

SATUAN ACARA PERKULIAHAN (SAP)

Mata Kuliah : Rekayasa Lalulintas
Kode : CES 5353
Semester : V
Waktu : 1 x 2 x 50 menit
Pertemuan : 3 (tiga)

A. Tujuan Instruksional

1. Umum

Mahasiswa dapat memahami tentang tujuan ilmu rekayasa lalu lintas dan cakupannya secara umum, serta dapat memberikan solusi bagi penyelesaian permasalahan lalu lintas terutama yang berkaitan dengan kinerja/tingkat pelayanan ruas jalan, persimpangan, perparkiran, terminal, rambu dan marka jalan, serta hirarki dan fungsi jalan.

2. Khusus

Dapat memaparkan dan menganalisis dan hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas.

B. Pokok Bahasan

Penjelasan terhadap definisi kecepatan, volume, dan kepadatan.

Penjelasan tentang bentuk hubungan kecepatan dengan volume dan kepadatan, menggunakan model Greenshield, Greenberg, dan Underwood.

C. Sub Pokok Bahasan

- Penjelasan terhadap definisi kecepatan, volume, dan kepadatan;
- Penjelasan terhadap rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung kecepatan maksimum, volume maksimum, dan kepadatan maksimum;
- Penjelasan terhadap bentuk hubungan antara kecepatan dengan volume, kecepatan dengan kepadatan, dan volume dengan kepadatan dalam bentuk hubungan grafik (Greenshield, Greenberg, dan Underwood);
- Penjelasan dan pembahasan contoh soal;

D. Kegiatan Belajar Mengajar

Tahapan Kegiatan	Kegiatan Pengajaran	Kegiatan Mahasiswa	Media & Alat Peraga
Pendahuluan	1. Memberikan penyegaran sekilas tentang topik minggu yang lalu. 2. Menjelaskan cakupan materi-materi perkuliahan untuk topik ke-tiga.	Mendengarkan dan memberikan komentar	Notebook, LCD, White board.

Penyajian	1. Menjelaskan defenisi kecepatan, volume, dan kepadatan. 2. rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung kecepatan maksimum, volume maksimum, dan kepadatan maksimum. 3. Menjelaskan bentuk hubungan antara kecepatan dengan volume, kecepatan dengan kepadatan, dan volume dengan kepadatan dalam bentuk hubungan grafik (Greenshield, Greenberg, dan Underwood). 4. Menjelaskan dan membahas contoh soal.	Memperhatikan, mencatat dan memberikan komentar. Mengajukan pertanyaan.	Notebook, LCD, White board.
Penutup	1. Mengajukan pertanyaan kepada mahasiswa. 2. Memberikan kesimpulan. 3. Mengingatkan akan kewajiban mahasiswa untuk pertemuan selanjutnya.	Memberikan komentar. Mengajukan dan menjawab pertanyaan.	White board.

E. Evaluasi

1. Pertanyaan tidak langsung

Meminta kepada mahasiswa untuk memberikan komentar tentang defenisi, kecepatan, volume, dan kepadatan, serta hubungan antara ketiga variabel tersebut.

2. Pertanyaan langsung

Jelaskan bentuk hubungan antara volume dengan kecepatan, volume dengan kepadatan, dan kecepatan dengan kepadatan.

Jelaskan perbedaan antara model Greenshield, Greenberg, dan Underwood.

3. Kunci jawaban

Model Greenshield mengasumsikan hubungan antara kecepatan dan kepadatan berbentuk linier.

Model Greenberg mengasumsikan bahwa arus lalu lintas mempunyai kesamaan dengan arus fluida, dan menganalisis hubungan antara kecepatan, volume, dan kepadatan dengan mempergunakan asumsi persamaan kontinuitas dari persamaan benda cair, berbentuk logaritma.

Model Underwood mengasumsikan bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan adalah merupakan hubungan eksponensial.

RENCANA KEGIATAN BELAJAR MINGGUAN (RKBM)

Mata Kuliah : Rekayasa Lalulintas
Kode : CES 5353
Semester : V
Waktu : 1 x 2 x 50 menit
Pertemuan : 3 (Tiga)

Minggu Ke-	Topik (Pokok Bahasan)	Metode Pembelajaran	Estimasi Waktu (menit)	Media
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
3	3.1 Defenisi kecepatan, volume, kepadatan. 3.2 Bentuk hubungan antara kecepatan, volume, dan kepadatan lalulintas. 3.3 Kecepatan maksimum, volume maksimum, dan kepadatan maksimum. 3.4 Metode Greenshield, Greenberg, dan Underwood. 3.5 Pembahasan contoh soal.	Ceramah, Diskusi Kelas	100	Notebook, LCD, Whiteboard

PERTEMUAN KE - 3

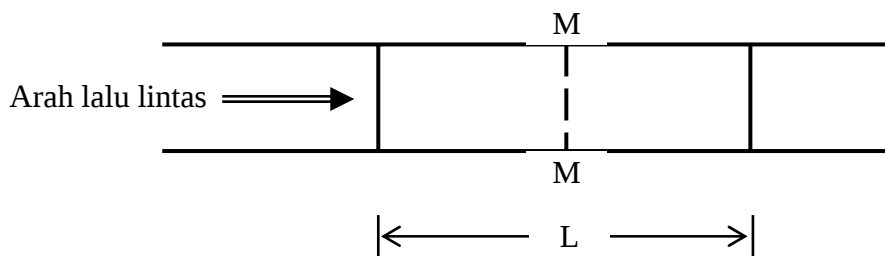
HUBUNGAN ANTARA KECEPATAN, VOLUME DAN KEPADATAN ARUS LALU LINTAS

- Variabel utama yang mempengaruhi karakteristik aliran lalulintas di jalan raya adalah : **Kecepatan, volume dan kepadatan lalu lintas.**

Kecepatan : didefinisikan sebagai jarak tempuh kendaraan pada suatu bagian jalan tertentu dalam satuan waktu tertentu (km/jam; mil/jam; m/dt, dll).

Volume : didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang melewati suatu titik pada bagian ruas jalan tertentu dalam satuan waktu tertentu (kend/jam; kend/menit; kend/detik; smp/jam, dsb).

Kepadatan : didefinisikan sebagai jumlah kendaraan per-satuan panjang jalan tertentu (kend./km).



- Jika N kendaraan yang melewati garis M - M selama waktu T, maka :

$$Q = \frac{N}{T} \quad \dots\dots\dots \text{Pers. (3.1)}$$

$$D = \frac{\text{Rata - rata Kendaraan yang bergerak sepanjang } L}{L}$$

$$\text{Rata-rata kendaraan yang bergerak sepanjang } L = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{T} \quad \dots\dots \text{Pers. (3.2)}$$

Dimana : Q = Arus Lalu lintas (kend/menit)
 N = Jumlah kendaraan
 T = Waktu tempuh (menit)
 D = Kepadatan (kend/km)

t_i = Waktu perjalanan oleh kendaraan i di sepanjang L, maka :

$$D = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{T} / L = \frac{\frac{N}{T}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i} \quad \dots\dots\dots \text{Pers (3.3)}$$

- **Greenshield** dalam penelitiannya mendapatkan hubungan linier antara kecepatan dan kepadatan sbb :

$$\bar{V}_s = \bar{V}_f - \left(\frac{\bar{V}_f}{D_j} \right) \cdot D \dots\dots\dots \text{Pers (3.4)}$$

Dimana : $\bar{V}_s$ = Kecepatan rata-rata dalam keadaan arus lalu lintas padat
 $\bar{V}_f$ = Kecepatan rata-rata dalam keadaan arus lalu lintas bebas
 D_j = Kepadatan jenuh

- Untuk mendapatkan nilai konstanta $\bar{V}_f$ dan D_j , maka persamaan (3.4) di atas dapat diubah menjadi persamaan linier, sbb. :

$Y = a + b \cdot x$ Misalnya : $y = \bar{V}_s$; $a = \bar{V}_f$; $b = - (\bar{V}_f/D_j)$; dan $x = D$.

