

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Arus Lalu Lintas

Menurut Direktorat Jendral Bina Marga (1997), arus lalu lintas (Q) diartikan sebagai jumlah kendaraan bermotor yang melewati satu titik pada jalan per satuan waktu, dinyatakan dalam kendaraan per jam.

Arus biasanya diukur dengan cara manual. Perhitungan dapat dilakukan terhadap kendaraan-kendaraan pada satu atau beberapa jalur gerak yang sejajar, misalnya semua kendaraan yang memasuki perpotongan jalan dari suatu jalan tertentu ataupun semua kendaraan yang memasuki perpotongan dari arah mana saja. (Hariyanto, 2004)

3.2 Satuan Mobil Penumpang

Menurut MKJI (1997), definisi dari Satuan Mobil Penumpang (SMP) adalah satuan untuk arus lalu lintas dimana arus berbagai tipe kendaraan diubah menjadi arus kendaraan ringan termasuk mobil penumpang dengan menggunakan Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP). EMP didefinisikan sebagai faktor yang menunjukkan berbagai tipe kendaraan dibandingkan kendaraan ringan sehubungan dengan pengaruh terhadap kecepatan kendaraan ringan dalam arus lalu lintas (untuk mobil penumpang dan kendaraan ringan yang sasisnya mirip, $emp = 1,0$). Besaran EMP untuk masing – masing jenis kendaraan pada ruas jalan perkotaan, dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Daftar Besaran Ekuivalensi Mobil Penumpang

Tipe Jalan	Arus Lalu Lintas Total Dua Arah (kend/jam)	Emp			
		Kendaraan Ringan (LV)	Kendaraan Berat (HV)	Sepeda Motor (MC)	
				Lebar Jalur, W_c (m)	
				≤ 6	≥ 6

Lanjutan Tabel 3.1 Daftar Besaran Ekuivalensi Mobil Penumpang

Dua Lajur Tak Terbagi (2/2UD)	0 s.d 1.800 \geq 1.800	1,0	1,3	0,5	0,4
			1,2	0,35	0,25
Empat Lajur Tak Terbagi (4/2UD)	0 s.d 3.700 \geq 3.700	1,0	1,3	0,4	
			1,2	0,25	

Sumber : Bina Marga (1997)

Tipe kendaraan yang diamati disesuaikan dengan tiga kelompok kendaraan di atas, yaitu :

1. Sepeda motor (*motor cycle/ MC*)

Kendaraan bermotor beroda dua atau tiga dengan jumlah penumpang maksimum 2 orang termasuk pengemudi. Termasuk disini adalah sepeda motor, *scooter*, dan sebagainya.

2. Kendaraan ringan (*light vehicle/LV*)

Semua jenis kendaraan bermotor beroda empat yang termasuk di dalamnya:

- a. Mobil penumpang, yaitu kendaraan bermotor beroda empat yang digunakan untuk mengangkut penumpang dengan maksimum sepuluh orang termasuk pengemudi (Sedan, Station Wagon, Jeep, Combi, Opelet, Minibus)
- b. *Pick-up*, mobil hantaran dan mikro truk, dimana kendaraan beroda empat dan dipakai untuk angkutan barang.

3. Kendaraan berat (*heavy vehicle/HV*)

Kendaraan berat diantaranya sebagai berikut ini:

- a. Mikro Bus: semua kendaraan yang digunakan untuk angkutan penumpang dengan jumlah tempat duduk 20 buah termasuk pengemudi.
- b. Bus: semua kendaraan yang digunakan untuk angkutan penumpang dengan jumlah tempat duduk sebanyak 40 buah atau lebih termasuk pengemudi.

- c. Truk: semua kendaraan angkutan bermotor beroda empat atau lebih dengan berat total lebih dari 2,5 ton. Termasuk di sini Truk 2-as, Truk 3-as, Truk Tanki, Mobil Gandeng, Semi Trailer, dan Trailer.

3.3 Kapasitas

Menurut MKJI (1997), kapasitas adalah arus lalu lintas maksimum yang dapat dipertahankan (tetap) pada suatu bagian jalan dalam kondisi tertentu. Dinyatakan dalam jumlah kendaraan dalam satu jam (kend/jam), atau dengan mempertimbangan berbagai jenis kendaraan yang melalui suatu jalan digunakan satuan mobil penumpang sebagai satuan kendaraan dalam perhitungan kapasitas maka kapasitas menggunakan satuan satuan mobil penumpang per jam atau (smp)/jam.

