

625. 704
1110
P 21



**PENGARUH PENYEMPITAN JALAN TERHADAP
KARAKTERISTIK LALULINTAS**
(Studi Kasus Pada Ruas Jalan Kota Demak – Kudus, km.5)

TESIS

**Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil**

Oleh :

**Yupiter Indrajaya
L.4A.000.043**

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2002**

**PENGARUH PENYEMPITAN TERHADAP
KARAKTERISTIK LALULINTAS**
(Studi Kasus Pada Ruas Jalan Kota Demak – Kudus, km.5)

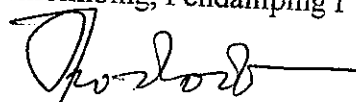
Disusun Oleh :

Yupiter Indrajaya
NIM : L.4A.000.043

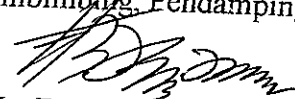
Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tanggal:
29 Agustus 2002

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Pembimbing, Pendamping I

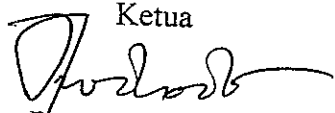
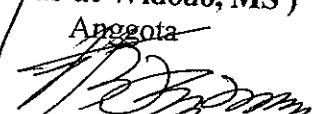
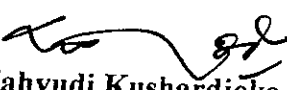

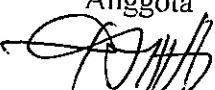

(Ir. Das'at Widodo, MS)

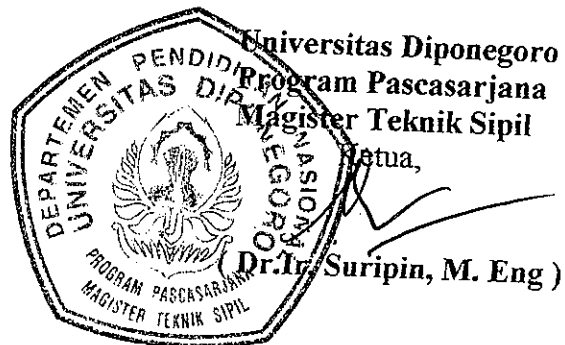
Pembimbing, Pendamping II


(Dr. Ir. Bambang Riyanto, DEA)

Semarang, Agustus 2002

Tim Penguji :

1. Ketua

(Ir. Das'at Widodo, MS)
2. Anggota

(Dr. Ir. Bambang Riyanto, DEA)
3. Anggota

(Ir. Wahyudi Kushardjoko, MT)
4. Anggota

(Ir. Kami Hari Basuki, MT)
5. Anggota

(Ir. Eko Mujihartono, MSP)



- "Jika Allah menimpakan suatu kemudharatan kepadamu, maka tidak ada yang menghilangkannya melainkan Dia sendiri. Dan jika Dia mendatangkan kebaikan kepadamu, maka Dia Maha Kuasa atas tiap-tiap sesuatu."

(Q.S. AL-AN'AAM : 6; 17)

- "Adapun manusia apabila Tuhannya mengujinya lalu dimuliakannya dan diberikan-Nya kesenangan, maka dia berkata "Tuhan telah memuliakanku."

(Q.S. AL-FAJR : 89; 15)

- "Adapun apabila Tuhannya, mengujinya lalu membatasi rizkinya, maka dia berkata "Tuhan telah menghinaku."

(Q.S. AL-FAJR : 89; 16)

*Kupersembahkan ini untuk:
Yang tersayang.....*

- Papa Ir. M. Idrus Nasrun, Mama Ratmaja, Spd
- Bapak Hendik Suwardi, Spd, Ibu Rosilahi Handayani, Spd
- Adik-adik, Saudara-saudara, dan ponakan semua.

Dan yang tercinta.....

- Istriku : dr. Hartin Nita Wulansari
- Anakku : Dandi Ilham Anindya

ABSTRAK

Pengaruh Penyempitan Jalan Terhadap Karakteristik Lalulintas (Studi kasus pada ruas jalan Kota Demak-Kudus Road, Km. 5)

Kondisi penyempitan jalan dapat terjadi pada saat memasuki jembatan, terjadinya suatu kecelakaan, pada saat terjadi perbaikan jalan. Penyempitan jalan adalah suatu bagian jalan dengan kapasitas arus lalulintas yang lebih kecil daripada kondisi bagian jalan sebelumnya.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan arus, kecepatan dan kerapatan lalulintas akibat terjadinya penyempitan jalan, mengetahui nilai arus maksimum baik pada jalan normal maupun jalan menyempit, mengetahui nilai gelombang kejut akibat terjadinya penyempitan jalan. Lokasi penelitian dilakukan pada ruas jalan arteri primer yang menghubungkan Kota Demak dan Kota Kudus dengan lama pengamatan selama 6 jam, untuk tiap periode selama 5 menit dari pukul 07.00 sampai dengan pukul 17.00. Didalam menentukan hubungan karakteristik lalulintas digunakan tiga metode pendekatan yaitu : *linier Greenshield*, *logaritmik Greenberg*, *eksponensial Underwood*. Pada kondisi jalan normal, kecepatan kendaraan lebih besar dibandingkan dengan kondisi jalan menyempit dan pertemuan jalan normal dan menyempit, hal ini disebabkan perbedaan karakteristik geometrik jalan, dari kondisi jalan 2 lajur menjadi 1 lajur.

Dari hasil analisa dan perhitungan pada kondisi jalan menyempit diperoleh analisa *regresi* untuk koefisien *determinasi*, baik pada metode *Greenshield* ($R^2 = 0.5519$), *Greenberg* ($R^2 = 0.5415$), *Underwood* ($R^2 = 0.5504$), lebih besar dibandingkan pada kondisi jalan normal (*Greenshield* $R^2 = 0.405$, *Greenberg* $R^2 = 0.4163$, *Underwood* $R^2 = 0.4092$) ataupun pada kondisi pertemuan jalan normal dan menyempit. (*Greenshield* $R^2 = 0.4498$, *Greenberg* $R^2 = 0.4999$, *Underwood* $R^2 = 0.4182$). Ini artinya pasangan data arus dan kecepatan pada kondisi jalan menyempit lebih menggambarkan kondisi berbagai kerapatan dari yang kecil hingga yang besar. Kerapatan ruang rata-rata pada arus bebas pada model *Greenshield* dan model *Underwood* memberikan hasil yang hampir sama pada kondisi penggal jalan yang sama meskipun terjadi selisih pada nilai arus maksimum dan kerapatan, hal ini disebabkan karakteristik lokasi lebih cocok menggunakan model *Greenshield* dan *Underwood* dibandingkan dengan model *Greenberg*. Pada kondisi penggal jalan menyempit diperoleh hasil *Greenshield* : ($U_f = 56.96$ Km/jam; $D_j = 71.46$ smp/km; $V_{maks} = 1017.51$ smp/jam/arah), *Underwood* : ($U_f = 60.58$ Km/jam; $D_m = 50$ smp/km; $V_{maks} = 1114.23$ smp/jam/arah), sementara pada model *Greenberg* ($U_m = 15.39$ Km/jam; $D_j = 276.28$ Smp/Km; $V_{maks} = 1564.43$ smp/jam/arah). Gelombang kejut yang diperoleh pada model *Greenshield*, terjadi pada lima periode pada saat *demand* melebihi kapasitas yaitu pada jam: 08.05-08.15 ($\omega = -2.49$ km/jam), 08.45-08.50, ($\omega = -1.42$ km/jam), 10.35-11.00 ($\omega = -1.32$ km/jam), 15.20-15.30 ($\omega = -2.65$ km/jam), 16.20-16.25 ($\omega = -2.42$ km/jam), sedangkan pada model *Underwood* terjadi gelombang kejut pada tiga periode waktu yaitu pada jam: 08.05-08.10 ($\omega = -0.0189$ km/jam), 15.25-15.30 ($\omega = 0.0635$ km/jam), 16.20-16.25 ($\omega = 0.05$ km/jam). Lama terjadi antrian pada model *Greenshield* masing-masing terjadi selama 13 menit 28 detik, 5 menit 1 detik, 26 menit 26 detik, 10 menit 29 detik dan 10 menit 3 detik, sedangkan pada model *Underwood* lama antrian masing-masing terjadi selama 5 menit 9 detik, 5 menit 6 detik, 5 menit 10 detik. Sehingga dengan diperolehnya hasil perhitungan tersebut, dapat memprediksi panjang antrian yang mendekati keadaan sebenarnya dalam mengatasi kemacetan yang terjadi akibat pengaruh penyempitan jalan. Berdasarkan hasil pengamatan dilapangan panjang antrian maksimum diperoleh sepanjang 55 m, sementara panjang antrian maksimum pada model *Greenshield* yaitu: 2644.7 m, sedangkan pada model *Underwood* 63.5 m, Sehingga model yang lebih sesuai dengan kondisi lapangan yang sebenarnya yaitu pada model *Underwood*.