Dari persamaan berikut didapatkan hubungan kepadatan – arus lalu lintas sbb :

$$Q = \bar{V}_f \cdot D - \frac{\bar{V}_f}{D_j} \cdot D^2 \dots\dots\dots \text{Pers (3.5)}$$

Dan hubungan antara arus lalu lintas dengan kecepatan, sbb :

$$Q = D_j \cdot \bar{V}_s - \frac{D_j}{\bar{V}_f} \cdot \bar{V}_s^2 \dots\dots\dots \text{Pers (3.6)}$$

Sehingga :

Untuk mendapatkan **kepadatan** apabila **arus lalu lintas maksimum** adalah :

$$\frac{dQ}{dD} = \bar{V}_f - \left(2x \frac{\bar{V}_f}{D_j} \cdot D \right) = 0 \longrightarrow \text{Untuk nilai maksimum}$$

$$D = D_{\max} = \frac{1}{2} D_j \dots\dots\dots \text{Pers (3.7)}$$

Untuk memperoleh **kecepatan** apabila **arus lalu lintas maximum** adalah :

$$\frac{dQ}{d\bar{V}_s} = D_j - \left(2x \frac{D_j}{\bar{V}_f} \cdot \bar{V}_s \right) = 0$$

$$\bar{V}_s = \bar{V}_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \bar{V}_f \dots\dots\dots \text{pers (3.8)}$$

$$Q_{\max} = D_{\max} \cdot \bar{V}_{\max} = \frac{D_j \cdot \bar{V}_f}{4} \dots\dots\dots \text{Pers (3.9)}$$

Hasil survey yang dilakukan oleh **Greenshields** didapatkan :

$$\bar{V}_f = 74 \text{ km / j ; dan } D_j = 121 \text{ kend / km}$$

☞ Dari persamaan (3.7) di dapatkan :

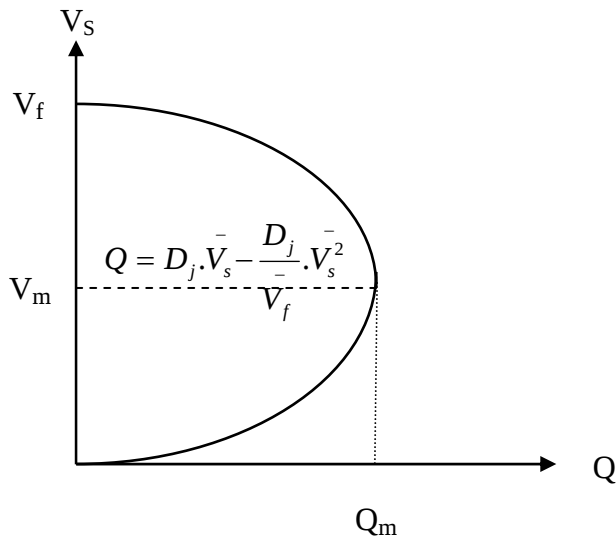
$$D_{\max} = \frac{1}{2} D_j = \frac{1}{2} \times 121 = 61,5 \text{ kend / km}$$

☞ Dari persamaan (3.8) di dapatkan :

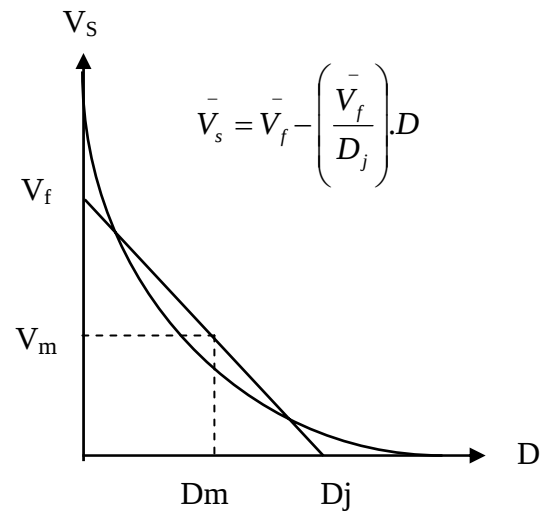
$$V_{\max} = \frac{1}{2} V_f = \frac{1}{2} 74 = 37 \text{ km / j}$$

☞ Dari persamaan (3.9) di dapatkan :

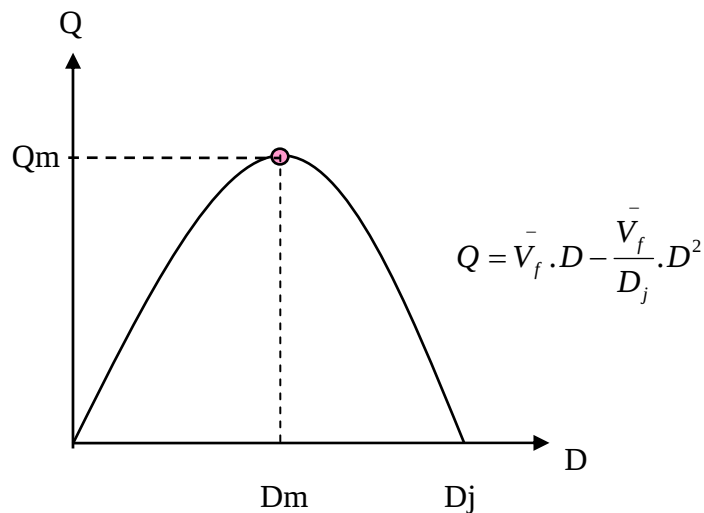
$$Q_{\max} = D_{\max} \cdot V_{\max} = 61 \times 37 = 2.239 \text{ kend / j}$$



Grafik : Hubungan Kecepatan & Volume LL



Grafik : Hub. Kecep. & Kepadatan



Grafik : Hubungan Antara Volume LL & Kepadatan

➤ Model Logaritmik Greenberg

Mengasumsikan bahwa arus lalu lintas mempunyai kesamaan dengan arus fluida. Greenberg (1959) mengadakan studi yang dilakukan diterowongan Lincoln, dan menganalisis hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan dengan mempergunakan asumsi persamaan kontinuitas dari persamaan benda cair, sbb. :

$$\frac{dV_s}{dt} = -(c/D) \cdot \frac{dD}{dX} \dots\dots\dots \text{Pers. (3.10)}$$

Dimana : V_s = Kecepatan rata-rata ruang (km/jam),
 D = Kepadatan (kend/km),
 X = Jarak tempuh (km),
 t = Waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak X (jam),
 c = Konstanta.

Dengan menggunakan asumsi di atas, **Greenberg** mendapatkan hubungan antara **kecepatan** dan **kepadatan** berbentuk logaritma dengan persamaan berikut :

$$V_s = V_m \cdot \ln (D_j/D) \dots\dots\dots \text{Pers. (3.11)}$$

Untuk mendapatkan nilai konstanta **V_m** dan **D_j** , maka persamaan (3.11) diubah menjadi persamaan linier :

$$Y = a + b \cdot x \quad \text{Sehingga : } V_s = V_m \cdot \ln (D_j) - V_m \cdot \ln (D) \dots\dots \text{Pers. (3.12)}$$

Dimana : $y = V_s$; $a = V_m \cdot \ln (D_j)$; $b = - V_m$; dan $x = \ln (D)$

Untuk mendapatkan hubungan antara **volume** dan **kepadatan**, maka $V_s = \frac{Q}{D}$ di subsitusikan ke persamaan (3.11), didapat :

$$Q = V_m \cdot D \cdot \ln (D_j/D) \dots\dots\dots \text{Pers. (3.13)}$$

Untuk hubungan antara **volume** dan **kecepatan**, maka $D = \frac{Q}{V_s}$ disubsitusikan ke dalam persamaan (3.11), didapatkan :

$$Q = V_s \cdot D_j \cdot \exp \left(- \frac{V_s}{V_m} \right) \dots\dots\dots \text{Pers. (3.14)}$$

Untuk **volume maksimum** dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_m = D_m \times V_m \dots\dots\dots \text{Pers. (3.15)}$$

Dimana : **D_m** = Kepadatan maksimum, dan **V_m** = Kecepatan maksimum.

Untuk mendapatkan nilai **D_m** dan **V_m** , maka persamaan (3.13) dan (3.14) harus diturunkan masing-masing terhadap kepadatan dan kecepatan. Selanjutnya differensialnya disamakan dengan nol.

a. Kepadatan saat volume maksimum (D_m), adalah :

$$Q = V_m \cdot D \cdot \ln [D_j/D]$$

$$\frac{dQ}{dD} = V_m \cdot \ln \left[\frac{D_j}{D} \right] + V_m \cdot D \left[\frac{-D_j/D^2}{D_j/D} \right] = V_m \cdot \ln \left[\frac{D_j}{D} \right] - V_m$$

$$\frac{V_m \cdot \ln \left[\frac{D_j}{D} \right] - V_m = 0 : V_m}{\ln \left[\frac{D_j}{D} \right] - 1 = 0 \Rightarrow \ln \left[\frac{D_j}{D} \right] = 1 \Rightarrow \ln \left[\frac{D_j}{D} \right] = \ln \cdot e \Rightarrow \left[\frac{D_j}{D} \right] = e}$$

$$\text{Maka : } D = D_m = \frac{D_j}{e} \dots\dots\dots \text{Pers. (3.16)}$$

b. Kecepatan saat volume maksimum (Vm), adalah :

$$Q = V_s \cdot D_j \cdot e^{-V_s/V_m}$$

$$\frac{dQ}{dV_s} = D_j \cdot e^{-V_s/V_m} + V_s \cdot D_j \left[\frac{-1}{V_m} \times e^{(-V_s/V_m)} \right]$$

$$= D_j \cdot e^{-V_s/V_m} - \frac{V_s}{V_m} [D_j \times e^{(-V_s/V_m)}] \Rightarrow D_j \cdot e^{-V_s/V_m} \left[1 - \frac{V_s}{V_m} \right] = 0$$

$$D_j \cdot e^{-V_s/V_m} \left[1 - \frac{V_s}{V_m} \right] = 0 : D_j \cdot e^{-V_s/V_m}$$

$$1 - \frac{V_s}{V_m} = 0, \quad \text{maka : } V_s = V_m \dots\dots\dots \text{Pers. (3.17)}$$

Dari persamaan (3.16) dan (3.17), didapatkan volume maksimum (Qm) adalah :

$$Q_m = D_m \times V_m = \frac{D_j}{e} \times V_m = \frac{D_j \cdot V_m}{e} \dots\dots\dots \text{Pers. (3.18)}$$

➤ **Model Exponential Underwood**

Underwood mengemukakan, bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan adalah merupakan hubungan eksponensial dengan bentuk persamaan, sbb. :

$$V_s = V_f \cdot \exp [- D/D_m] \dots\dots\dots \text{Pers. (3.19)}$$

Dimana : V_f = Kecepatan pada saat arus LL bebas,

D_m = Kepadatan pada saat volume maksimum.