Persamaan dasar untuk menghitung kapasitas ruas jalan luar kota dalam MKJI (1997) adalah sebagai berikut:

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \quad (3.1)$$

dengan :

C = kapasitas ruas jalan (smp/jam)

C_o = kapasitas dasar (smp/jam)

FC_w = faktor penyesuaian lebar jalur lalu-lintas

FC_{SP} = faktor penyesuaian pemisahan arah

FC_{SF} = faktor penyesuaian akibat hambatan samping

Untuk menentukan kapasitas dasar (C_o) mengacu pada Tabel 3.2 sebagai berikut :

Tabel 3.2 Kapasitas Dasar Ruas Jalan

Tipe Jalan	Tipe Alinyemen	Kapasitas dasar (smp/jam)			Catatan
		Jalan Perkotaan	Jalan Luar Kota	Jalan Bebas Hambatan	
Empat lajur terbagi atau satu arah	Datar	1650	1900	2300	Per lajur
	Bukit		1850	2250	
	Gunung		1800	2150	
Empat lajur tak terbagi	Datar	1500	1700		Per lajur
	Bukit		1650		
	Gunung		1600		
Dua lajur tak terbagi	Datar	2900	3100	3400	Total dua arah
	Bukit		3000	3300	
	Gunung		2900	3200	

Sumber : MKJI (1997)

Menentukan faktor penyesuaian kapasitas untuk lebar jalur lalu lintas (FCw) ditetapkan dengan mengacu pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Faktor Penyesuaian Kapasitas Untuk Lebar Jalur Lalu Lintas (FCw)

Tipe Jalan	Lebar jalur lalu lintas efektif (Wc) (m)	FCw		
		Jalan Perkotaan	Jalan Luar Kota	Jalan Bebas Hambatan
6/2 D atau 4/2 D	3,00	0,92	0,91	
Per lajur	3,25	0,96	0,96	0,96
	3,50	1,00	1,00	1,00
	3,75	1,04	1,03	1,03
	4,00			
4/2 UD	3,00	0,91	0,91	
Per lajur	3,25	0,95	0,96	

Lanjutan Tabel 3.3 Faktor Penyesuaian Kapasitas Untuk Lebar Jalur Lalu Lintas (FCw)

	3,50	1,00	1,00	
	3,75	1,05	1,03	
	4,00			
2/2 UD	5,0	0,56	0,69	
Total 2 arah	6,0	0,87	0,91	
	6,5			0,96
	7,0	1,00	1,00	1,00
	7,5			1,04
	8,0	1,14	1,08	
	9,0	1,25	1,15	
	10,0	1,29	1,21	
	11,0	1,34	1,27	

Sumber : MKJI (1997)

Faktor penyesuaian kapasitas untuk pemisah arah (FCsp) dapat ditetapkan dengan Tabel 3.4

Tabel 3.4 Faktor Penyesuaian Kapasitas Untuk Pemisah Arah (Fcsp)

Pemisah arah SP %-%		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
Jalan	2/2	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
Perkotaan	4/2	1,00	0,985	0,97	0,955	0,94
Jalan Luar	2/2	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
Kota	4/2	1,00	0,975	0,95	0,925	0,9
Jalan Bebas	2/2	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
Hambatan						

Sumber : MKJI (1997)

Untuk menentukan faktor penyesuaian kapasitas untuk hambatan samping (FCsf) mengacu pada Tabel 3.5

**Tabel 3.5 Faktor Penyesuaian Kapasitas Untuk Hambatan Samping (Fcsf)
Untuk Jalan Luar Kota**

Tipe Jalan	Kelas hambatan samping	Faktor penyesuaian untuk hambatan samping untuk jalan dengan bahu (FCsf)			
		Lebar bahu efektif (Ws)			
		$\leq 0,5$	1,0	1,5	$\geq 2,0$
4/2	VL	0,99	1,00	1,01	1,03
	L	0,96	0,97	0,99	1,01
	M	0,93	0,95	0,96	0,99
	H	0,90	0,92	0,95	0,97
	VH	0,88	0,90	0,93	0,96
4/2 UD atau 2/2 UD	VL	0,97	0,99	1,00	1,02
	L	0,93	0,95	0,97	1,00
	M	0,88	0,91	0,94	0,98
	H	0,84	0,87	0,91	0,95
	VH	0,80	0,83	0,88	0,93