ABSTRACT

Effects of Bottleneck on Traffic Characteristics (Case Study on Demak-Kudus Road, Km. 5)

Bottleneck condition happens when the traffics flow enter a bridge, where a occurs accidents, or where roads improving. Bottleneck condition is a part of road with smaller traffic capacity than the previous part of road.

The objectives of this study are to know flow-speed-density relationship of traffics due to the bottleneck conditions, to know maximum value of flow of traffic both on normal road and bottleneck condition, to know value of shock wave caused by bottleneck. The study is conducted at a primary artery road between Demak and Kudus. Duration of Observation was 6 with 5 minutes from 07.00 a.m. until 5.00 p.m. In determining the relationship of traffic characteristic, used three methods: i.e. *Greenshield* linear, *Greenberg* logarithm, *Underwood* exponential. At the normal, speeds are higher than at the bottleneck and the end of normal road at the bottleneck, because there are differences in the geometric conditions of the roads, there are strip 2 to appointed strip 1 at the condition of road.

From the results of the regression analysis at the bottleneck, can be obtained the determination coefficient, with using *Greenshield* method obtained ($R^2 = 0.5519$), *Greenberg* method obtained ($R^2 = 0.5415$), and *Underwood* method obtained ($R^2 = 0.5504$), are higher than normal road (*Greenshield* method $R^2 = 0.405$, *Greenberg* method $R^2 = 0.4163$, and *Underwood* method $R^2 = 0.4092$). The coefficient of regression are also higher than the end of normal road at the bottleneck (*Greenshield* method $R^2 = 0.4498$, *Greenberg* method $R^2 = 0.4999$, and *Underwood* method $R^2 = 0.4182$). It means that the pair of flow-speed at the bottleneck to show the variation of density from the small until the large. The average free flow speed at *Greenshield* model and *Underwood* model provide an almost same results in the same part of road, eventhough there are differences between value of maximum flow and value of density. Because, observation on the spot of characteristics with using *Greenshield* model and *Underwood* model has better result than *Greenberg* model. than At the bottleneck, can be obtained the results: *Greenshield* : ($U_f = 56.96$ Km/hour; $D_j = 71.46$ smp/km; $V_{max} = 1017.51$ smp/hour/way), *Underwood* : ($U_f = 60.58$ Km/hour; $D_m = 50$ smp/km; $V_{max} = 1114.23$ smp/hour/way), meanwhile, *Greenberg* model, can be obtained the result ($U_m = 15.39$ Km/hour; $D_j = 276.28$ Smp/Km; $V_{max} = 1564.43$ smp/hour/way). The result of shock wave with *Greenshield* model happened at five periods when demand exceeded its capacity: at 08.05-08.15 a.m. ($\omega = -2.49$ km/hour), 08.45-08.50 a.m. ($\omega = -1.42$ km/hour), 10.35-11.00 a.m. ($\omega = -1.32$ km/hour), 15.20-15.30 p.m. ($\omega = -2.65$ km/hour), 16.20-16.25 p.m. ($\omega = -2.42$ km/hour), while with *Underwood* model the shock wave happened at three periods, i.e. 08.05-08.10 a.m. ($\omega = -0.0189$ km/hour), 15.25-15.30 p.m. ($\omega = 0.0635$ km/hour), 16.20-16.25 p.m. ($\omega = 0.05$ km/hour). Duration of each queue with *Greenshield* model happened for 13 minutes and 28 seconds, 5 minutes and 1 second, 26 minutes and 26 seconds, 10 minutes and 29 seconds, and 10 minutes and 3 seconds, meanwhile with *Underwood* model, each queue happened for 5 minutes and 9 seconds, 5 minutes and 6 seconds, 5 minutes and 10 seconds. With obtained the result, can be the compatible was used to predict the length of the queue on there are improving at the condition of density jam, because effects of the bottleneck condition. Based on observation, the maximum length of the queue is 55 m, while by calculating the maximum the length of the queue with *Greenshield* model is 2644.7 m, and with *Underwood* model is 63.5 m. Thus, the most compatible model for the study is *Underwood* model.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Syukur Alhamdulillah selalu Penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas ridho dan rahmat-Nya lah, Penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tesis yang berjudul “ Pengaruh Penyempitan Jalan Terhadap Karakteristik Lalulintas “(Studi Kasus : Ruas Jalan Demak-Kudus,Km.5) ini dalam rangka memenuhi persyaratan studi pada Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.

Pada kesempatan ini Penulis mengucapkan Terima Kasih kepada :

1. Bapak Dr.Ir. Suripin, M Eng : selaku Ketua Program Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang.
2. Bapak Dr.Ir. Bambang Riyanto, DEA : selaku Sekretaris Program Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang sekaligus selaku Dosen Pembimbing II Tesis.
3. Bapak Ir. Das'at Widodo, MS : selaku Dosen Pembimbing I Tesis.
4. Bapak Ir. Wahyudi Kushardjoko, MT, Selaku Dosen Pembahas dan Penguji Tesis.
5. Bapak Ir. Kami Hari Basuki, MT, Selaku Dosen Pembahas dan Penguji Tesis.
6. Bapak Ir. Eko Mujihartono, MSP, Selaku Dosen Penguji Tesis.
7. Semua Dosen Pengampu mata kuliah di Magister Teknik Sipil atas didikan dan arahnya.
8. Orang Tua, Adik, Kerabat, Sahabat dan semua Rekan Magister Teknik Sipil atas dukungan dan do'anya.

Penulis menyadari, bahwa Tesis ini masih jauh dari sempurna, masih ada kekurangan disana-sini. Namun demikian besar sekali harapan Penulis, sekiranya Pembaca sekalian mau memberikan sumbangan kritik yang membangun bagi Penulis.

Akhirnya Tesis ini Penulis dedikasikan kepada Almamater Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro, semoga dapat membawa manfaat yang berarti, Amin.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Semarang, Agustus 2002

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan	2
1.3 Lokasi Studi	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II STUDI PUSTAKA	5
2.1 Karakteristik Lalu-lintas	5
2.1.1 Volume Arus Lalu-lintas	5
2.1.2 Kecepatan	7
2.1.3 Kerapatan	8
2.2 Model hubungan kecepatan dengan kerapatan	8
2.2.1 Model <i>Greenshield</i>	8
2.2.2 Model <i>Greenberg</i>	12
2.2.3 Model <i>Underwood</i>	15
2.3 Penyempitan Jalan	18
2.4 Faktor Konversi Kendaraan	19
2.5 Analisa Regresi	21
2.6 Korelasi	21
2.7 Gelombang Kejut (<i>ShockWave</i>)	22
2.7.1 Gelombang Kejut Pada Jalan Menyempit	23
2.7.2 Klasifikasi Gelombang Kejut	24
2.7.3 Nilai Gelombang Kejut	27
2.8 Hambatan Samping (<i>Side Friction</i>)	32
2.9 Kondisi Geometrik Jalan	33
2.10 Rangkuman Terhadap Studi Yang Sudah Dilakukan	34
2.10.1 Studi Oleh N. Widana Negara (1991).....	34
2.10.2 Studi Oleh Ofyar Z. Tamin (1991)	35
2.10.3 Studi Oleh Syamsuwito (1994)	36
2.10.4 Studi Oleh Agus Sumarsono (1997)	36
2.11 Uji Signifikansi	37

