2010)

B. Lokasi Simpang tak bersinyal (Jalan Raya Cilincing)

1. Perhitungan Pada Ruas Kapasitas *Bottleneck*

a. Perhitungan Kapasitas Pada Ruas *Bottleneck* dengan metode MKJI

Analisis kapasitas ruas jalan pada ruas bottleneck menggunakan metode MKJI berdasarkan pada data geometric jalan tersebut. Berikut tabel perhitungan kapasitas dengan metode MKJI.

Tabel 9. Dasar Asumsi Perhitungan Kapasitas Menurut MKJI

Variabel	Asumsi	Nilai	Variabel	Asumsi	Nilai
Co	Empat lajur Terbagi	1650	FCsp		1
FCw	>empat lajur terbagi Lebar per lajur meter 3	0,96	FCsf	Tipe jalan Kelas Hambatan samping Lebar bahu efektif	0,88
			FCcs	Ukuran kota Sangat Besar	1,04
			qq =		5622

Sumber: Analisis (2010)

b. Perhitungan Kepadatan puncak bottleneck

Berdasarkan data hasil survei diperoleh bahwa peak hour terjadi pada pukul 07.45 hingga pukul 08.00 dengan kecepatan rata-rata = 18,22 km/jam. Berdasarkan persamaan diperoleh kepadatan puncak *bottleneck* adalah 267,29 smp/jam.

c. Hubungan Kepadatan-Kecepatan-Volume

Volume (V), kecepatan (Us) dan kepadatan (D) merupakan tiga parameter utama yang sangat mempengaruhi karakteristik operasional arus lalu lintas. Hubungan keterkaitan ketiga parameter tersebut dapat di lihat pada tabel 10.

Tabel 10. Hubungan Kecepatan-Kecepatan-Volume

No	Grafik Hubungan Us dan D		Grafik II Hub V dan us		Grafik hubungan D dan V		SMP/panjang ruas
	D	Us	us	V	D	V	
1	97,10	36,56	36,56	3550	97,101	3550	1
1	122,33	35,56	35,56	4350	122,328	4350	1,26
2	141,46	39,23	39,23	5550	141,461	5550	1,46
3	165,28	36,00	36,00	5950	165,278	5950	1,70
4	189,46	32,46	32,46	6150	189,464	6150	1,95
5	166,22	37,60	37,60	6250	166,223	6250	1,71
6	221,00	28,73	28,73	6350	220,998	6350	2,28
7	189,40	34,06	34,06	6450	189,400	6450	1,95
8	192,20	34,60	34,60	6650	192,197	6650	1,98
9	266,88	25,67	25,67	6850	266,883	6850	2,75
10	271,94	28,87	28,87	7850	271,940	7850	2,80
11	261,36	30,80	30,80	8050	261,364	8050	2,69
12	306,35	26,93	26,93	8250	306,350	8250	3,15
13	374,06	26,60	26,60	9950	374,060	9950	3,85

Sumber: Analisis (2010)

Dari tabel di atas dapat dihitng variabel-variabel berikut :

$Kn2 = 97,10$ kend/km
 $qn2 = 3550$ smp/jam
 $kn1 = 374,06$ smp/km
 $qn1 = 9950$ smp/jam

2. Time-space Diagram

Hasil analisis pada point (b) dapat digunakan untuk menghitung waktu yang diperlukan pada saat terjadi antrian pada ruas tersebut. Perhitungan nilai waktu tersebut dapat menggunakan persamaan pada bab landasan teori. Hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Time Space Diagram

Variabel	Nilai	Satuan	Variabel	Nilai	Satuan
qq	4870	smp/jam	wu	47,57826	km/jam
qn1	9950	smp/jam	wd	7,756127	km/jam
qn2	3550	smp/jam	t1	2	jam
kn1	374,06	smp/jam	t2	9,69697	jam
kn2	97,10	smp/jam	t0	3,888672	jam
kq	267,29	smp/jam	t1-t0	-1,88867	jam

Sumber: Analisis (2010)