Sumber : MKJI (1997)

Untuk jalan perkotaan, faktor penyesuaian kapasitas untuk ukuran kota (FCcs) ditetapkan dengan mengacu pada Tabel 3.6

Tabel 3.6 Faktor Penyesuaian Kapasitas Untuk Ukuran Kota (FCcs)

Ukuran Kota (Juta penduduk)	Faktor Penyesuaian Untuk Ukuran Kota (FCcs)
$< 0,1$	0,86
0,1 – 0,5	0,90
0,5 – 1,0	0,94
1,0 – 3,0	1,00
$> 3,0$	1,04

Sumber : MKJI (1997)

3.4 Kepadatan

Kepadatan didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang jalan atau lajur dalam satuan kendaraan perkilometer. Untuk mendapatkan nilai kepadatan dapat menggunakan formula sebagai berikut :

$$k = q \times s \quad (3.2)$$

dengan :

- k = Kepadatan (smp/km)
- q = Volume kendaraan (smp/jam)
- s = Kecepatan kendaraan (km/jam)

3.5 Tundaan

Tundaan adalah waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melalui simpang apabila dibandingkan lintasan tanpa melalui suatu simpang. Tundaan terdiri dari tundaan lalu lintas dan tundaan geometrik. Tundaan rata-rata (D) kendaraan dihitung dengan menjumlahkan tundaan akibat lalulintas (DT) dan tundaan akibat geometrik (DG), sesuai dengan persamaan (3.8) sebagai berikut:

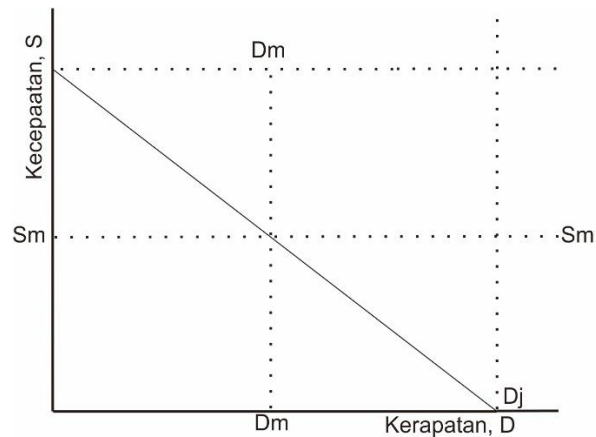
$$D = DT + DG \quad (3.3)$$

3.6 Teori Greenshields

Pada prinsipnya, pemakaian model *Greenshield* ini memerlukan pengetahuan tentang parameter kecepatan arus bebas (U_f) dan kerapatan macet (K_f) dalam menyelesaikan secara numerik hubungan kecepatan dan kerapatan. Kecepatan arus bebas relatif mudah diestimasi di lapangan dan umumnya bernilai antara kecepatan batas dengan kecepatan rencana.

Oleh karena itu, persamaan garis yang didapat tersebut adalah sebagai berikut:

$$U_s = U_f - \frac{u \cdot f}{k \cdot j} \times k \quad (\text{Hubungan antara kecepatan dan kepadatan}) \quad (3.4)$$



Gambar 3.1 Hubungan kecepatan (Us)-kepadatan (k)

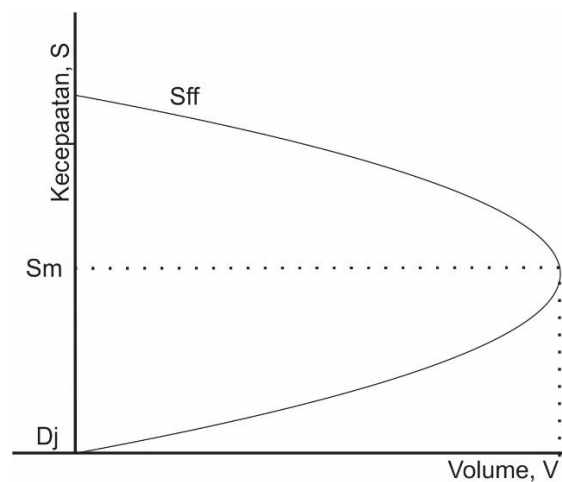
Sumber : Mcshane dkk (1998)