Untuk mendapatkan nilai **Vf** dan **Dm**, maka persamaan (3.19) dapat diubah menjadi persamaan linier : $y = a + b.x$, yang selanjutnya dilogaritmakan menjadi :

$$\begin{aligned} \ln V_s &= \ln [V_f \cdot \exp (- D/D_m)] = \ln \cdot V_f + \ln \cdot \exp [- D/D_m] \\ &= \ln \cdot V_f + [- D/D_m] \end{aligned}$$

$$\ln V_s = \ln V_f - D/D_m \quad \dots\dots\dots \text{Pers. (3.20)}$$

Dengan memisalkan : $y = \ln V_s$; $a = \ln V_f$; $b = -1/D_m$; dan $x = D$

Bila persamaan $V_s = \frac{Q}{D}$ disubsitusikan ke persamaan (3.19), maka hubungan **volume** dan **kepadatan**, adalah :

$$Q = D \cdot V_f \cdot \exp [- D/D_m] \quad \dots\dots\dots \text{Pers. (3.21)}$$

Sedangkan untuk mendapatkan hubungan **volume** dan **kecepatan**, maka persamaan $D = \frac{Q}{V_s}$, disubsitusikan ke persamaan (3.19), menjadi :

$$Q = V_s \cdot D_m \cdot \ln \left[\frac{V_f}{V_s} \right] \quad \dots\dots\dots \text{Pers. (3.22)}$$

Volume maksimum untuk model Underwood juga dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$Q_m = D_m \times V_m$$

Untuk menentukan nilai D_m dan V_m , maka persamaan (3.21) dan (3.22) harus diturunkan masing-masing terhadap kepadatan dan kecepatan, dan selanjutnya hasil differensialnya disamakan dengan nol.

a. Kepadatan saat volume maksimum (D_m) , adalah :

$$Q = D \cdot V_f \cdot e^{-D/D_m}$$

$$\begin{aligned} \frac{dQ}{dD} &= V_f \cdot e^{-D/D_m} + V_f \cdot D \left[-1/D_m \times e^{-D/D_m} \right] \\ &= V_f \cdot e^{-D/D_m} - \frac{D}{D_m} \times [V_f \times e^{-D/D_m}] \\ V_f \cdot e^{-D/D_m} \cdot \left[1 - \frac{D}{D_m} \right] &= 0 \\ V_f \cdot e^{-D/D_m} \cdot \left[1 - \frac{D}{D_m} \right] &= 0 : V_f \cdot e^{-D/D_m} \\ \hline 1 - \frac{D}{D_m} &= 0 \end{aligned}$$

$$\text{Maka, } D = D_m \quad \dots\dots\dots \text{Pers. (3.23)}$$

b. Kecepatan saat volume maksimum (V_m), adalah :

$$Q = V_s \cdot D_m \cdot \ln \left[\frac{V_f}{V_s} \right]$$

$$\frac{dQ}{dV_s} = D_m \cdot \ln \left[\frac{V_f}{V_s} \right] + V_s \cdot D_m \left[\frac{-V_f / V_s^2}{V_f / V_s} \right] = D_m \cdot \ln \left[\frac{V_f}{V_s} \right] - D_m$$

$$D_m \cdot \left[\ln \left(\frac{V_f}{V_s} \right) - 1 \right] = 0$$

$$D_m \cdot \left[\ln \left(\frac{V_f}{V_s} \right) - 1 \right] = 0 : D_m$$

$$\ln \left(\frac{V_f}{V_s} \right) - 1 = 0 \implies \ln \left(\frac{V_f}{V_s} \right) = 1 \implies \ln \left(\frac{V_f}{V_s} \right) = \ln . e$$

$$\left(\frac{V_f}{V_s} \right) = e, \text{ maka : } V_s = V_m = \frac{V_f}{e} \dots\dots\dots \text{ Pers. (3.24)}$$

c. Dari persamaan (3.23) dan (3.24), didapatkan :

$$Q_m = D_m \times V_m = D_m \times \frac{V_f}{e} = \frac{[D_j \cdot V_m]}{e} \dots\dots\dots \text{ Pers. (3.25)}$$

Catatan :

A. Model Greenshield	$\bar{V}_s = \bar{V}_f - (\bar{V}_f / D_j) \cdot D$ $Q = D \cdot \bar{V}_s - (D_j / \bar{V}_f) \cdot \bar{V}_s^2$ $Q = \bar{V}_f \cdot D - (\bar{V}_f / D_j) \cdot D^2$
B. Model Greenberg	$\bar{V}_s = \bar{V}_m \cdot \ln (D_j / D)$ $Q = \bar{V}_s \cdot D_j \cdot \text{Exp} (-\bar{V}_s / \bar{V}_m)$ $Q = \bar{V}_m \cdot D \cdot \ln (D_j / D)$
C. Model Underwood	$\bar{V}_s = \bar{V}_f \cdot \text{Exp} (-D / D_m)$ $Q = V_s \cdot D_m \cdot \ln (\bar{V}_f / V_s)$ $Q = D \cdot \bar{V}_f \cdot \text{Exp} (-D / D_m)$

Contoh Soal :

Berdasarkan hasil survei arus lalulintas pada ruas jalan diperoleh data-data sebagai berikut :

Tabel 3.1 : Data Volume Lalulintas Ruas Jalan Prof Dr. Hamka
(Arah Pusat Kota menuju Tabing)

Waktu	Jumlah Kendaraan (kendaraan)					Jumlah Kendaraan (smp)				
	Kend. Ringan	Kend. Berat.	Sepeda Motor	Kend. Tak Bermotor	Total	Kend. Ringan	Kend. Berat	Sepeda. Motor	Kend. Tak Bermotor	Total
1	2	3	4	5	6= 2+3 +4+5	7= 2*1	8= 3*1,2	9= 4*0,25	10= 5*0,8	11= 7+8+9+10
06.30-06.45	93	3	110	6	212	93	3.60	27.50	4.80	128.90
06.45-07.00	176	2	121	3	302	176	2.40	30.25	2.40	211.05
07.00-07.15	204	2	197	5	408	204	2.40	49.25	4.00	259.65
07.15-07.30	197	1	231	2	431	197	1.20	57.75	1.60	257.55
07.30-07.45	162	1	128	1	292	162	1.20	32.00	0.80	196.00
07.45-08.00	128	0	131	1	260	128	0.00	32.75	0.80	161.55
08.00-08.15	165	0	123	0	288	165	0.00	30.75	0.00	195.75
08.15-08.30	146	1	119	0	266	146	1.20	29.75	0.00	176.95
08.30-08.45	151	0	81	0	232	151	0.00	20.25	0.00	171.25
08.45-09.00	170	2	71	0	243	170	2.40	17.75	0.00	190.15
11.30-11.45	142	1	59	1	203	142	1.20	14.75	0.80	158.75
11.45-12.00	179	0	67	0	246	179	0.00	16.75	0.00	195.75
12.00-12.15	163	0	94	1	258	163	0.00	23.50	0.80	187.30
12.15-12.30	198	0	104	1	303	198	0.00	26.00	0.80	224.80
12.30-12.45	179	0	122	0	301	179	0.00	30.50	0.00	209.50
12.45-13.00	155	1	118	0	274	155	1.20	29.50	0.00	185.70
13.00-13.15	181	0	79	2	262	181	0.00	19.75	1.60	202.35
13.15-13.30	198	1	101	0	300	198	1.20	25.25	0.00	224.45
13.30-13.45	185	0	137	0	322	185	0.00	34.25	0.00	219.25
13.45-14.00	193	0	120	1	314	193	0.00	30.00	0.80	223.80
15.30-15.45	129	1	136	1	267	129	1.20	34.00	0.80	165.00
15.45-16.00	142	0	125	1	268	142	0.00	31.25	0.80	174.05
16.00-16.15	167	0	102	2	271	167	0.00	25.50	1.60	194.10
16.15-16.30	152	1	122	0	275	152	1.20	30.50	0.00	183.70
16.30-16.45	184	0	161	0	345	184	0.00	40.25	0.00	224.25
16.45-17.00	211	0	138	0	349	211	0.00	34.50	0.00	245.50
17.00-17.15	197	0	162	2	361	197	0.00	40.50	1.60	239.10
17.15-17.30	209	1	170	1	381	209	1.20	42.50	0.80	253.50
17.30-17.45	191	1	158	2	352	191	1.20	39.50	1.60	233.30
17.45-18.00	199	2	173	3	377	199	2.40	43.25	2.40	247.05

Sumber : Hasil Survei

Tabel 3.2 : Data Volume Lalulintas Ruas Jalan Prof. Dr. Hamka
(Arah Tabing menuju Pusat Kota)