3. Queuing Rate Diagram

Tabel 12. Queuing Rate Diagram

Variabel	Nilai	Satuan	Variabel	Nilai	Satuan
qq	4870	smp/jam	wd	7,756127	km/jam
qn1	9950	smp/jam	t1	2	jam
qn2	3550	smp/jam	t2	9,69697	jam
kn1	374,0602	smp/jam	t0	3,888672	jam
kn2	97,10066	smp/jam	t1-t0	-1,88867	jam
kq	267,2887	smp/jam	Q'i	9740	Kendaraan
wu	47,57826	km/jam	Q2	47224,24	Kendaraan

Sumber: Analisis (2010)

4. Physical Discharging rate

Hasil perhitungan analisis kemacetan dengan menggunakan metode *Deterministic Queuing Analysis* dapat di lihat pada tabel berikut. Perhitungan ini menggunakan persamaan 3 hingga persamaan 13.

Tabel 13. Physical Discharging Rate

Variabel		Nilai	Satuan
Queuing rate (smp/jam)	=	5080	kend/jam
Physical Queuing Rate (km/jam)	=	19,00567	smp/jam
Discharging rate (smp/jam)	=	1320	km/jam
Physical Discharging Rate (km/jam)	=	4,93848	km/jam
Jumlah kendaraan maksimum dalam antrian pada peak hour (smp)	=	10160	kendaraan
Jumlah kendaraan maksimum yang lepas (kend)		2640	kendaraan
Panjang antrian maksimum, I _{max} (km)	=	38,01133	km
total kendaraan jam dari tundaan TD (smp/jam)	=	31365,21	kend/jam
Tundaan individual rata-rata	=	0,664176	menit
waktu tempuh individual rata-rata dalam kemacetan	=	4,172485	menit

Sumber: Analisis (2010)

C. Pembahasan Hasil Analisis

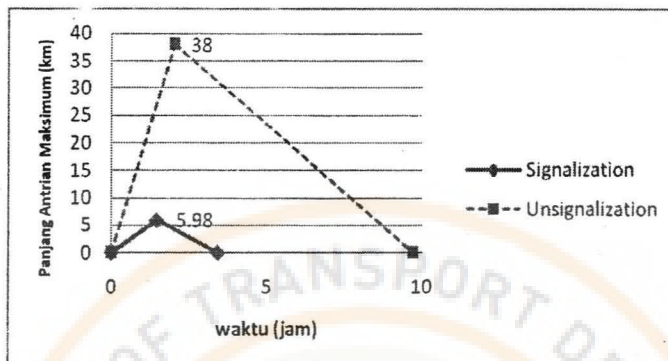
Variabel-variabel karakteristik lalu lintas diperoleh dari hasil analisis tersebut dapat dibahas pada tingkat yang lebih mikroskopis dan makroskopis. Variabel-variabel tersebut adalah:

1. Time space diagram

Dari hasil analisis didapatkan nilai dari variable t1, t0 dan t2. Dimana t1 merupakan waktu dimana terjadi panjang antrian maksimum dimana demand yang masuk dibawah kapasitas *bottleneck* (jam), t0= lamanya waktu perjalanan selama tidak ada kemacetan dari ujung antrian fisik ke *bottleneck* (jam), dan t2= waktu dimana kemacetan hilang, tidak ada sisa kendaraan dalam antrian. Tabel berikut merupakan perbandingan hasil analisis antara time space pada lokasi simpang bersinyal dan simpang tak bersinyal.

Gambar di bawah ini menunjukkan perbedaan hubungan antara panjang antrian maksimum dengan waktu pada simpang bersinyal dan simpang tak bersinyal. Hubungan

tersebut menunjukkan adanya perbedaan panjang antrian dan lamanya antrian (waktu) pada ke-dua lokasi tersebut. Dari grafik hubungan tersebut, panjang antrian pada lokasi simpang bersinyal lebih pendek jika dibanding dengan panjang antrian pada lokasi simpang tak bersinyal. Perbedaan tersebut tentunya akan memiliki pengaruh terhadap waktu dimana panjangnya antrian akan meningkatkan waktu perjalanan (*travel time*).