Selanjutnya hubungan antara volume dengan kecepatan diperoleh dengan menggunakan persamaan dasar $q = U_s \times k$ dan memasukkan nilai $k = q / U_s$ ke dalam persamaan hubungan antara kecepatan dan kerapatan, seperti di bawah ini:

$$U_s = U_f - \frac{u \times f}{k \times j} \times \frac{q}{U_s}$$

$$q = \left(\frac{u \times f}{k \times j \times U_s} \right) = U_f - U_s$$

$$q = k \times u - \frac{k \times j}{u \times f} \times u^2 \quad (\text{Hubungan antara volume dan kecepatan}) \quad (3.5)$$



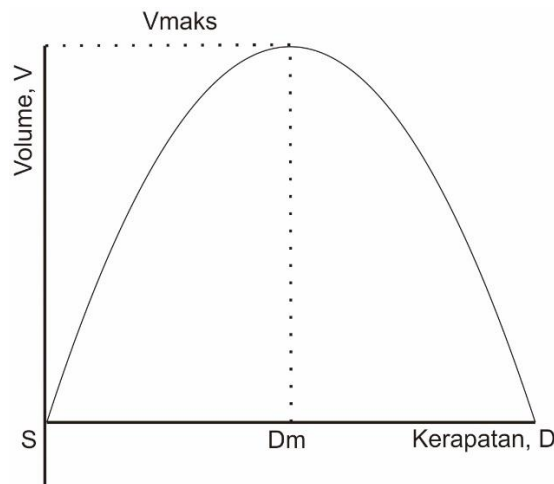
Gambar 3.2 Hubungan Volume (q)-kecepatan (Us)

Sumber : Mcshane dkk (1998)

Dari persamaan ini dapat diketahui bahwa hubungan linier antara kecepatan dan kerapatan akhirnya menghasilkan persamaan parabola untuk hubungan antara volume dan kecepatan. Untuk mendapatkan persamaan hubungan antara volume dan kerapatan, maka nilai $Us = q/k$ disubstitusikan ke dalam persamaan kecepatan dan kerapatan, sehingga menghasilkan:

$$\frac{q}{k} = Uf - \frac{Uf}{Kj} \cdot k$$

$$q = Uf \cdot k - \frac{Uf \cdot k^2}{Kj} \quad (\text{Hubungan antara volume dan kerapatan}) \quad (3.6)$$



Gambar 3.3 Hubungan Volume (q)-Kerapatan (k)

Sumber : Mcshane dkk (1998)

3.7 Analisis Gelombang Kejut (*Shock Wave Analysis*)

Pratiwi (2015), apabila suatu arus lalu lintas bergerak teratur kemudian terdapat hambatan di depannya maka pada titik ruas jalan tersebut kepadatannya akan membesar sampai pada kendaraan di belakang. Kemudian apabila jalan dibuka gelombang kepadatan bergerak dengan kecepatan tertentu, hal ini disebut dengan gelombang kejut. Kondisi ini terjadi pada ruas jalan yang memiliki hambatan seperti gelombang kejut yang terjadi di simpang yang bersinyal yang dikarenakan oleh nyala lampu merah dan hijau secara periodik atau pada pintu penutupan dan pembukaan rel kereta api yang terjadi secara periodik dalam sehari.

Beberapa akibat yang terjadi pada arus lalu lintas jalan raya dengan adanya fenomena *shock wave*, yaitu:

1. Awalnya di potongan jalan tersebut *density* (k) meningkat hingga mencapai k_j (*jam density*) bila jalan ditutup secara total.
2. Terjadi perubahan *density* yang bergerak ke belakang dengan kecepatan tertentu.
3. Demikian apabila jalan tersebut dibuka kembali, maka akan terjadi gelombang *density* bergerak dengan kecepatan tertentu pula.