Waktu	Jumlah Kendaraan (kendaraan)					Jumlah Kendaraan (smp)				
	Kend. Ringan	Kend. Berat.	Sepeda Motor	Kend. Tak Bermotor	Total	Kend. Ringan	Kend. Berat	Sepeda. Motor	Kend. Tak Bermotor	Total
1	2	3	4	5	6= 2+3 +4+5	7= 2*1	8= 3*1,2	9= 4*0,25	10= 5*0,8	11=7+8+9+ 10
06.30-06.45	105	1	121	3	230	105	1.20	30.25	2.40	138.85
06.45-07.00	193	2	134	5	334	193	2.40	33.50	4.00	232.90
07.00-07.15	218	0	146	1	365	218	0.00	36.50	0.80	255.30
07.15-07.30	207	1	172	2	382	207	1.20	43.00	1.60	252.80
07.30-07.45	210	0	198	1	409	210	0.00	49.50	0.80	260.30
07.45-08.00	167	0	145	0	312	167	0.00	36.25	0.00	203.25
08.00-08.15	183	0	97	0	280	183	0.00	24.25	0.00	207.25
08.15-08.30	172	0	101	0	273	172	0.00	25.25	0.00	197.25
08.30-08.45	126	0	76	0	202	126	0.00	19.00	0.00	145.00
08.45-09.00	102	1	78	0	181	102	1.20	19.50	0.00	122.70
11.30-11.45	133	0	61	1	195	133	0.00	15.25	0.80	149.05
11.45-12.00	165	0	64	1	230	165	0.00	16.00	0.80	181.80
12.00-12.15	184	0	57	0	241	184	0.00	14.25	0.00	198.25
12.15-12.30	211	1	76	0	288	211	1.20	19.00	0.00	231.20
12.30-12.45	167	0	51	0	218	167	0.00	12.75	0.00	179.75
12.45-13.00	195	0	63	0	258	195	0.00	15.75	0.00	210.75
13.00-13.15	177	0	71	1	249	177	0.00	17.75	0.80	195.55
13.15-13.30	169	0	52	1	222	169	0.00	13.00	0.80	182.80
13.30-13.45	185	1	67	0	253	185	1.20	16.75	0.00	202.95
13.45-14.00	153	0	78	0	231	153	0.00	19.50	0.00	172.50
15.30-15.45	132	0	96	2	230	132	0.00	24.00	1.60	157.60
15.45-16.00	178	1	87	1	267	178	1.20	21.75	0.80	201.75
16.00-16.15	190	1	104	0	295	190	1.20	26.00	0.00	217.20
16.15-16.30	213	0	115	0	328	213	0.00	28.75	0.00	241.75
16.30-16.45	207	0	98	1	306	207	0.00	24.50	0.80	232.30
16.45-17.00	198	0	125	1	324	198	0.00	31.25	0.80	230.05
17.00-17.15	186	1	119	0	306	186	1.20	29.75	0.00	216.95
17.15-17.30	213	0	136	2	351	213	0.00	34.00	1.60	248.60
17.30-17.45	221	2	127	2	352	221	2.40	31.75	1.60	256.75
17.45-18.00	195	2	158	3	358	195	2.40	39.50	2.40	239.30

Sumber : Hasil Survei

Hasil perhitungan volume lalu lintas dalam satuan mobil penumpang untuk kedua arah, sebagai berikut :

Tabel 3.3 : Volume Lalu Lintas Hasil Perhitungan

Periode	Total Volume Kendaraan (Q) (smp)		
	Pusat Kota- Tabing	Tabing – Pusat Kota	Total
(1)	(2)	(3)	(4) =(2)+(3)
06.30-06.45	128.90	138.85	267.75
06.45-07.00	211.05	232.90	443.95
07.00-07.15	259.65	255.30	514.95
07.15-07.30	257.55	252.80	510.35
07.30-07.45	196.00	260.30	456.30
07.45-08.00	161.55	203.25	364.80
08.00-08.15	195.75	207.25	403.00
08.15-08.30	176.95	197.25	374.20
08.30-08.45	171.25	145.00	316.25
08.45-09.00	190.15	122.70	312.85
11.30-11.45	158.75	149.05	307.80
11.45-12.00	195.75	181.80	377.55
12.00-12.15	187.30	198.25	385.55
12.15-12.30	224.80	231.20	456.00
12.30-12.45	209.50	179.75	389.25
12.45-13.00	185.70	210.75	396.45
13.00-13.15	202.35	195.55	397.90
13.15-13.30	224.45	182.80	407.25
13.30-13.45	219.25	202.95	422.20
13.45-14.00	223.80	172.50	396.30
15.30-15.45	165.00	157.60	322.60
15.45-16.00	174.05	201.75	375.80
16.00-16.15	194.10	217.20	411.30
16.15-16.30	183.70	241.75	425.45
16.30-16.45	224.25	232.30	456.55
16.45-17.00	245.50	230.05	475.55
17.00-17.15	239.10	216.95	456.05
17.15-17.30	253.50	248.60	502.10
17.30-17.45	233.30	256.75	490.05
17.45-18.00	247.05	239.30	486.35

Selanjutnya, data kecepatan kendaraan dapat dilihat dalam tabel berikut ini :

Tabel 3.4 : Data Kecepatan Ruas Jalan Prof. Dr. Hamka dan Perhitungan *Space Mean Speed* (Arah Pusat Kota menuju Tabing)

Waktu	Jarak Tempuh (m)	Jumlah Data Pengamatan	Waktu Tempuh (detik)	Space Mean Speed	
				(m/detik)	(km/jam)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (2)/(4)	(6) = (5) *3.6
06.30-06.45	50	38	5.92	8.45	30.41
06.45-07.00	50	40	6.27	7.97	28.71
07.00-07.15	50	41	7.79	6.42	23.11
07.00-07.30	50	41	7.34	6.81	24.52
07.30-07.45	50	40	7.2	6.94	25.00
07.45-08.00	50	39	6.43	7.78	27.99
08.00-08.15	50	43	7.02	7.12	25.64
08.15-08.30	50	41	6.26	7.99	28.75
08.30-08.45	50	39	6.19	8.08	29.08
08.45-09.00	50	42	6.12	8.17	29.41
11.30-11.45	50	42	6.24	8.01	28.85
11.45-12.00	50	41	6.31	7.92	28.53
12.00-12.15	50	38	6.58	7.60	27.36
12.15-12.30	50	39	6.83	7.32	26.35
12.30-12.45	50	39	6.86	7.29	26.24
12.45-13.00	50	41	7.11	7.03	25.32
13.00-13.15	50	40	7.03	7.11	25.60
13.15-13.30	50	40	7.46	6.70	24.13
13.30-13.45	50	38	7.51	6.66	23.97
13.45-14.00	50	41	7.08	7.06	25.42
15.30-15.45	50	40	6.43	7.78	27.99
15.45-16.00	50	39	6.28	7.96	28.66
16.00-16.15	50	42	7.51	6.66	23.97
16.15-16.30	50	42	7.66	6.53	23.50
16.30-16.45	50	41	7.93	6.31	22.70
16.45-17.00	50	43	8.06	6.20	22.33
17.00-17.15	50	40	8.01	6.24	22.47
17.15-17.30	50	40	8.19	6.11	21.98
17.30-17.45	50	41	8.09	6.18	22.25
17.45-18.00	50	38	7.93	6.31	22.70

Tabel 3.5 : Data Kecepatan Ruas Jalan Prof. Dr. Hamka dan Perhitungan *Space Mean Speed*
(Arah Tabing menuju Pusat Kota)

Waktu	Jarak Tempuh (m)	Jumlah Data Pengamatan	Waktu Tempuh (detik)	Space Mean Speed	
				(m/detik)	(km/jam)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (2)/(4)	(6) = (5) *3.6
06.30-06.45	50	37	5.87	8.52	30.66
06.45-07.00	50	39	7.25	7.86	28.30
07.00-07.15	50	41	8.01	7.26	26.12
07.00-07.30	50	40	7.96	7.34	26.43
07.30-07.45	50	43	7.32	7.75	27.91
07.45-08.00	50	40	6.35	7.87	28.35
08.00-08.15	50	40	6.55	7.63	27.48
08.15-08.30	50	40	6.16	8.12	29.22
08.30-08.45	50	42	6.29	7.95	28.62
08.45-09.00	50	41	6.22	8.04	28.94
11.30-11.45	50	42	5.99	8.14	29.32
11.45-12.00	50	42	6.38	7.84	28.21
12.00-12.15	50	41	6.54	7.65	27.52
12.15-12.30	50	40	6.99	7.15	25.75
12.30-12.45	50	43	6.87	7.28	26.2
12.45-13.00	50	40	7.04	7.10	25.57
13.00-13.15	50	39	7.1	7.04	25.35
13.15-13.30	50	41	7.32	6.83	24.59
13.30-13.45	50	40	7.45	6.54	23.53
13.45-14.00	50	43	7.1	7.04	25.35
15.30-15.45	50	40	6.21	7.89	28.39
15.45-16.00	50	40	6.57	7.61	27.40
16.00-16.15	50	43	7.43	6.73	24.23
16.15-16.30	50	42	7.57	6.61	23.78
16.30-16.45	50	40	7.85	6.37	22.93
16.45-17.00	50	41	8.02	6.23	22.44
17.00-17.15	50	42	7.98	6.27	22.56
17.15-17.30	50	41	8.24	6.07	21.84
17.30-17.45	50	40	8.13	6.15	22.14
17.45-18.00	50	41	7.85	6.37	22.93