Gambar 9. Time Space-Diagram



Gambar 9 Time Space-Diagram

Pada lokasi signalized panjang antrian pada kondisi macet mencapai 5,98 km selama 1 jam 45 menit. Sedangkan pada lokasi simpang tak bersinyal diperoleh waktu kemacetan selama 2 jam dengan panjang antrian 38,01 km.

Terdapat beberapa faktor penyebab terjadinya kemacetan yang lebih panjang dan lebih lama pada lokasi simpang tak bersinyal. Pertama adalah tidak adanya pengaturan lalu lintas dengan kondisi lalu lintas yang sangat padat menyebabkan para pengguna jalan khususnya kendaraan bermotor tidak teratur dalam melakukan pergerakan kendaraannya yang menyebabkan semakin panjangnya kemacetan pada ruas tersebut. Faktor kedua adalah karakteristik kendaraan yang melintasi ruas tersebut didominasi oleh kendaraan berat seperti truk as3, truk as4, truk as5 dan truk as 6. Kondisi kendaraan berat dengan panjang kendaraannya menyebabkan sulitnya pada saat melakukan gerakan berbelok atau berpindah pada jalur lain. Selain itu kecepatan kendaraan berat yang sangat rendah dapat menyebabkan terganggunya jenis kendaraan lainnya. Gambar di bawah ini menunjukkan bahwa gerakan kendaraan berat dapat menyebabkan panjangnya antrian pada ruas jalan tersebut. Gambar 10 menunjukkan sebuah kendaraan berat melakukan manover yang mulai mengganggu kendaraan lainnya. Ukuran kendaraan dan beratnya muatan dari kendaran tersebut

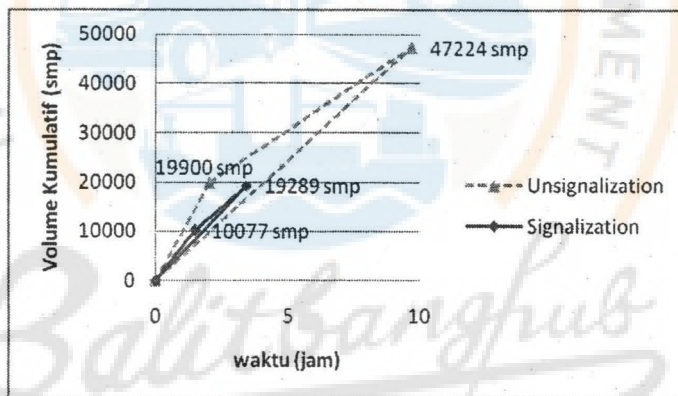
menyebabkan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan manover lebih lama yang akan menyebabkan kendaraan lainnya mengurangi kecepatan dan berdampak pada terjadinya kemacetan seperti pada gambar 11 berikut.



Gambar 11. Kondisi Kemacetan
Jalan Raya Cilincing

2. Queuing Diagram

Berdasarkan dari hasil analisis pada sub bab sebelumnya, pada kedua ruas tersebut terjadi kemacetan pada jam puncak (*peak hour*). Untuk itu perlu penggambaran volume komulatif kendaraan pada saat jam puncak dan volume kendaraan pada saat kemacetan hilang seperti pada grafik 12.