BAB III	METODOLOGI	39
	3.1 Rencana Kegiatan	39
	3.2 Survei Pendahuluan	40
	3.3 Metodologi Pengambilan Data	40
	3.3.1 Kebutuhan Peralatan	40
	3.3.2 Periode Pengamatan	41
	3.3.3 Macam Dan Banyaknya Data	41
	3.4 Data-Data Yang Diperlukan	42
	3.5 Teknis Pelaksanaan Pengambilan Data Lapangan	42
	3.5.1 Volume Lalu-Lintas	42
	3.5.2 Kecepatan Kendaraan	43
	3.5.3 Hambatan Samping (<i>Side Friction</i>)	45
	3.5.4 Kondisi Geometrik Jalan	46
	3.6 Pengolahan Data	48
	3.6.1 Volume	48
	3.6.2 Kecepatan dan Kecepatan Rata-rata Ruang.....	48
	3.6.3 Hambatan Samping (<i>Side Friction</i>)	49
	3.6.4 Kondisi Geometrik Jalan	49
	3.7 Metodologi Analisa Data	49
	3.7.1 Perhitungan Volume Lalulintas	49
	3.7.2 Perhitungan Kecepatan dan Kecepatan Rata-rata	50
	3.7.3 Perhitungan Kerapatan Lalulintas	50
	3.7.4 Perhitungan Hambatan Samping	50
	3.7.5 Perhitungan Model Hubungan Kecepatan-Volume-Kerapatan	51
BAB IV	PENYAJIAN DATA	52
	4.1 Ruas Jalan	52
	4.2 Volume Lalulintas.....	53
	4.3 Kecepatan Kendaraan	53
	4.4 Hambatan Samping.....	53
	4.5 Contoh Perhitungan Pengolahan Data	54
	4.5.1 Volume Arus Lalulintas.....	54
	4.5.2 Kecepatan Dan Kerapatan	58
	4.5.3 Hambatan Samping.....	62
BAB V	ANALISIS	64
	5.1 Hubungan Antara Kecepatan, Kerapatan Dan Arus (Volume).....	64
	5.2 Pengujian Statistik	71
	5.3 Kajian Hasil Analisa	71
	5.4 Menentukan Nilai Arus (Volume) Maksimum	72
	5.4.1 Model <i>Greenshields</i>	72
	5.4.2 Model <i>Greeberg</i>	73
	5.4.3 Model <i>Underwood</i>	73
	5.4.4 Berdasarkan <i>IHCM</i>	73
	5.5 Penentuan Model Terpilih	75
	5.6 Nilai Gelombang Kejut.....	77

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	87
6.1 Kesimpulan	87
6.2 Saran	89
DAFTAR PUSTAKA	90
LAMPIRAN A	92
LAMPIRAN B	118
LAMPIRAN C	138

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
2.1	Nilai Konversi Kendaraan 2 arah – 2 lajur tanpa Median	20
2.2	Nilai Konversi Kendaraan Jalan Empat-Lajur Dua-Arah Dengan Median	33
2.3	Jenis Aktivitas Samping Jalan	33
2.4	Kelas Hambatan Samping	32
2.5	Faktor Penyesuaian Kapasitas Untuk Pengaruh Hambatan Samping Dan Lebar Bahu (FCsf)	33
2.6	Rangkuman Hasil Studi Oleh Ofyar Z.Tamin	35
2.7	Rangkuman Hasil Studi Oleh Syamsuwito	35
2.8	Rangkuman Hasil Studi Oleh Agus Sumarsono	37
3.1	Rekomendasi Panjang Penggal Jalan Pengamatan	44
4.1	Ringkasan Hasil Survei Volume Dan Perhitungan Volume Lalulintas Pada Penggal Jalan Normal Arah ke Demak (<i>section A-A</i>)	56
4.2	Ringkasan Hasil Survei Volume Dan Perhitungan Volume Lalulintas Pada Penggal Jalan Menyempit Arah Ke Demak (<i>section B-B</i>)	56
4.3	Ringkasan Hasil Survei Volume Dan Perhitungan Volume Lalulintas Pada Penggal Jalan Pertemuan antara Jalan Normal dan Menyempit Arah ke Demak (<i>section C-C</i>)	57
4.4	Ringkasan Hasil Perhitungan Kecepatan Ruang Dan Kerapatan Kendaraan Pada Penggal Jalan Normal Arah Ke Demak (<i>section A-A</i>)	59
4.5	Ringkasan Hasil Perhitungan Kecepatan Ruang Dan Kerapatan Kendaraan Pada Penggal Jalan Menyempit Arah Ke Demak (<i>section B-B</i>)	60

Tabel	Judul	Halaman
4.6	Ringkasan Hasil Perhitungan Kecepatan Ruang Dan Kerapatan Kendaraan Pada Penggal Jalan Pertemuan Antara Jalan Normal Dan Menyempit Arah Ke Demak (<i>section C-C</i>) ...	61
4.7	Hasil Survei Hambatan Samping Penggal Jalan Menyempit (<i>section B-B</i>).....	63
4.8	Perhitungan Bobot Hambatan Samping Penggal Jalan Menyempit (<i>section B-B</i>).....	63
4.9	Hasil Survei Hambatan Samping Penggal Jalan Normal (<i>section A-A</i>)	63
4.10	Perhitungan Bobot Hambatan Samping Penggal Jalan Normal (<i>section A-A</i>)	63
5.1	Ringkasan Hasil Analisis <i>Regresi Linier</i>	66
5.2	Hubungan Antara Kecepatan (U_s), Arus (V) Dan Kerapatan	67
5.3	Perhitungan Gelombang Kejut, Panjang Antrian Dan Waktu Penormalan Kendaraan Dengan Model <i>Greenshield</i>	76
5.4	Perhitungan Gelombang Kejut, Panjang Antrian Dan Waktu Penormalan Kendaraan Dengan Model <i>Underwood</i>	76
5.5	Perbandingan Antara Kapasitas Dan <i>Demand</i> Pada Penyempitan Jalan (<i>section B-B</i>) Untuk Model <i>Greenshield</i>	85
5.6	Perbandingan Antara Kapasitas Dan <i>Demand</i> Pada Penyempitan Jalan (<i>section B-B</i>) Untuk Model <i>Underwood</i>	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
2.1	Hubungan antara Arus, Kecepatan dan Kerapatan Model <i>Greenshield</i>	11
2.2	Hubungan Kecepatan – Kerapatan <i>Greenshield</i>	12
2.3	Hubungan Kecepatan – Kerapatan <i>Greenberg</i>	15
2.4	Hubungan Kecepatan – Kerapatan <i>Underwood</i>	18
2.5	Visualisasi Gerakan Gelombang Kejut Pada Jalur Menyempit	23
2.6	Klasifikasi Gelombang Kejut	27
2.7	Dasar Analisis Gelombang Kejut	31
3.1	Bagan Alir Kegiatan	39
3.2	Sketsa Posisi Titik Pengamatan	47
5.1	Hubungan Kecepatan Dengan Kerapatan Pada Penggal Jalan Normal Lajur Tengah Dan Tepi (<i>section A-A</i>)	68
5.2	Hubungan Kecepatan Dengan Kerapatan Pada Penggal Jalan Menyempit (<i>section B-B</i>)	68
5.3	Hubungan Kecepatan Dengan Kerapatan Pada Penggal Jalan Normal Dan Menyempit (<i>section C-C</i>)	68
5.4	Hubungan Kecepatan Dengan Volume Pada Penggal Jalan Normal Lajur Tengah Dan Tepi (<i>section A-A</i>)	69
5.5	Hubungan Kecepatan Dengan Volume Pada Penggal Jalan Menyempit (<i>section B-B</i>)	69
5.6	Hubungan Kecepatan Dengan Volume Pada Penggal Jalan Normal Dan Menyempit (<i>section C-C</i>)	69
5.7	Hubungan Volume Dengan Kerapatan Pada Penggal Jalan Normal Lajur Tengah Dan Tepi (<i>section A-A</i>)	70