Tabel 3.6 : Data Kecepatan Ruas Jalan Prof. Dr. Hamka dan Perhitungan *Space Mean Speed* (Kedua Arah)

Waktu	Jarak Tempuh (m)	Space Mean Speed		Rata-Rata Space Mean Speed (km/jam)
		Pusat kota – Tabing	Tabing – Pusat kota	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = ((3)+(4))/2
06.30-06.45	50	30.41	30.66	30.54
06.45-07.00	50	28.71	28.3	28.51
07.00-07.15	50	23.11	26.12	24.62
07.00-07.30	50	24.52	26.43	25.48
07.30-07.45	50	25.00	27.91	26.46
07.45-08.00	50	27.99	28.35	28.17
08.00-08.15	50	25.64	27.48	26.56
08.15-08.30	50	28.75	29.22	28.99
08.30-08.45	50	29.08	28.62	28.85
08.45-09.00	50	29.41	28.94	29.18
11.30-11.45	50	28.85	29.32	29.09
11.45-12.00	50	28.53	28.21	28.37
12.00-12.15	50	27.36	27.52	27.44
12.15-12.30	50	26.35	25.75	26.05
12.30-12.45	50	26.24	26.2	26.22
12.45-13.00	50	25.32	25.57	25.45
13.00-13.15	50	25.60	25.35	25.48
13.15-13.30	50	24.13	24.59	24.36
13.30-13.45	50	23.97	23.53	23.75
13.45-14.00	50	25.42	25.35	25.39
15.30-15.45	50	27.99	28.39	28.19
15.45-16.00	50	28.66	27.4	28.03
16.00-16.15	50	23.97	24.23	24.10
16.15-16.30	50	23.50	23.78	23.64
16.30-16.45	50	22.70	22.93	22.82
16.45-17.00	50	22.33	22.44	22.39
17.00-17.15	50	22.47	22.56	22.52
17.15-17.30	50	21.98	21.84	21.91
17.30-17.45	50	22.25	22.14	22.20
17.45-18.00	50	22.70	22.93	22.82

Tabel 3.7 : Perhitungan Kepadatan (Density)

No	Space Mean Speed (Vs) (km/jam)	Volume (Q) (smp/15 mnt)	Rate Of Flow (smp/jam)	Kepadatan (D) (smp/km)
(1)	(2)	(3)	(4) = (3)/0.25	(5) = (4)/2
1	30.54	267.75	1071.00	35.07
2	28.51	443.95	1775.80	62.29
3	24.62	514.95	2059.80	83.66
4	25.48	510.35	2041.40	80.12
5	26.46	456.30	1825.20	68.98
6	28.17	364.80	1459.20	51.80
7	26.56	403.00	1612.00	60.69
8	28.99	374.20	1496.80	51.63
9	28.85	316.25	1265.00	43.85
10	29.18	312.85	1251.40	42.89
11	29.09	307.80	1231.20	42.32
12	28.37	377.55	1510.20	53.23
13	27.44	385.55	1542.20	56.20
14	26.05	456.00	1824.00	70.02
15	26.22	389.25	1557.00	59.38
16	25.45	396.45	1585.80	62.31
17	25.48	397.90	1591.60	62.46
18	24.36	407.25	1629.00	66.87
19	23.75	422.20	1688.80	71.11
20	25.39	396.30	1585.20	62.43
21	28.19	322.60	1290.40	45.78
22	28.03	375.80	1503.20	53.63
23	24.10	411.30	1645.20	68.27
24	23.64	425.45	1701.80	71.99
25	22.82	456.55	1826.20	80.03

a. Model Greenshield

Untuk analisis hubungan variabel volume dan kecepatan serta kepadatan menurut linier Greenshield digunakan persamaan (3.4) sampai dengan persamaan (3.9) sebagai berikut :

$$\bar{V}_s = \bar{V}_f - (\bar{V}_f / D_j) D$$

dimana :

$\bar{V}_s$ = Kecepatan rata-rata ruang

$\bar{V}_f$ = Kecepatan rata-rata ruang keadaan arus bebas

D_j = Kepadatan pada saat macet

Untuk mendapatkan nilai konstanta $\bar{V}_f$ dan D_j , maka persamaan (3.4) dapat diubah menjadi persamaan linier : $\bar{V}_s$

$$Y = a + bx, \text{ dengan memisalkan } y = \bar{V}_s; a = \bar{V}_f; b = -(\bar{V}_f/D_j); x = D$$

Data untuk perhitungan regresi linier ini selanjutnya disajikan pada tabel 3.8

Tabel 3.8 : Data Regresi Untuk Model Greenshield

No	Y ₁ (Vs)	X ₁ (D)	Y ₁ ²	X ₁ ²	X ₁ *Y ₁
1	2	3	4	5	6
1	30.54	35.07	932.69	1229.90	1071.04
2	28.51	62.29	812.82	3880.04	1775.89
3	24.62	83.66	606.14	6999.00	2059.71
4	25.48	80.12	649.23	6419.21	2041.46
5	26.46	68.98	700.13	4758.24	1825.21
6	28.17	51.80	793.55	2683.24	1459.21
7	26.56	60.69	705.43	3683.28	1611.93
8	28.99	51.63	840.42	2665.66	1496.75
9	28.85	43.85	832.32	1922.82	1265.07
10	29.18	42.89	851.47	1839.55	1251.53
11	29.09	42.32	846.23	1790.98	1231.09
12	28.37	53.23	804.86	2833.43	1510.14
13	27.44	56.20	752.95	3158.44	1542.13
14	26.05	70.02	678.60	4902.80	1824.02
15	26.22	59.38	687.49	3525.98	1556.94
16	25.45	62.31	647.70	3882.54	1585.79
17	25.48	62.46	649.23	3901.25	1591.48
18	24.36	66.87	593.41	4471.60	1628.95
19	23.75	71.11	564.06	5056.63	1688.86
20	25.39	62.43	644.65	3897.50	1585.10
21	28.19	45.78	794.68	2095.81	1290.54
22	28.03	53.63	785.68	2876.18	1503.25
23	24.10	68.27	580.81	4660.79	1645.31
24	23.64	71.99	558.85	5182.56	1701.84
25	22.82	80.03	520.75	6404.80	1826.28
26	22.39	84.96	501.31	7218.20	1902.25
27	22.52	81.00	507.15	6561.00	1824.12
28	21.91	91.67	480.05	8403.39	2008.49
29	22.20	88.30	492.84	7796.89	1960.26
30	22.82	85.25	520.75	7267.56	1945.41
	777,58	1938,19	20.336,27	131.969,29	49.210,04

Sumber : Hasil Perhitungan

Untuk menentukan nilai konstanta a dan koefisien regresi (b), digunakan persamaan :

$$b = \frac{n \sum x_1 y_1 - \sum x_1 \sum y_1}{n \sum x_1^2 - (\sum x_1)^2}$$

$$b = \frac{(30 \times 49.210,04) - (1.938,19 \times 777,58)}{(30 \times 131.969,29) - (1.938,19)^2}$$

$$b = -0.152$$

$$a = \bar{y}_1 - b \cdot \bar{x}_1 \quad \text{Dimana : } \bar{y}_1 = \frac{\sum y_1}{n}$$

$$a = 25.919 - (-0.152 \times 64,606) \quad \bar{x}_1 = \frac{\sum x_1}{n}$$

$$a = 35.745$$

Maka $V_f = a = 35.745$ km/jam

$$D_j = V_f / b = 35,745 / 0,152 = 235,036 \text{ smp/km}$$

Jadi persamaan regresinya :

$$\bar{V}_s = \bar{V}_f - (\bar{V}_f / D_j) \cdot D$$

$$\bar{V}_s = 35,745 - (35,745 / 235,036) \cdot D \dots\dots\dots(a)$$

Koefisien Determinasi (r^2)

$$r = \frac{n \sum x_1 y_1 - \sum x_1 \sum y_1}{\sqrt{[n \sum x_1^2 - (\sum x_1)^2][n \sum y_1^2 - (\sum y_1)^2]}}$$

$$r = \frac{(30 \times 49.210,04) - (1.938,19 \times 777,58)}{\sqrt{[30 \times 131.969,29 - (1.938,19)^2][30 \times 20.336,27 - (777,58)^2]}}$$

$$r = -0.926$$

Jadi koefisien determinasi (r^2)

$$r^2 = 0.858$$

Dari koefisien determinasi yang diperoleh dari model Greenshield disimpulkan bahwa nilai r mendekati +1, maka proses regresi yang dihasilkan adalah baik berarti korelasi liniernya kecil.