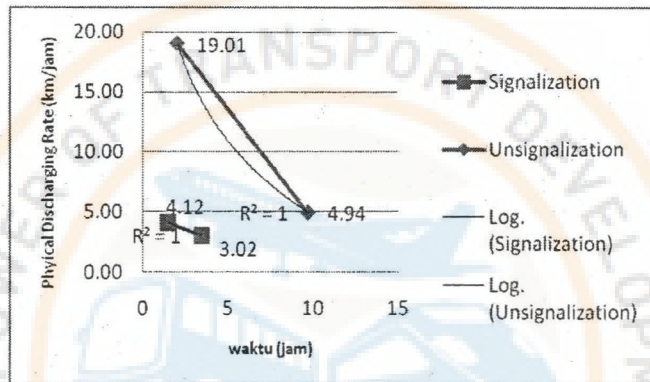
Grafik 12. Queuing Diagram

Terdapat perbedaan volume komulatif yang signifikan pada lokasi simpang bersinyal dan simpang tak bersinyal baik volume komulatif pada jam puncak maupun volume komulatif hingga pada saat kemacetan hilang. Dengan volume komulatif tersebut, maka jumlah kendaraan maksimum yang lepas pada lokasi simpang bersinyal adalah 1409 kendaraan dan pada lokasi simpang tak bersinyal adalah 2640 kendaraan. Dimana akan mengakibatkan tundaan sebesar 1914 kend/jam pada lokasi simpang bersinyal dan 3136.21 kend/jam. Besarnya volume lalu lintas pada lokasi simpang tak bersinyal disebabkan karena letak ruas jalan yang merupakan salah satu akses menuju ke Pelabuhan Tanjung Priok dimana karakteristik kendaraan di dominasi oleh kendaraan berat seperti truk dan kontainer yang merupakan kendaraan barang.

Untuk itu diperlukan suatu penanganan manajemen lalu lintas dalam rangka mengurangi tingkat kemacetan diruas jalan tersebut seperti instalasi rambu lalu lintas untuk memperlancar arus lalu lintas.

3. Physical Discharging Rate Diagram

Dari hasil analisis data pada kedua lokasi survei terlihat setiap grafik yang dihasilkan dalam physical discharging rate diagram saat kemacetan/antrian hilang (saat t2), kendaraan lepas pada kemacetan dengan kecepatan pelepasan yang paling maksimum. Kemudian seiring dengan waktu, kecepatan kendaraan yang lepas makin berkurang karena mulai terjadi antrian kembali. Gambar berikut ini mengilustrasikan *physical diagram rate* pada kedua lokasi tersebut.



Grafik 13. Physical Discharging Rate Diagram

Pada gambar di atas menunjukkan penurunan kecepatan pada saat terjadi kemacetan hingga volume kendaraan berkurang yang sangat signifikan pada lokasi simpang tak bersinyal sebesar 59%. Sedangkan pada simpang bersinyal hanya sebesar 15%. Penurunan kecepatan yang sangat signifikan tersebut menunjukkan suatu permasalahan lalu lintas yang sangat serius. Penurunan kecepatan itu juga merupakan indikator turunnya kinerja ruas jalan tersebut karena akan berdampak pada meningkatnya volume lalu lintas yang akan melebihi kapasitas jalan yang ada. Dampak yang paling penting adalah bertambahnya *travel time* yang mempengaruhi tingginya biaya terhadap transportasi.

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan kemacetan lalu lintas akibat pengaruh *bottleneck* dengan *deterministic queuing analysis* secara analisis dapat disimpulkan bahwa:

1. Panjang antrian untuk ruas jalan simpang bersinyal dan simpang tak bersinyal dengan waktu kemacetan adalah 5,98 km pada lokasi simpang bersinyal dan 38,01 km pada lokasi unsignalization.
2. Volume komulatif kendaraan maksimum yang dihasilkan dengan metode DQA pada lokasi simpang bersinyal sebesar 10.075 smp lebih kecil estimasinya jika dibandingkan dengan volume komulatif maksimum pada lokasi simpang tak bersinyal (19.900 smp).

3. *Physical discharging rate* diagram saat kemacetan/antrian hilang (saat t_2) pada simpang bersinyal adalah 19,01 sedangkan pada simpang tak bersinyal hanya 4,15 km/jam. Namun kecepatan pada saat kemacetan mulai terjadi pada simpang tak bersinyal terjadi penurunan yang sangat signifikan hingga 4,94 km/jam (59%) sedangkan pada simpang bersinyal hanya 3,02 km perjam (15%).
4. Dari ketiga kesimpulan tersebut diperoleh gambaran bahwa panjangnya antrian akan meningkatkan *queuing rate* pada saat kemacetan dan mengurangi kecepatan yang ada.