Hubungan antara Kecepatan (*speed*) dan Volume (*flow*) dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$q = kj \times u - \frac{kj}{u_f} \times u^2 \quad (3.7)$$

Dimana :

q = Kapasitas atau arus kendaraan (kend/jam)

k_j = Kerapatan macet, kendaraan pada saat semua kendaraan berhenti (kend/jam)

u = Kecepatan kendaraan (km/jam)

u_f = Kecepatan kendaraan pada saat kerapatannya nol (km/jam)

Dari persamaan (3.12) maka dapat digambarkan kondisi arus lalu lintas pada saat terjadinya hambatan adalah sebagai berikut:

1. Kondisi jalan tertutup total (t_1)

Pada kondisi ini nilai kerapatan (*density*) berangsur-angsur meningkat hingga mencapai k_j yang berjarak kebelakang.

$$U_{AB} = \frac{q}{(k_j - k_1)} \quad (3.8)$$

2. Pada saat pintu dibuka (t_2)

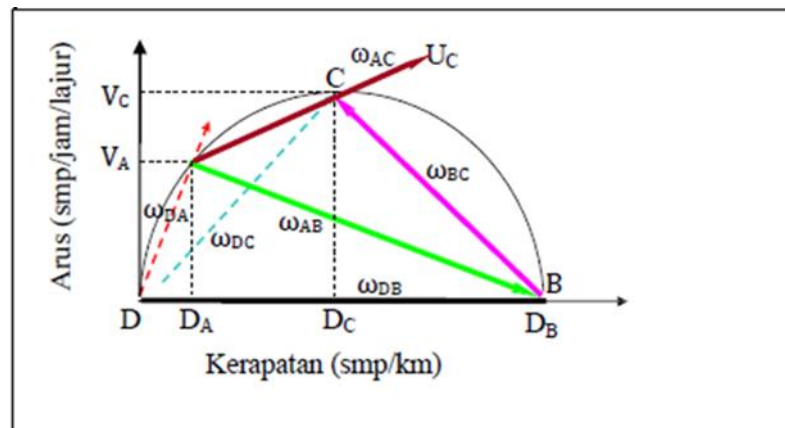
Pada kondisi ini maka arus lalu lintas mengalir pada kapasitasnya (atau mencapai k_0), Kerapatan pada kondisi macet berangsur-angsur kembali sampai pada keadaan dimana kerapatan menuju ke kondisi maksimum.

$$U_{CB} = \frac{q \text{ maks}}{(k_j - k_0)} \quad (3.9)$$

3. Pada saat arus lalu lintas kembali normal (t_3)

Pada tahap ini pergerakan k_0 dengan kecepatan U_{CB} , akan menyusul k_j yang kecepataannya U_{AB} . Setelah terkejar kerapatan saat kondisi macet akan hilang dan arus akan kembali pada kondisi normal sebelum adanya penutupan.

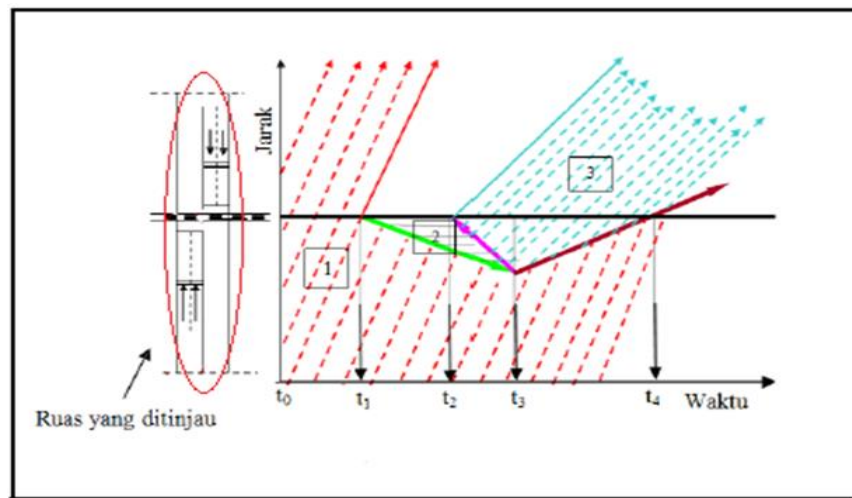
$$U_{CA} = \frac{(q \text{ maks} - q)}{(k_0 - k)} \quad (3.10)$$