➤ Hubungan Volume Dan Kecepatan

Hubungan Volume dan Kecepatan merupakan fungsi parabolik dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$Q = D_j \cdot \bar{V}_s - (D_j / \bar{V}_f) \cdot \bar{V}_s^2$$

$$Q = 235,036 \cdot \bar{V}_s - (235,036 / 35,745) \cdot \bar{V}_s^2 \dots\dots\dots(b)$$

➤ **Hubungan Volume Dan Kepadatan**

Hubungan Volume dan Kepadatan juga merupakan fungsi parabolik dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$Q = \bar{V}_f \cdot D - (\bar{V}_f / D_j) \cdot D^2$$

$$Q = 35,745 \cdot D - (35,745/235,036) \cdot D^2 \dots\dots\dots(c)$$

Volume maksimum didapat dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} Q_{\text{maks}} &= \frac{D_j \times \bar{V}_f}{4} \\ &= (235,036 \times 35,745) / 4 \\ &= 2.100,33 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

Kecepatan pada saat Volume maksimum didapat dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} \bar{V}_s &= \bar{V}_m = \bar{V}_f / 2 \\ &= 35,745/2 \\ &= 17,87 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

b. Model Greenberg

Untuk analisis hubungan variabel volume dan kecepatan serta kepadatan menurut **Greenberg** digunakan persamaan (3.11) sampai dengan persamaan (3.18) sebagai berikut :

➤ **Hubungan Kecepatan dan Kepadatan**

Greenberg mengemukakan suatu hipotesa bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan berbentuk logaritmik dengan persamaan sebagai berikut :

$$\bar{V}_s = \bar{V}_m \cdot \text{Ln}(D_j/D)$$

dimana :

$$\bar{V}_m = \text{Kecepatan pada saat volume maksimum}$$

$$D_j = \text{Kepadatan pada saat macet}$$

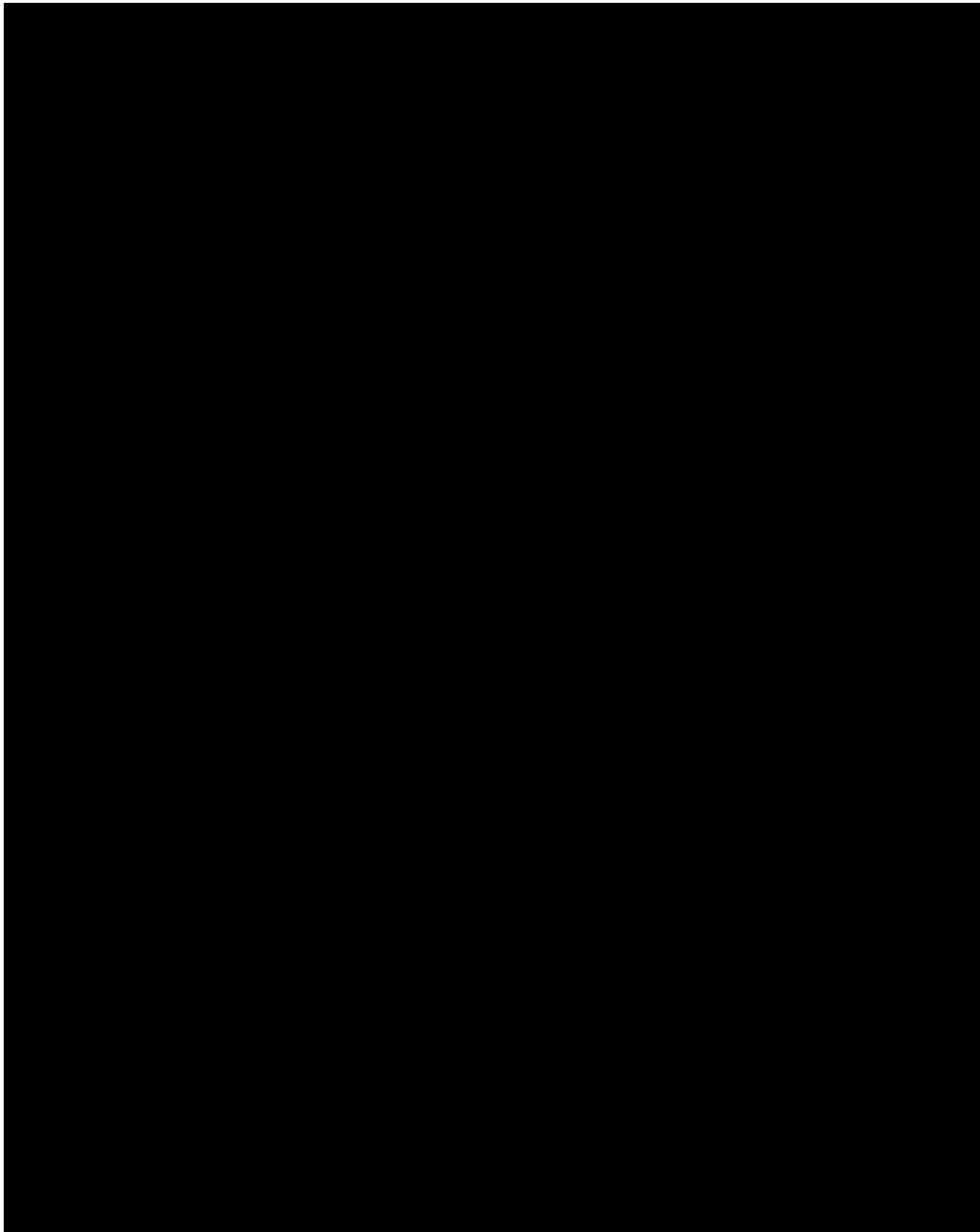
Untuk mendapatkan nilai konstanta $\bar{V}_m$ dan D_j maka persamaan (3.12) kemudian diubah menjadi persamaan linier $y = a + bx$ sebagai berikut :

$$\bar{V}_s = \bar{V}_m \cdot \text{Ln}(D_j) - \bar{V}_m \cdot \text{Ln}(D)$$

Dengan memisalkan : $y = \bar{V}_s$; $a = \bar{V}_m \cdot \text{Ln}(D_j)$; $b = -\bar{V}_m$ dan $x = \text{Ln}(D)$.

Data untuk perhitungan regresi linier ini selanjutnya disajikan pada tabel 3.9.

Tabel 3.9 : Data Regresi Linier Untuk Metode Greenberg



Berdasarkan persamaan regresi di bawah ini, diperoleh :

$$b = \frac{n \sum x_1 y_1 - \sum x_1 \sum y_1}{n \sum x_1^2 - (\sum x_1)^2}$$

$$b = \frac{(30 \times 3202,28) - (124,19 \times 777,58)}{(30 \times 515,88) - (124,19)^2}$$

$$b = -9,285$$

$$a = \bar{y}_1 - b \cdot \bar{x}_1 \quad \text{Dimana : } \bar{y}_1 = \frac{\sum y_1}{n} = 25,919$$

$$a = 25,919 - (-9,285 \times 4.14) \quad \bar{x}_1 = \frac{\sum x_1}{n} = 4,140$$

$$a = 64,357$$

Jadi :

$$a = Vf = 64,357 \text{ km/jam} \quad Dj = \exp(a / Vm) = 1.023,565 \text{ smp/jam}$$

$$b = -9,285 \quad Vm = -b = 9,285 \text{ km/jam}$$

Maka persamaan logaritmiknya didapat :

$$\bar{V}_s = \bar{V}_m \cdot \text{Ln}(D_j/D)$$

$$\bar{V}_s = 9,285 \cdot \text{Ln}(1.023,565 / D) \dots \dots \dots (d)$$

Koefisien Determinasi (r^2)

$$r = \frac{n \sum x_1 y_1 - \sum x_1 \sum y_1}{\sqrt{[n \sum x_1^2 - (\sum x_1)^2][n \sum y_1^2 - (\sum y_1)^2]}}$$

$$r = \frac{(30 \times 3202,28) - (124,19 \times 777,58)}{\sqrt{[30 \times 515,88 - (124,19)^2][30 \times 20336,27 - (777,58)^2]}}$$

$$r = -0.921$$

Jadi koefisien determinasi (r^2)

$$r^2 = 0.848$$

Koefisien determinasi yang diperoleh dari **model Greenberg** disimpulkan bahwa nilai r mendekati +1, maka proses regresi yang dihasilkan adalah baik berarti korelasi liniernya sangat erat.

➤ Hubungan Volume Dan Kecepatan

Hubungan Volume dan Kecepatan pada model Greenberg ini menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = \bar{V}_s \cdot Dj \cdot \exp(-\bar{V}_s / \bar{V}_m)$$

$$Q = \bar{V}_s \cdot 1023,565 \cdot \exp(-\bar{V}_s / 9,285) \dots \dots \dots (e)$$

➤ Hubungan Volume Dan Kepadatan

Hubungan Volume Dan Kepadatan ini berlaku persamaan sebagai berikut :

$$Q = \bar{V}_m \cdot D \cdot \text{Ln}(D_j/D)$$

$$Q = 9,285 \cdot D \cdot \text{Ln}(1023,565/D) \dots \dots \dots (f)$$

➤ **Volume Maksimum (Qmaks)**

$$\begin{aligned} Q_{maks} &= (D_j \times \bar{V}_m)/e = V_m \times D_m \\ &= (1023,565 \times 9,285)/\exp \quad (\text{catatan : Nilai } e = 2,718282) \\ &= 3.496,38 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

Kecepatan pada saat volume maksimum didapat :

$$V_s = V_m = 9,285 \text{ km/jam}$$

c. Model Underwood

Untuk mendapatkan hubungan antara variabel volume, kecepatan dan kepadatan menurut model eksponensial Underwood digunakan persamaan (3.19) sampai (3.25).