Gambar	Judul	Halaman
5.8	Hubungan Volume Dengan Kerapatan Pada Penggal Jalan Menyempit (<i>section B-B</i>)	70
5.9	Hubungan Volume Dengan Kerapatan Pada Penggal Jalan Normal Dan Menyempit (<i>section C-C</i>)	70
5.10	Perbandingan demand 5 Menitan Pada Lajur Normal Tengah Dan Tepi Dengan Kapasitas Pada Jalan Menyempit (<i>section B-B</i>)	78
5.11	Gelombang Kejut Mundur Bentukan Yang Terjadi Pada Saat <i>demand</i> > Kapasitas Pada Model <i>Greenshield</i>	81
5.12	Gelombang Kejut Maju Pemulihan Yang Terjadi Pada Saat <i>demand</i> < Kapasitas Pada Model <i>Greenshield</i>	81
5.13	Gelombang Kejut Mundur Bentukan Yang Terjadi Pada Saat <i>demand</i> > Kapasitas Pada Model <i>Underwood</i>	82
5.14	Gelombang Kejut Maju Pemulihan Yang Terjadi Pada Saat <i>demand</i> < Kapasitas Pada Model <i>Underwood</i>	82
5.15	Perbandingan Antara Kumulatif <i>demand</i> Dan Kapasitas Pada Saat Terjadi Antrian Pertama Pada Model <i>Greenshield</i>	83
5.16	Perbandingan Antara Kumulatif <i>demand</i> Dan Kapasitas Pada Saat Terjadi Antrian Pertama Pada Model <i>Underwood</i>	84

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
A-1	Hasil Survei Volume Lalulintas Pada Penggal Jalan Menyempit Arah Ke Demak (<i>section B-B</i>)	92
A-2	Hasil Survei Volume Lalulintas Pada Penggal Jalan Menyempit Arah Ke Kudus (<i>section B-B</i>)	94
A-3	Perhitungan Total Volume Lalulintas Pada Penggal Jalan Menyempit (<i>section B-B</i>).....	96
A-4	Hasil Survei Dan Perhitungan Volume Lalulintas Pada Penggal Jalan Menyempit Arah Ke Demak (<i>section B-B</i>)	98
A-5	Hasil Survei Volume Lalulintas Pada Penggal Jalan Normal Lajur Tengah Arah Ke Demak (<i>section A-A</i>)	100
A-6	Hasil Survei Volume Lalulintas Pada Penggal Jalan Normal Lajur Tepi Arah Ke Demak (<i>section A-A</i>)	102
A-7	Perhitungan Total Volume Lalulintas Pada Penggal Jalan Normal Arah Ke Demak (<i>section A-A</i>).....	104
A-8	Hasil Survei Dan Perhitungan Volume Lalulintas Pada Penggal Jalan Normal Lajur Tengah Arah Ke Demak (<i>section A-A</i>)	106
A-9	Hasil Survei Dan Perhitungan Volume Lalulintas Pada Penggal Jalan Normal Lajur Tepi Arah Ke Demak (<i>section A-A</i>)	108
A-10	Hasil Survei Volume Lalulintas Pada Penggal Jalan Pertemuan Antara Jalan Normal Dan Menyempit Arah Ke Demak (<i>section C-C</i>)	110
A-11	Hasil Survei Volume Lalulintas Pada Penggal Jalan Pertemuan Antara Jalan Normal Dan Menyempit Arah Ke Kudus (<i>section C-C</i>)	112
A-12	Perhitungan Total Volume Lalulintas Pada Penggal Jalan Pertemuan Antara Jalan Normal Dan Menyempit (<i>section C-C</i>) .	114

Lampiran	Judul	Halaman
A-13	Hasil Survei Dan Perhitungan Volume Lalulintas Pada Penggal Jalan Pertemuan Antara Jalan Normal Dan Menyempit (<i>section C-C</i>)	116
B-1	Hasil Survei Kecepatan Ruang Kendaraan Pada Penggal Jalan Normal Lajur Tengah (<i>section A-A</i>)	118
B-2	Hasil Survei Kecepatan Ruang Kendaraan Pada Penggal Jalan Normal Lajur Tepi (<i>section A-A</i>)	120
B-3	Hasil Survei Kecepatan Ruang Kendaraan Pada Penggal Jalan Menyempit (<i>section B-B</i>)	122
B-4	Hasil Survei Kecepatan Ruang Kendaraan Pada Penggal Jalan Pertemuan Antara Jalan Normal Dan Menyempit (<i>section C-C</i>)	124
B-5	Perhitungan Kerapatan Kendaraan Pada Penggal Jalan Normal (<i>section A-A</i>)	126
B-6	Perhitungan Kerapatan Kendaraan Pada Penggal Jalan Menyempit (<i>section B-B</i>)	128
B-7	Perhitungan Kerapatan Kendaraan Pada Penggal Jalan Pertemuan Antara Jalan Normal Dan Menyempit (<i>section C-C</i>)	130
B-8	Hasil Perhitungan Prosentase Jenis Kendaraan Pada Penggal Jalan Normal Arah Ke Demak (<i>section A-A</i>)	132
B-9	Hasil Perhitungan Prosentase Jenis Kendaraan Pada Penggal Jalan Normal Dan Menyempit Arah Ke Demak (<i>section C-C</i>)	134
B-10	Hasil Perhitungan Prosentase Jenis Kendaraan Pada Penggal Jalan Menyempit Arah Ke Demak (<i>section B-B</i>)	136
C-1	Gambar Peta Lokasi	138

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Permasalahan Transportasi merupakan masalah yang selalu dihadapi oleh Negara-negara yang telah maju dan juga oleh Negara yang sedang berkembang seperti Indonesia, baik dibidang Transportasi perkotaan (*Urban Transportation*) maupun transportasi antar kota (*Rural Transportation*). Terciptanya suatu sistem transportasi yang menjamin pergerakan manusia, kendaraan dan atau barang secara lancar, aman, cepat, murah, nyaman dan sesuai dengan lingkungan sudah merupakan tujuan pembangunan dalam sektor transportasi.

Suatu peningkatan dalam volume lalu lintas akan menyebabkan berubahnya perilaku lalu lintas. Secara Teoritis terdapat hubungan yang mendasar antara volume (*flow*), kecepatan (*speed*) dan kerapatan (*density*). Hubungan antara kecepatan dan volume ini dipakai sebagai pedoman untuk menentukan nilai matematis dari kapasitas jalan untuk kondisi ideal. Dengan menggunakan hubungan antara kecepatan dengan volume lalu lintas, maka dapat diketahui peningkatan arus dan hasil kecepatan pada ruas jalan tertentu sampai terjadinya kemacetan pada jalur jalan tersebut.

Salah satu permasalahan yang turut memperburuk kondisi lalu lintas, yang akan dijadikan bahan penelitian disini adalah masalah penyempitan jalan pada ruas jalan yang padat arus lalu lintasnya. Penyempitan jalan adalah : suatu bagian jalan dengan kondisi kapasitas lalu lintas sesudahnya (*down stream*) lebih kecil dari bagian masuk (*up stream*). Kondisi jalan seperti ini dapat terjadi misalnya pada saat memasuki jembatan, terjadinya suatu kecelakaan yang menyebabkan sebagian lebar jalan ditutup, pada saat terjadi perbaikan jalan atau kondisi lainnya, yang menyebabkan terjadinya perubahan perjalanan kendaraan dari arus bebas (*Uninterrupted Flow*) menjadi terganggu (*Interrupted Flow*) sehingga terjadi penurunan

kecepatan dan bertambahnya kerapatan antar kendaraan. pengaruh penyempitan jalan ini tidak berarti sama sekali apabila arus lalu-lintas (*demand*) lebih kecil dari pada daya tampung atau kapasitas jalan (*supply*) pada daerah Penyempitan sehingga arus lalu-lintas dapat terlewatkan dengan mudah tanpa ada hambatan.