Gambar 3.4 Gelombang Kejut Pada Perlintasan Sebidang

Sumber: Meshane dkk, (1998)

Selanjutnya setelah nilai U_{AB} , U_{CB} , dan U_{CA} diperoleh, maka untuk besaran tundaan (*stopped delay*) dapat diketahui menggunakan cara sebagai berikut:



Gambar 3.5 Diagram Ruang dan Waktu

Sumber: Mcshane dkk, (1998)

1. Arus lalu lintas dengan kondisi D,C,B dan A menerus terjadi sampai dengan u_{AB} dan u_{CB} mencapai t_3 Selang waktu antara t_2 sampai t_3 dapat dihitung dengan rumus :

$$t_3 - t_2 = t \times \left| \frac{u_{AB}}{u_{CB} - u_{AB}} \right| \quad (3.11)$$

Dengan r adalah lamanya waktu pintu perlintasan ditutup, maka panjang antrian maksimum akan terjadi pada waktu t_3 , persamaannya adalah:

$$Q_M = \frac{t}{3600} \times \left| \frac{u_{CB} \cdot u_{AB}}{u_{CB} - u_{AB}} \right| \quad (3.12)$$

2. Selanjutnya untuk waktu penormalan yaitu selang waktu t_2 sampai t_4 dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$t_4 - t_2 = \frac{t \times u_{AB}}{(u_{CB} - u_{AB})} \left| \frac{u_{CB}}{u_{AC}} + 1 \right| \quad (3.13)$$

3. Jumlah kendaraan yang mengalami antrian :

$$N = (t + t_{3-2}) \cdot q_A \quad (3.14)$$

4. Untuk tundaan (*stopped delay*) yang terjadi persamaannya adalah :

$$T = t + t_a \quad (3.15)$$

3.8 Konsumsi Bahan Bakar

3.8.1 ATIS India

Konsumsi bahan bakar untuk setiap jenis moda transportasi secara umum sangat dipengaruhi oleh atribut kendaraan, atribut jalan, dan faktor regional pengoperasiannya. (Watanadata et al dalam Julianto, 2007).

Penelitian yang dilakukan oleh Lamsal (2013) di India dalam *Automotive Traffic Information System* (ATIS) menentukan konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis kendaraan. Dari hasil penelitiannya, diperoleh konsumsi bahan bakar dalam satuan mililiter per jam pada kondisi kendaraan *idle* yang dapat dilihat pada Tabel 3.7

Tabel 3.7 Konsumsi Bahan Bakar Menurut ATIS

No	Jenis Kendaraan	Konsumsi BBM (ml/jam)
1	Sepeda Motor	170
2	Mobil	767
3	Truk atau Bus	833

Sumber : *Automotive Traffic Information System* (2013)

3.8.2 LAPI ITB

Konsumsi bahan bakar untuk setiap jenis moda transportasi secara umum sangat dipengaruhi oleh atribut kendaraan, atribut jalan, dan faktor regional pengoperasiannya. (Watanadata et al dalam Julianto, 2007).

Isnaeni meneliti (dalam Julianto, 2007) mengenai indikator lalu lintas dari sisi lingkungan yaitu konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang yang di dalam penelitian tersebut menghitung konsumsi bahan bakar dengan menggunakan formulasi konsumsi bahan bakar yang diajukan oleh LAPI-ITB yang telah dikonversikan ke dalam satuan mobil penumpang, sehingga konsumsi bahan bakar dapat diestimasi dengan persamaan berikut ini:

$$F_1 = A + BV + CV^2 \quad (3.16)$$

$$F_2 = EV^2 \quad (3.17)$$

$$F_3 = D \quad (3.18)$$

dengan :

F_1 = Konsumsi bahan bakar pada kecepatan konstan (liter/100 smp-km)

F_2 = Konsumsi bahan bakar pada saat akselerasi/deselerasi (liter/smp)

F_3 = Konsumsi bahan bakar pada saat *idling* (liter/ smp-jam)

V = Kecepatan kendaraan (km/jam)

$A = 170.10^{-1}$ $C = 490.10^{-5}$ $E = 770.10^{-8}$

$B = -455.10^3$ $D = 140.10^{-2}$