➤ **Hubungan Kecepatan Dan Kepadatan**

Underwood mengemukakan bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan adalah eksponensial dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$\bar{V}_s = \bar{V}_f \cdot \text{Exp}(-D/D_m)$$

dimana :

$$\bar{V}_f = \text{Kecepatan pada kondisi arus bebas}$$

$$D_m = \text{Kepadatan pada saat volume maksimum}$$

Untuk mendapatkan nilai konstanta $\bar{V}_f$ dan D_m persamaan diubah menjadi persamaan linier .

$$\ln(\bar{V}_s) = \ln(\bar{V}_f) - (-D/D_m)$$

$$\text{asumsi } y = a + bx$$

dengan memisahkan $y = \ln \bar{V}_s$; $a = \ln \bar{V}_f$; $b = -1/D_m$ dan $x = D$

Data untuk perhitungan regresi linier ini disajikan pada tabel 3.10

Tabel 3.10 : Data Regresi Untuk Model Underwood

No	Vs	D X ₁	ln (Vs) Y ₁	X ₁ ²	Y ₁ ²	X ₁ *Y ₁
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	30.54	35.07	3.42	1229.90	11.70	119.94
2	28.51	62.29	3.35	3880.04	11.22	208.67
3	24.62	83.66	3.20	6999.00	10.24	267.71
4	25.48	80.12	3.24	6419.21	10.50	259.59
5	26.46	68.98	3.28	4758.24	10.76	226.25
6	28.17	51.80	3.34	2683.24	11.16	173.01
7	26.56	60.69	3.28	3683.28	10.76	199.06
8	28.99	51.63	3.37	2665.66	11.36	173.99
9	28.85	43.85	3.36	1922.82	11.29	147.34

10	29.18	42.89	3.37	1839.55	11.36	144.54
11	29.09	42.32	3.37	1790.98	11.36	142.62
12	28.37	53.23	3.35	2833.43	11.22	178.32
13	27.44	56.20	3.31	3158.44	10.96	186.02
14	26.05	70.02	3.26	4902.80	10.63	228.27
15	26.22	59.38	3.27	3525.98	10.69	194.17
16	25.45	62.31	3.24	3882.54	10.50	201.88
17	25.48	62.46	3.24	3901.25	10.50	202.37
18	24.36	66.87	3.19	4471.60	10.18	213.32
19	23.75	71.11	3.17	5056.63	10.05	225.42
20	25.39	62.43	3.23	3897.50	10.43	201.65
21	28.19	45.78	3.34	2095.81	11.16	152.91
22	28.03	53.63	3.33	2876.18	11.09	178.59
23	24.10	68.27	3.18	4660.79	10.11	217.10
24	23.64	71.99	3.16	5182.56	9.99	227.49
25	22.82	80.03	3.13	6404.80	9.80	250.49
26	22.39	84.96	3.11	7218.20	9.67	264.23
27	22.52	81.00	3.11	6561.00	9.67	251.91
28	21.91	91.67	3.09	8403.39	9.55	283.26
29	22.20	88.30	3.10	7796.89	9.61	273.73
30	22.82	85.25	3.13	7267.56	9.80	266.83
	777,58	1.938,19	97,51	131.969,29	317,23	6.260,15

Dari persamaan regresi berikut, diperoleh :

$$b = \frac{n \sum x_1 y_1 - \sum x_1 \sum y_1}{n \sum x_1^2 - (\sum x_1)^2}$$

$$b = \frac{(30 \times 6260,15) - (1938,19 \times 97,51)}{(30 \times 131969,29) - (1938,19)^2}$$

$$b = -0.006$$

$$a = \bar{y}_1 - b \cdot \bar{x}_1 \quad \text{Dimana : } \bar{y}_1 = \frac{\sum y_1}{n} = 3,25$$

$$a = 3,25 - (-0.006 \times 64,606) \quad \bar{x}_1 = \frac{\sum x_1}{n} = 64,606$$

$$a = 3.63$$

Jadi :

$$a = 3.63 \quad V_f = \exp(a) = 37,77 \text{ km/jam}$$

$$b = -0.006 \quad D_m = -1/b = 169,55 \text{ smp/jam}$$

Maka persamaan eksponensialnya diperoleh :

$$\bar{V}_s = \bar{V}_f \cdot \exp(-D/D_m)$$

$$\bar{V}_s = 37,77 \times \text{Exp}(-D/169,55) \dots \dots \dots (g)$$

Koefisien Determinasi (r^2)

$$r = \frac{n \sum x_1 y_1 - \sum x_1 \sum y_1}{\sqrt{\left[n \sum x_1^2 - (\sum x_1)^2 \right] \left[n \sum y_1^2 - (\sum y_1)^2 \right]}}$$

$$r = \frac{(30 \times 6260,15) - (1938,19 \times 97,51)}{\sqrt{\left[30 \times 131969,29 - (1938,19)^2 \right] \left[30 \times 317,23 - (97,51)^2 \right]}}$$

$$r = -0.925$$

Jadi koefisien determinasi (r^2)

$$r^2 = 0.855$$

Koefisien determinasi yang diperoleh dari model Underwood disimpulkan bahwa nilai r mendekati +1, maka proses regresi yang dihasilkan adalah baik berarti korelasi liniernya baik.

➤ Hubungan Volume Dan Kecepatan

Pada hubungan volume dan kecepatan model Underwood ini berlaku persamaan sebagai berikut :

$$Q = V_s \cdot D_m \cdot \ln(\bar{V}_f / \bar{V}_s)$$

$$Q = V_s \times 169,55 \times \ln(37,77/V_s) \dots \dots \dots (h)$$

➤ Hubungan Volume Dan Kepadatan

Hubungan volume dan kepadatan berlaku persamaan berikut :

$$Q = D \cdot \bar{V}_f \cdot \exp(-D/D_m)$$

$$Q = D \cdot 37,77 \times \exp(-D/169,55) \dots \dots \dots (i)$$

Volume maksimum (Qmaks) adalah :

$$\begin{aligned} Q_{maks} &= D_m \times \bar{V}_f / \exp \\ &= 169,55 \times 37,77 / \exp \\ Q_{maks} &= 2.355,76 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

Kecepatan pada saat volume maksimum (Qmaks) didapat dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} \bar{V}_m &= \bar{V}_f / \exp \\ &= 37,77 / 2,718282 = 13.89 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

Kesimpulan perhitungan

Variabel	Satuan	Model		
		Greenshield	Greenberg	Underwood
• Volume Maksimum (Qmaks)	smp/jam	2.100,33	3.496,38	2.355,76
• Kecepatan bebas (Vf)	km/jam	35,745	64,36	37,77
• Kecepatan maksimum (Vm)	km/jam	17,87	9,285	13,89
• Kepadatan maksimum (Dj)	smp/km	235,036	1.023,565	169,55
• Koefisien determinan (r ²)	-	0,858	0,848	0,855

a. Model Greenshield

$$\bar{V}_s = 35,745 - (35,745 / 235,036) \cdot D \quad (\text{hubungan kecepatan dan kepadatan})$$

$$Q = 235,036 \cdot \bar{V}_s - (235,036/35,745) \cdot \bar{V}_s^2 \quad (\text{hubungan volume dan kecepatan})$$

$$Q = 35,745 \cdot D - (35,745/235,036) \cdot D^2 \quad (\text{hubungan volume dan kepadatan})$$

b. Model Greenberg

$$\bar{V}_s = 9,285 \times \ln(1.023,565 / D) \quad (\text{hubungan kecepatan dan kepadatan})$$

$$Q = \bar{V}_s \times 1023,565 \times \exp(-\bar{V}_s / 9,285) \quad (\text{hubungan volume dan kecepatan})$$

$$Q = 9,285 \times D \times \ln(1023,565/D) \quad (\text{hubungan volume dan kepadatan})$$

c. Model Underwood

$$\bar{V}_s = 37,77 \times \exp(-D/169,55) \quad (\text{hubungan kecepatan dan kepadatan})$$

$$Q = \bar{V}_s \times 169,55 \times \ln(37,77/\bar{V}_s) \quad (\text{hubungan volume dan kecepatan})$$

$$Q = D \times 37,77 \times \exp(-D/169,55) \quad (\text{hubungan volume dan kepadatan})$$

Langkah selanjutnya dilakukan perhitungan nilai Vs dan Q untuk melihat hubungan antara kecepatan dengan kepadatan, volume dengan kecepatan, serta volume dengan kepadatan, sebagaimana terlihat dalam Tabel 3.11 s.d 3.13 di bawah ini.