Pada lajur lurus terjadi pengurangan kapasitas yang disebabkan karena pengurangan jumlah lajur, misalnya : dari dua lajur menyempit menjadi satu lajur atau terjadinya pangurangan lebar efektif jalan.

1.2. Maksud dan Tujuan

A. Maksud

Maksud dilakukannya penelitian ini adalah : untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penyempitan jalan terhadap arus, kecepatan dan kerapatan lalu-lintas pada lokasi studi.

B. Tujuan

Sedangkan Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

- a. Untuk mengetahui hubungan antara arus (*flow*), kecepatan (*speed*) dan kerapatan (*density*) lalu lintas akibat terjadinya penyempitan jalan pada lokasi studi.
- b. Untuk mengetahui nilai arus dan kerapatan maksimum baik pada jalan normal maupun pada jalan yang menyempit pada lokasi studi.
- c. Untuk mengetahui nilai Gelombang Kejut akibat terjadinya penyempitan jalan pada lokasi studi.

Selanjutnya hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan bagi perencanaan dan pengoperasian lalu-lintas sehingga dapat dihasilkan perencanaan yang tepat, efisien, dan efektif. Serta dapat memprediksi perhitungan panjang antrian yang mendekati

kenyataan yang ada sehingga dapat digunakan dalam mengatasi kemacetan yang terjadi akibat pengaruh penyempitan jalan pada lokasi studi.

1.3. Lokasi Studi

Lokasi studi penelitian ini terletak pada jalur lalu lintas antara kota Demak-Kudus, Km 5. Dengan medan topografi datar, pengaruh gangguan samping relatif kecil dan hampir tidak ada, serta kondisi perkerasan relatif baik, sehingga pengaruh lalu lintas yang terjadi murni karena penyempitan jalan.

Dengan demikian dapat diasumsikan bahwa kondisi arus lalu lintas pada lokasi studi sudah dapat mewakili untuk menggambarkan pengaruh penyempitan jalan yakni dari jumlah dua lajur menyempit menjadi satu lajur terhadap karakteristik lalu lintas.

1.4. Batasan Masalah

Mengingat akan keterbatasan waktu, tenaga, serta biaya, maka ruang lingkup permasalahan pada penelitian ini dibatasi oleh :

- a. Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada satu lokasi studi yakni pada ruas jalan kota Demak-Kudus, Km 5.
- b. Analisis hanya dilakukan pada aspek *supply* dan *demand* di jalan pada lokasi studi.
- c. Analisis hubungan antara arus (*flow*), kecepatan (*speed*) dan kerapatan (*density*) lalu lintas dengan menggunakan model pendekatan yaitu model *linier Greenshields*, model *Logaritmik Greenberg*, dan model Eksponensial *Underwood*.
- d. Penentuan nilai gelombang kejut didasarkan pada penentuan model pendekatan terpilih.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tesis ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini dibahas mengenai latar belakang, pembatasan masalah dan sistematika penulisan tesis.

BAB II STUDI PUSTAKA

Dalam bab ini dibahas mengenai teori-teori yang akan digunakan dalam penyelesaian masalah-masalah yang ada.

BAB III METODOLOGI

Dalam bab ini akan membahas kerangka pikir dan prosedur-prosedur dari pemecahan permasalahan.

BAB IV PENYAJIAN DATA

Dalam bab ini akan dilakukan prosedur pengolahan data.

BAB V ANALISIS

Dalam bab ini akan dianalisa semua data yang telah diperoleh.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini akan diambil kesimpulan mengenai hasil pengolahan data dan analisa.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. Karakteristik Arus Lalu-Lintas

Karakteristik utama arus lalu lintas yang digunakan sebagai dasar penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Volume arus lalu lintas.
2. Kecepatan arus lalu lintas.
3. Kerapatan arus lalu lintas.

2.1.1. Volume arus lalu lintas

Volume lalu lintas merupakan jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu dari suatu segmen/ruas jalan selama waktu tertentu.

Volume lalu lintas ini biasanya dinyatakan dengan satuan kendaraan/jam atau kendaraan/hari. (smp/jam atau smp/hari)

Dalam pembahasannya volume dibagi menjadi :

1. Volume Harian (*Daily Volumes*)

Volume harian ini digunakan sebagai dasar perencanaan jalan dan *observasi* umum tentang *trend* Pengukuran volume harian ini dapat dibedakan :

- a. *Average Annual Daily Traffic* (AADT), dalam satuan *vehicle per hour* (vph) rata-rata yakni volume yang diukur selama 24 jam dalam kurun waktu 365 hari, dengan demikian merupakan total kendaraan yang terukur dibagi 365.

(jumlah hari dalam 1 tahun)

- b. *Average Daily Traffic* (ADT), dalam satuan *vehicle per hour* (vph) rata-rata yakni volume yang diukur selama 24 jam penuh dalam periode waktu tertentu dibagi dengan banyaknya hari tersebut.

2. Volume jam-an (*hourly volumes*)

Yakni suatu pengamatan terhadap arus lalu-lintas untuk menentukan jam puncak selama periode pagi dan sore yang biasanya terjadi kesibukan akibat orang pergi dan pulang kerja. Dari pengamatan tersebut dapat diketahui arus yang paling besar yang disebut sebagai jam puncak. Arus pada jam puncak ini dipakai sebagai dasar untuk *design* jalan raya dan analisis operasi lainnya yang diperlukan seperti untuk analisa keselamatan misalnya.

Untuk keperluan *design* arus jam puncak kadang-kadang diestimasi dari proyeksi arus harian, dengan menggunakan keterkaitan sebagai berikut :

$$DDHV = AADT \times K \times D \quad (2.1)$$

Keterangan :

DDHV = *Directional Design Hourly Volume*
(Arus Jam Rencana Kend/jam)

K = Ratio antara Arus Jam Puncak dengan LHRT (AADT)

D = Koefisien Arah Arus Lalu-Lintas

3. *Peak Hour Factor* (PHF)

Yakni Perbandingan antara Volume Lalu-Lintas Per Jam pada saat Jam Puncak dengan 4 kali *Rate Of Flow* pada saat yang sama (Jam Puncak).

$$PHF = \frac{\text{Volume Per Jam}}{4 \times \text{Peak Rate Factor Of Flow}}$$

Rate Of Flow = Nilai Equivalen dari volume lalu-lintas per jam, dihitung dari jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu dari suatu lajur / segmen jalan selama interval waktu kurang dari satu jam (dalam Penelitian ini diambil 5 menitan).

4. Volume per sub jam (subhourly volumes)

Yakni arus yang disurvei dalam periode waktu lebih kecil dari satu jam. (dalam Penelitian ini diambil 5 menitan).

5. Volume Jam Puncak

Yakni Banyaknya kendaraan yang melewati suatu titik tertentu dari suatu ruas jalan selama satu jam pada saat terjadi arus lalu-lintas yang terbesar dalam satu hari.

Pada penelitian ini yang digunakan adalah besaran arus (*flow*) yang lebih spesifik untuk hubungan masing-masing penggal jalan yang ditinjau dengan kecepatan dan kerapatan pada periode waktu tertentu.

2.1.2. Kecepatan

Kecepatan didefinisikan sebagai laju dari suatu pergerakan kendaraan dihitung dalam jarak per satuan waktu. Dalam pergerakan arus lalu-lintas, tiap kendaraan berjalan pada kecepatan yang berbeda. Dengan demikian dalam arus lalu-lintas tidak dikenal karakteristik kecepatan kendaraan tunggal. Dari distribusi tersebut, jumlah rata-rata atau nilai tipikal dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dari arus lalu-lintas.