B. Rekomendasi

Berdasarkan kesimpulan hasil analisis kemacetan dengan metode *Deterministic Queuing Analysis* pada lokasi simpang bersinyal dan simpang tak bersinyal maka rekomendasi yang diberikan adalah sebagai berikut:

1. Perlu penanganan terhadap kemacetan pada simpang tak bersinyal berupa manajemen lalu lintas seperti:
 - a. Pemasangan *traffic signal* yang dapat mengatur pergerakan pada simpang tak bersinyal tersebut.
 - b. Pelebaran simpang karena banyaknya kendaraan besar untuk memberikan kemudahan bermanuver terhadap kendaraan besar tersebut.
 - c. Pembuatan pulau lalu lintas untuk memberikan ruang terhadap kendaraan yang akan berbelok kiri atau kanan.
 - d. Pengaturan waktu pergerakan kendaraan berat untuk menghindari padatnya lalu lintas pada saat jam puncak.
 - e. Pemberian *special line* untuk truk sehingga tidak mengganggu kendaraan kecil lainnya seperti mobil penumpang dan motor.
2. Kemacetan pada simpang bersinyal disebabkan karena waktu yang dibutuhkan kendaraan besar untuk berbelok lebih panjang dengan waktu hijau yang ada sehingga perlu penanganan seperti:
 - a. Pengaturan kembali waktu dari lampu lalulintasnya berdasarkan kondisi dilapangan.
 - b. Pemberian bundaran untuk memudahkan kendaraan berat pada saat berbelok kiri atau kanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum (1997), *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, Direktorat Jendral Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Khisty, C.J., dan Call, K., (2003), *Dasar-Dasar Perencanaan Transportasi*, Jilid 1, Edisi 3, Erlangga, Jakarta.
- May, (1990), *Traffic Flow Fundamentals*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
- Eko DS (2003), *Analisis Antrian Ruas Jalan Tol Tangerang-Merak Pada PT Marga Mandala Sakti*. Universitas Guna Dharma.

- Triana (2009), Analisis antrian untuk mengevaluasi system pengaturan lalu lintas (studi kasus: jl Gunung sahari raya, Jakarta), theses pascasarjana FT Univ. Atmajaya ,Jakarta
- Bastian W, Fanny J, Prieska, Junal Transport engineering, vol 124, no 3 mei/juni 1998 hal 208-212 oleh Do H Nam, PE dan Donald R.Drew, PE (Engrg. Virginia polytech Inst dan Negara Univ. Blacksburg).
- Meilayanti D (2004) Perbandingan analisa kemacetan lalu lintas rutin akibat bottleneck pada ruas jalan dengan hambatan deterministic Queuing analysis dan degan shock-wave analysis,jurusan teknik sipil-kehususan transportasi pasca sarjana bidang ilmu teknik.
- C.S.Papacostas adn P.D Prevendour, transportation engineering and planning, prentice-hati.Inc, New Jersey, 1993
- Fred L.Mannering and walter P. Khiareski, principles of highway engineering and traffic analysis john, wiley&sons, inc. 1990.
- *) Lahir di Jenepono 4 oktober 1982, Program Diploma Tiga Teknik Sipil Universitas Hasanuddin 2004, Sarjana Teknik Sipil Universitas Gajah Mada Tahun 2007, Pascasarjana Program double degree Magister Sistem dan Teknik Transportasi Universitas Gajah Mada dan Technology Engineering Asian Institute of Technology.
- **) Lahir di Bale Atu 11 November 1960, Pendidikan Teknik & Manajemen Industri Universitas Darma Agung Medan Tahun 1988, Pascasarjana Program Adiministrasi dan Kebijakan Publik Universitas Muhammadiyah Jakarta Tahun 2003, Pascasarjana Manajemen Transportasi Darat STT Trisakti Jakarta Tahun 2009