Tabel 3.11 : Hubungan Antara Kecepatan dan Kepadatan

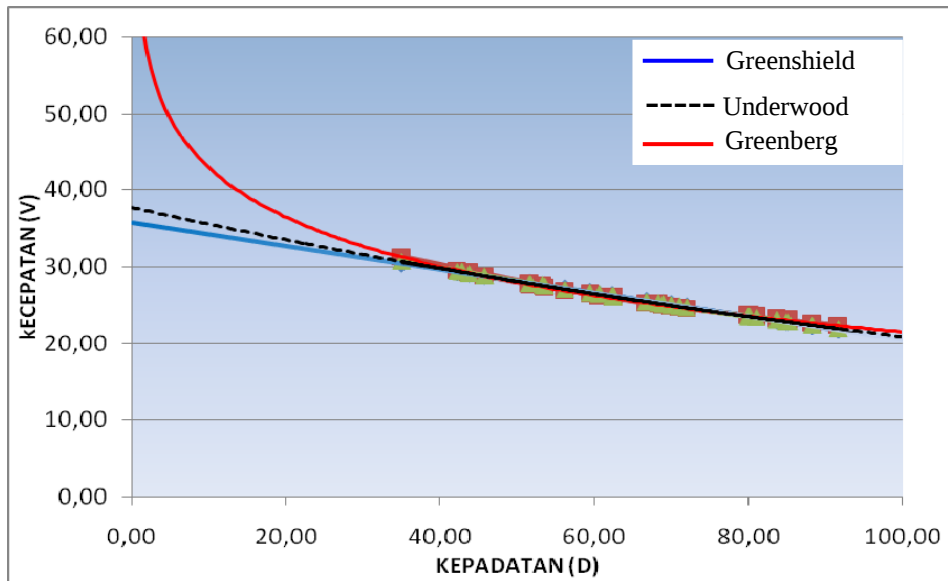
Greenshield		Greenberg		Underwood	
D	Vs	D	Vs	D	Vs
35,07	30,41	35,07	31,32	35,07	30,71
62,29	26,27	62,29	25,99	62,29	26,16
83,66	23,02	83,66	23,25	83,66	23,06
80,12	23,56	80,12	23,65	80,12	23,55
68,98	25,25	68,98	25,04	68,98	25,15
51,80	27,87	51,80	27,70	51,80	27,83
60,69	26,52	60,69	26,23	60,69	26,41
51,63	27,89	51,63	27,73	51,63	27,85
43,85	29,08	43,85	29,25	43,85	29,16
42,89	29,22	42,89	29,46	42,89	29,33
42,32	29,31	42,32	29,58	42,32	29,43
53,23	27,65	53,23	27,45	53,23	27,59
56,20	27,20	56,20	26,95	56,20	27,11
70,02	25,10	70,02	24,90	70,02	24,99
59,38	26,71	59,38	26,44	59,38	26,61
62,31	26,27	62,31	25,99	62,31	26,15
62,46	26,25	62,46	25,97	62,46	26,13
66,87	25,58	66,87	25,33	66,87	25,46
71,11	24,93	71,11	24,76	71,11	24,83
62,43	26,25	62,43	25,97	62,43	26,14
45,78	28,78	45,78	28,85	45,78	28,83
53,63	27,59	53,63	27,38	53,63	27,53
68,27	25,36	68,27	25,14	68,27	25,25
71,99	24,80	71,99	24,65	71,99	24,70
80,03	23,57	80,03	23,66	80,03	23,56
84,96	22,82	84,96	23,11	84,96	22,88
81,00	23,43	81,00	23,55	81,00	23,42
91,67	21,80	91,67	22,40	91,67	22,00
88,30	22,32	88,30	22,75	88,30	22,44
85,25	22,78	85,25	23,08	85,25	22,84

Tabel 3.12 : Hubungan Antara Kecepatan dan Volume

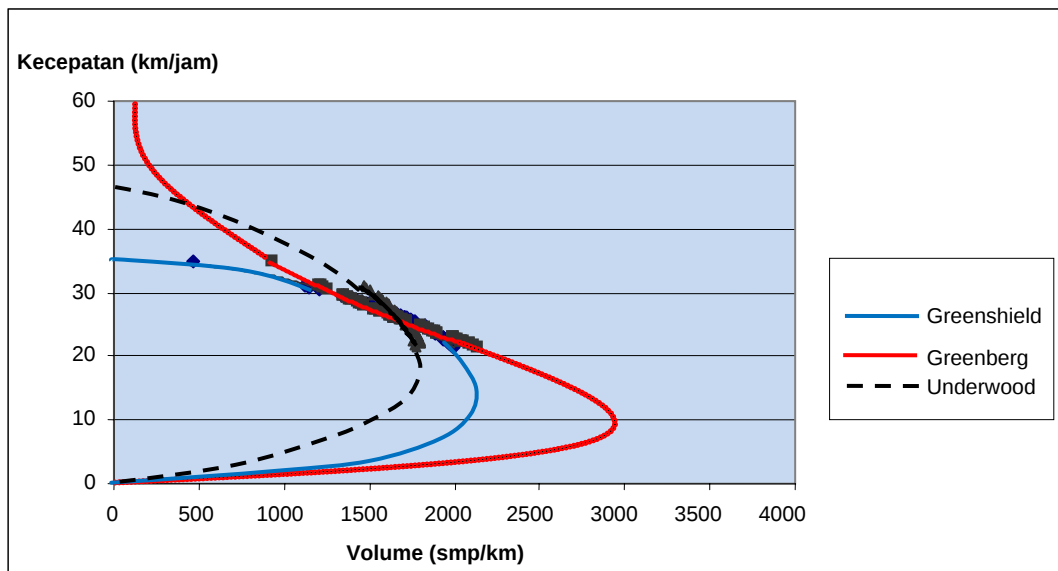
Greenshield		Greenberg		Underwood	
Vs	Q	Vs	Q	Vs	Q
30,54	1045,22	30,54	1165,50	30,54	1100,22
28,51	1356,30	28,51	1353,92	28,51	1359,58
24,62	1800,97	24,62	1777,60	24,62	1786,43
25,48	1719,80	25,48	1676,95	25,48	1700,50
26,46	1615,44	26,46	1567,01	26,46	1596,59
28,17	1403,10	28,17	1387,67	28,17	1400,66
26,56	1604,08	26,56	1556,08	26,56	1585,63
28,99	1287,63	28,99	1307,35	28,99	1300,40
28,85	1307,97	28,85	1320,80	28,85	1317,80
29,18	1259,62	29,18	1289,26	29,18	1276,60
29,09	1272,95	29,09	1297,81	29,09	1287,90
28,37	1375,75	28,37	1367,74	28,37	1376,58
27,44	1498,45	27,44	1462,27	27,44	1486,52
26,05	1660,64	26,05	1612,38	26,05	1640,82
26,22	1642,16	26,22	1593,45	26,22	1622,61
25,45	1722,79	25,45	1680,39	25,45	1703,58
25,48	1719,80	25,48	1676,95	25,48	1700,50
24,36	1823,60	24,36	1808,77	24,36	1811,41
23,75	1873,19	23,75	1883,22	23,75	1868,17
25,39	1728,75	25,39	1687,30	25,39	1709,72
28,19	1400,39	28,19	1385,66	28,19	1398,27
28,03	1421,93	28,03	1401,75	28,03	1417,38
24,10	1845,34	24,10	1840,28	24,10	1835,92
23,64	1881,62	23,64	1896,84	23,64	1878,12
22,82	1939,39	22,82	2000,11	22,82	1949,57
22,39	1966,15	22,39	2055,44	22,39	1985,05
22,52	1958,32	22,52	2038,63	22,52	1974,47
21,91	1993,15	21,91	2118,09	21,91	2023,00
22,20	1977,20	22,20	2080,13	22,20	2000,28
22,82	1939,39	22,82	2000,11	22,82	1949,57

Tabel 3.13 : Hubungan Antara Volume dan Kepadatan

Greenshield		Greenberg		Underwood	
D	Q	D	Q	D	Q
35,07	1066,53	35,07	1098,56	35,07	1077,09
62,29	1636,47	62,29	1618,98	62,29	1629,34
83,66	1926,00	83,66	1945,29	83,66	1929,18
80,12	1887,64	80,12	1895,14	80,12	1886,53
68,98	1742,04	68,98	1727,52	68,98	1734,53
51,80	1443,52	51,80	1435,03	51,80	1441,43
60,69	1609,20	60,69	1592,06	60,69	1602,54
51,63	1440,11	51,63	1431,89	51,63	1438,14
43,85	1274,99	43,85	1282,62	43,85	1278,78
42,89	1253,34	42,89	1263,36	42,89	1257,89
42,32	1240,35	42,32	1251,83	42,32	1245,35
53,23	1471,79	53,23	1461,19	53,23	1468,78
56,20	1528,52	56,20	1514,38	56,20	1523,81
70,02	1757,23	70,02	1743,84	70,02	1749,91
59,38	1586,30	59,38	1569,72	59,38	1580,11
62,31	1636,80	62,31	1619,31	62,31	1629,67
62,46	1639,32	62,46	1621,82	62,46	1632,15
66,87	1710,21	66,87	1693,97	66,87	1702,53
71,11	1772,80	71,11	1760,78	71,11	1765,76
62,43	1638,82	62,43	1621,32	62,43	1631,66
45,78	1317,67	45,78	1320,77	45,78	1319,96
53,63	1479,59	53,63	1468,44	53,63	1476,33
68,27	1731,48	68,27	1716,30	68,27	1723,88
71,99	1785,10	71,99	1774,35	71,99	1778,36
80,03	1886,61	80,03	1893,84	80,03	1885,41
84,96	1939,13	84,96	1963,35	84,96	1944,20
81,00	1897,53	81,00	1907,74	81,00	1897,38
91,67	1998,73	91,67	2053,71	91,67	2016,35
88,30	1970,51	88,30	2008,92	88,30	1981,21
85,25	1941,99	85,25	1967,36	85,25	1947,50



Grafik Hubungan Antara Kecepatan dan Kepadatan



Grafik Hubungan Volume Dan Kecepatan