Dalam perhitungannya, kecepatan rata-rata dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. *Time mean speed* (TMS), yang didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata dari seluruh kendaraan yang melewati suatu titik dari jalan selama periode waktu tertentu.

$$\bar{U}_t = \frac{L}{n} \left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} + \frac{1}{t_3} \dots \dots \dots \right) \quad (2.2)$$

2. *Space mean speed* (SMS), yakni kecepatan rata-rata dari seluruh kendaraan yang menempati penggalan jalan selama periode waktu tertentu.

$$\bar{U}_s = \frac{L}{\frac{1}{n} \sum t_i} \quad (2.3)$$

Keterangan :

L = Panjang penggal jalan (m)

N = Jumlah sampel kendaraan

t_i = waktu tempuh kendaraan

2.1.3. Kerapatan

Kerapatan didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang jalan atau lajur, secara umum diekspresikan dalam kendaraan per kilometer.

Kerapatan sulit diukur secara langsung di lapangan, melainkan dihitung dari nilai kecepatan dan arus sebagai hubungan :

Sehingga :

$$V = U_s \times D \quad (2.4)$$

$$D = V / U_s$$

Keterangan:

V = Arus

U_s = *Space mean speed*

D = Kerapatan

2.2. Model hubungan kecepatan dengan kerapatan

Seorang pengemudi akan cenderung menaikkan kecepatannya sebagaimana halnya jika sejumlah kendaraan sekitarnya kecepatannya naik (*Gerlough dan Hubber, 1975*).

2.2.1. Model Greenshield

Greenshield yang melakukan studi pada jalan-jalan di luar kota Ohio, mengusulkan hubungan *linier* antara kecepatan rata-rata ruang (*space mean speed*) yang terjadi dalam suatu lalu-lintas dengan kerapatan kendaraan, dengan pendekatan rumus :

$$U_s = U_f - (U_f/D_j) D \quad (2.5)$$

Dapat dilihat bahwa rumus di atas pada dasarnya merupakan suatu persamaan linier, $Y = a + bX$, dianggap bahwa U_f merupakan konstanta a dan $U_f/D_j = b$ sedangkan U_s dan D masing-masing merupakan variabel Y dan X .

Keterangan :	U_s	=	Kecepatan rata-rata ruang (km/jam)
	U_f	=	Kecepatan pada kondisi arus bebas (km/jam)
	D	=	Kerapatan (smp/km)
	D_j	=	Kerapatan kondisi jam (smp/km)
	V	=	Arus lalu-lintas (smp/jam)

Kita ketahui bahwa hubungan dasar antara arus, kecepatan, dan kerapatan didasarkan pada rumus dasar :

$$V = D \cdot U_s \quad (2.6)$$

Selanjutnya berdasarkan rumus di atas dapat diturunkan rumus-rumus yang merupakan hubungan antara arus dan kecepatan dengan mensubstitusikan rumus pada persamaan 2.6 yang ditulis dalam bentuk lain yakni $D = V/U_s$ ke dalam persamaan 2.5 sehingga menjadi :

$$V = D_j \cdot U_s - (D_j / U_f) U_s^2 \quad (2.7)$$

Demikian pula hubungan antara arus dengan kerapatan dapat diturunkan dengan mensubstitusikan rumus pada persamaan 2.5 ke dalam persamaan 2.6 sehingga menjadi :

$$\begin{aligned} V &= D \cdot U_s \\ V &= D \cdot (U_f - (U_f/D_j) D) \\ V &= U_f \cdot D - (U_f/D_j) D^2 \end{aligned} \quad (2.8)$$

Rumus pada persamaan 2.7 dan 2.8 keduanya merupakan fungsi parabola (fungsi pangkat dua) dengan masing-masing merupakan $V = f(U_s)$ dan $V = f(D)$.

Harga arus maksimum dapat dicari dengan menurunkan rumus persamaan 2.8 terhadap kerapatan (D) dan nilai arus maksimum terjadi pada saat nilai kerapatan maksimum yakni pada saat nilai turunan pertama (diferensial ke-1) tersebut sama dengan nol.

$$V = U_f \cdot D - (U_f/D_j) D^2$$

$$\frac{\partial V}{\partial D} = U_f - 2 \cdot D_m \cdot (U_f/D_j)$$

untuk nilai :

$$\frac{\partial V}{\partial D} = 0 \quad \text{maka :}$$

$$0 = U_f - 2 \cdot D_m \cdot (U_f/D_j)$$

$$D_m = \frac{D_j}{2}$$

Nilai D_m disubsitusikan ke dalam persamaan 2.8 dengan kondisi V berubah menjadi V_m dan D menjadi D_m , diperoleh :

$$V_m = \frac{D_j \cdot U_f}{4} \quad (2.9)$$

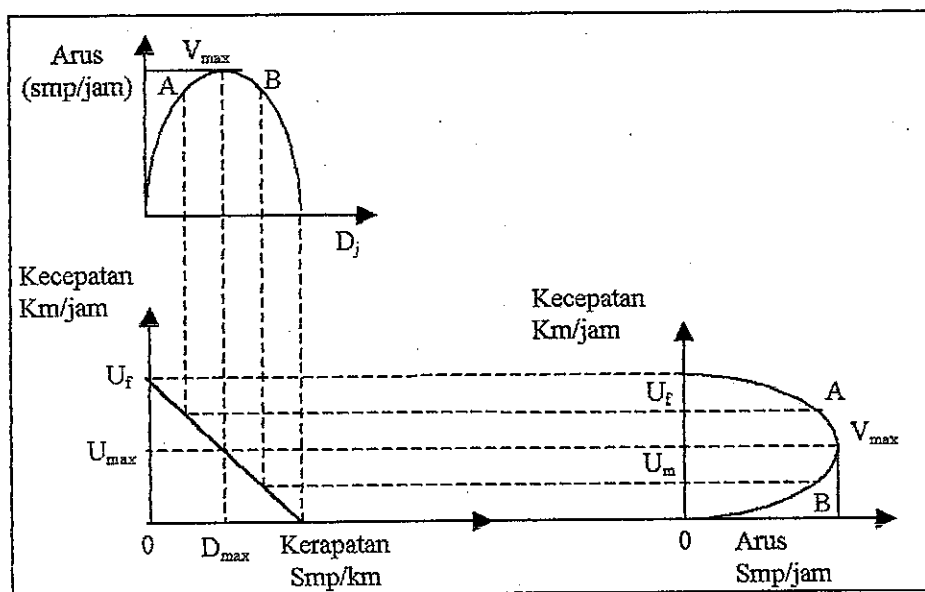
Keterangan $V_m =$ Arus maksimum (km/jam)

$D_m =$ Kerapatan maksimum (smp/km)

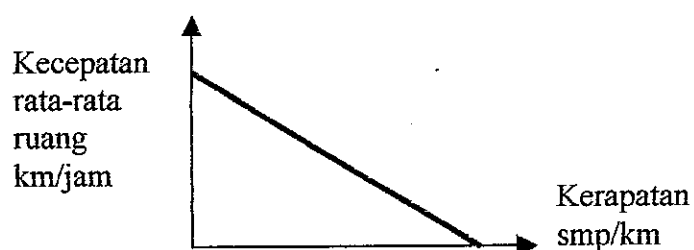
Model *Greenshield* merupakan model yang paling sederhana yang mudah untuk diterapkan, yakni dari beberapa penelitian ternyata diperoleh korelasi antara model dan data lapangan.

Model dari hubungan antara variabel arus, kecepatan dan kerapatan, dapat terlihat pada gambar 2.1 dan gambar 2.2, pada dasarnya dapat diterangkan bahwa :

1. Pada kondisi kerapatan mendekati harga nol, arus lalu lintas juga mendekati harga nol, dengan asumsi seakan-akan tidak terdapat kendaraan bergerak.
2. Apabila kerapatan naik dari angka nol, maka arus juga naik. Pada suatu kerapatan tertentu akan tercapai suatu titik dimana bertambahnya kerapatan akan membuat arus menjadi turun.
3. Pada kondisi kerapatan mencapai kondisi maksimum atau disebut kerapatan kondisi *jam* (kerapatan jenuh) kecepatan perjalanan akan mendekati nilai nol, demikian pula arus lalu lintas akan mendekati harga nol karena tidak memungkinkan kendaraan untuk dapat bergerak lagi.
4. Kondisi arus di bawah kapasitas dapat terjadi pada dua kondisi, yakni:
 - Pada kecepatan tinggi dan kerapatan rendah (kondisi A)
 - Pada kecepatan rendah dan kerapatan tinggi (kondisi B)



Gambar. 2.1. Hubungan antara Arus, Kecepatan, dan Kerapatan
Model *Greenshield*



Gambar.2.2 Hubungan kecepatan-kerapatan *Greenshield*

2.2.2. Model *Greenberg*

Model *Greenberg* adalah model kedua yang mensurvei hubungan kecepatan-kerapatan pada aliran lalu-lintas pada terowongan, dan menyimpulkan bahwa model *non linier* lebih tepat digunakan yakni fungsi *eksponensial*. Rumus dasar dari *Greenberg* adalah :

$$D = c \cdot e^{bU_s} \quad (2.10)$$

dimana c dan b merupakan nilai konstan.

Dengan menggunakan analogi aliran fluida dia mengkombinasikan persamaan gerak dan kontinuitas untuk satu kesatuan dimensi gerak dan menurunkan persamaan :

$$U_s = U_m \ln(D_j / D) \quad (2.11)$$

Pada model *Greenberg* ini diperlukan pengetahuan tentang parameter-parameter kecepatan optimum dan kerapatan kondisi *jam*. Sama dengan model *Greensheild*, kerapatan kondisi *jam* sangat sulit diamati dilapangan dan estimasi terhadap kecepatan optimum lebih sulit diperkirakan daripada kecepatan bebas rata-rata. Estimasi kasar untuk menentukan kecepatan optimum adalah kurang lebih setengah dari kecepatan rencana. Kerugian lain dari model ini adalah kecepatan bebas rata-rata tidak dapat terhitung.

Persamaan 2.11 diatas dapat ditulis ke dalam bentuk persamaan matematika yang lain, yakni :

$$U_s = U_m \ln D_j - U_m \ln D \quad (2.12)$$

Dengan asumsi bahwa : $Y=U_s$; $a=U_m \ln(D_j)$; $b=U_m$; $X=\ln(D)$

Hubungan antara arus dengan kecepatan, diperoleh dengan mensubstitusikan nilai $D=V/U_s$ ke dalam persamaan 2.11 sehingga diperoleh persamaan :

$$U_s = U_m \ln \left(\frac{D_j}{V/U_s} \right)$$

$$U_s = U_m \ln \left(\frac{D_j \cdot U_s}{V} \right)$$

$$\ln \left(\frac{D_j \cdot U_s}{V} \right) = U_s / U_m$$

$$V = D_j \cdot U_s e^{-U_s/U_m} \quad (2.13)$$

Sedangkan untuk memperoleh hubungan antara arus dengan kerapatan yakni dengan mensubstitusikan nilai $U_s = V/D$ ke dalam persamaan 2.11 diperoleh :

$$V = U_m \cdot D \ln (D_j / D) \quad (2.14)$$

Arus maksimum pada metode *Greenberg* dihitung dengan menggunakan rumus dasar :

$$V_m = D_m \cdot U_m \quad (2.15)$$

Yakni bahwa arus maksimum merupakan perkalian dari kerapatan maksimum dengan kecepatan maksimum.

Nilai kerapatan pada saat arus maksimum dicari dengan menurunkan persamaan 2.14 terhadap kerapatan (D) dan menyamakan hasil *diffrensial* tersebut dengan nol sehingga diperoleh :

$$V = U_m \cdot D \ln (D_j / D)$$

$$\frac{\partial V}{\partial D} = U_m \ln(D_j/D) + U_m \cdot D \left[\frac{-D_j/D^2}{D_j/D} \right]$$

$$\frac{\partial V}{\partial D} = U_m \ln(D_j/D) - U_m$$

untuk :

$$\frac{\partial V}{\partial D} = 0, \text{ maka diperoleh :}$$

$$0 = U_m \ln (D_j/D) - U_m$$

$$0 = \ln (D_j/D) - 1$$

$$1 = \ln (D_j/D)$$

$$D_j/D = e$$

Karena terjadi pada arus maksimum maka kerapatan yang terjadi pun adalah kerapatan maksimum (D_m), sehingga :

$$D_m = D_j / e \quad (2.16)$$

Sedangkan nilai kecepatan pada saat arus maksimum dicari dengan menurunkan persamaan 2.13 terhadap arus (U_s) dan menyamakan hasil *diffrensial* tersebut dengan nol sehingga diperoleh :

$$V = D_j \cdot U_s e^{-U_s/U_m}$$

$$\frac{\partial V}{\partial U_s} = \left[D_j \cdot e^{-U_s/U_m} + D_j \cdot U_s \frac{-1}{U_m} \cdot (e^{-U_s/U_m}) \right]$$

$$\frac{\partial V}{\partial U_s} = \left[D_j \cdot e^{-U_s/U_m} - U_s / U_m D_j \cdot (e^{-U_s/U_m}) \right]$$

$$\frac{\partial V}{\partial U_s} = \left[D_j \cdot (e^{-U_s/U_m}) \right] (1 - U_s / U_m)$$

Untuk :

$$\frac{\partial V}{\partial U_s} = 0, \text{ maka :}$$

$$0 = D_j \cdot (e^{-U_s/U_m}) (1 - U_s / U_m)$$

$$0 = (1 - U_s / U_m)$$

$$U_s = U_m \quad (2.17)$$

Dari persamaan 2.15, 2.16 dan 2.17 diperoleh arus maksimum :

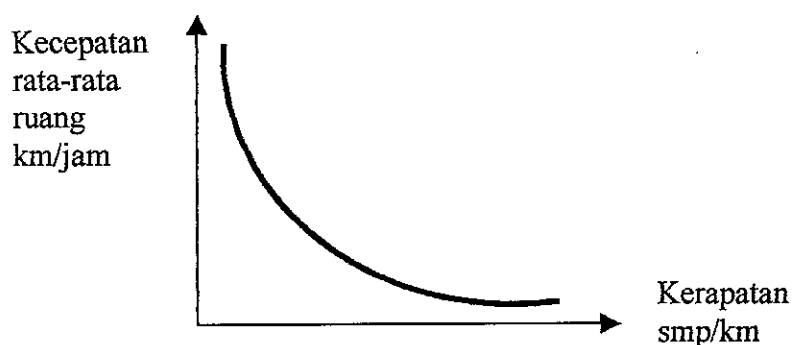
$$V_m = D_m \cdot U_m$$

$$V_m = D_j/e \cdot U_m$$

$$V_m = D_j \cdot U_m/e \quad (2.18)$$

Keterangan: U_s = Kecepatan rata-rata ruang (km/jam)
 U_m = Kecepatan maksimum (km/jam)
 D = Kerapatan (smp/km)
 D_j = Kerapatan kondisi *jam* (smp/km)
 V = Arus lalu-lintas (smp/jam)

Hubungan kecepatan-kerapatan pada Model *Greenberg* dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar.2.3 Hubungan kecepatan-kerapatan *Greenberg*

2.2.3. Model *Underwood*

Model ketiga adalah yang diusulkan oleh *Underwood* sebagai hasil dari studi lalu-lintas pada jalan raya *Merritt di Connecticut*, dan mengusulkan model hubungan antara kecepatan dan kerapatan sebagai berikut :

$$U_s = U_f \cdot e^{-D/D_m} \quad (2.19)$$

Lebih lanjut persamaan di atas dapat dipresentasikan ke dalam bentuk persamaan linier

$y = a + bx$ sebagai berikut :

$$\ln U_s = \ln U_f - D / D_m \quad (2.20)$$

Bila persamaan $D = V/U_s$ disubstitusikan ke persamaan 2.19 maka diperoleh hubungan antara arus dan kecepatan sebagai berikut :

$$V = D_m \cdot U_s \ln (U_f / U_s) \quad (2.21)$$

Sedangkan hubungan antara arus dengan kerapatan diperoleh dengan mensubstitusikan persamaan $U_s = V/D$ ke dalam persamaan 2.19 :

$$V_s = U_f \cdot D \cdot e^{-D/D_m} \quad (2.22)$$

Arus maksimum pada metode *Underwood* dihitung dengan menggunakan rumus dasar: $V_m = D_m \cdot U_m$ yakni bahwa arus maksimum merupakan perkalian dari kerapatan maksimum dengan kecepatan maksimum.

Nilai kerapatan pada saat arus maksimum dicari dengan menurunkan persamaan 2.22 terhadap kerapatan (D) dan menyamakan hasil *diffrensial* tersebut dengan nol sehingga diperoleh :

$$V = U_f \cdot D \cdot e^{-D/D_m}$$

$$\frac{\partial V}{\partial D} = \left[U_f \cdot e^{-D/D_m} + U_f \cdot D \frac{-1}{D_m} \cdot (e^{-D/D_m}) \right]$$

$$\frac{\partial V}{\partial D} = \left[U_f \cdot e^{-D/D_m} + U_f \cdot D \frac{-1}{D_m} \cdot (e^{-D/D_m}) \right]$$

$$\frac{\partial V}{\partial D} = \left[U_f \cdot e^{-D/D_m} - D/D_m U_f \cdot (e^{-D/D_m}) \right]$$

$$\frac{\partial V}{\partial D} = U_f \cdot e^{-D/D_m} (1 - D/D_m)$$

untuk :

$$\frac{\partial V}{\partial D} = 0, \text{ maka diperoleh :}$$

$$0 = U_f \cdot e^{-D/D_m} (1 - D/D_m)$$

$$0 = (1 - D/D_m)$$

$$D_m = D \quad (2.23)$$

Sedangkan nilai kecepatan pada saat arus maksimum dicari dengan menurunkan persamaan 2.21 terhadap arus (U_s) dan menyamakan hasil *diffrensial* tersebut dengan nol sehingga diperoleh :

$$V = D_m \cdot U_s \ln (U_f / U_s)$$

$$\frac{\partial V}{\partial U_s} = D_m \ln (U_f / U_s) + D_m \cdot U_s \left[\frac{-U_f / U_s^2}{U_f / U_s} \right]$$

$$\frac{\partial V}{\partial U_s} = D_m \ln (U_f / U_s) - D_m$$

$$\frac{\partial V}{\partial U_s} = D_m (\ln (U_f / U_s) - 1)$$

untuk :

$$\frac{\partial V}{\partial U_s} = 0, \text{ maka :}$$

$$0 = D_m (\ln (U_f / U_s) - 1)$$

$$0 = (\ln (U_f / U_s) - 1)$$

$$U_f / U_s = e$$

Karena terjadi pada kondisi maksimum maka U_s adalah U maksimum (U_m) sehingga diperoleh

$$U_m = U_f / e \quad (2.24)$$

Dari persamaan 2.15, 2.23, dan 2.24 didapat arus maksimum :

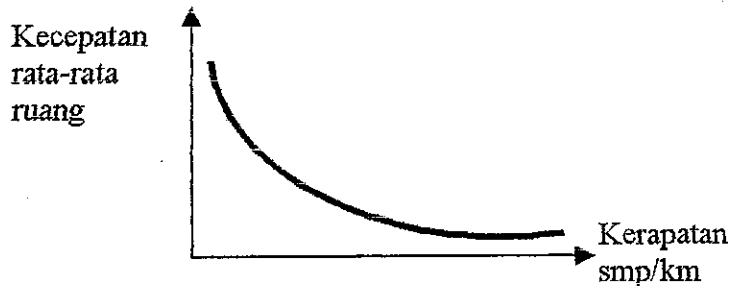
$$V_m = D_m \cdot U_m$$

$$V_m = D_m \cdot U_f / e \quad (2.25)$$

Persamaan tersebut di atas memerlukan pengetahuan tentang kecepatan rata-rata arus bebas yang dalam hal ini cukup mudah untuk diamati, sedangkan kerapatan optimum sulit untuk diamati dan sangat tergantung pada lingkungan/fasilitas jalan. Kelemahan lain,

kecepatan pada model ini tidak pernah mencapai nilai nol dan kecepatan kondisi *jam* yang tidak menentu. Hubungan kecepatan-kepadatan pada model *Underwood* dapat dilihat

pada gambar 2.4



Gambar.2.4 Hubungan kecepatan-kepadatan Model *Underwood*

2.3. Penyempitan Jalan

Penyempitan jalan adalah suatu bagian jalan dengan kapasitas arus lalu-lintas yang lebih kecil daripada kondisi bagian jalan sebelumnya (*upstream*). Kondisi jalan seperti ini dapat terjadi misalnya pada saat memasuki jembatan, terjadinya suatu kecelakaan yang menyebabkan sebagian lebar jalan ditutup, pada saat terjadi perbaikan jalan atau kondisi lainnya, yang menyebabkan terjadinya perubahan perjalanan kendaraan dari arus bebas (*uninterrupted flow*) menjadi terganggu (*interrupted flow*) sehingga terjadi penurunan kecepatan, dan bertambahnya kepadatan antar kendaraan.

Sebagai ilustrasi kondisi ini terjadi pada suatu ruas jalan dengan lebar 2 lajur yang dilewati kendaraan pada kondisi kapasitas ideal kemudian secara tiba-tiba terjadi penyimpangan menjadi 1 lajur, maka pada saat memasuki lajur yang menyempit ini arus lalu-lintas mengalami penambahan kepadatan akibat daya tampung jalan berkurang. Akibatnya arus lalu-lintas tadi akan melebihi kapasitas jalan yang berakibat terjadinya penurunan terhadap kecepatan, bertambahnya kepadatan, penurunan arus lalu-lintas, serta terjadi antrian.

Sementara sebaliknya pada kondisi Pelebaran Jalan akan terjadi Kapasitas Arus lalu-lintas yang lebih besar dari pada kondisi bagian jalan sebelumnya (*Upstream*). Pada kondisi

Pelebaran Jalan ini akan mengalami pengurangan kerapatan akibat daya tampung jalan bertambah. Sehingga dengan demikian arus lalu-lintas akan lebih kecil dari pada kapasitas jalan yang berakibat terjadinya kenaikan terhadap kecepatan, berkurangnya kerapatan dan penambahan arus lalu-lintas.

Kendaraan yang memasuki daerah penyempitan jalan dipaksa untuk mengurangi kecepatan dan karena daya tampung jalan pada daerah penyempitan ini lebih kecil daripada daerah sebelumnya maka kendaraan akan memblok daerah penyempitan itu sampai panjang tertentu ke arah datangnya kendaraan sehingga akan menimbulkan gelombang kejut.

Pengaruh penyempitan jalan tidak berarti sama sekali apabila arus lalu-lintas (*demand*) lebih kecil daripada daya tampung atau kapasitas jalan (*supply*) pada daerah penyempitan sehingga arus lalu-lintas bisa terlewatkan dengan mudah tanpa hambatan yang berarti. Sebagai contoh misalnya terdapat kondisi jalan pada arus bebas terdiri dari 2 lajur mengalami penyempitan menjadi 1 lajur. Arus lalu-lintas akan mengalami hambatan jika *demand* sebesar 2 lajur, namun pada waktu tertentu saat *demand* yang terjadi kurang dari 1 lajur maka pengaruh penyempitan jalan tidak berarti bagi arus lalu-lintas yang sedang berlalu.

2.4. Faktor Konversi Kendaraan

Kendaraan yang melewati jalan raya baik di Indonesia maupun di negara lain, sangatlah bervariasi baik dalam hal model, bentuk, ukuran atau dimensi, maupun beratnya. Keanekaragaman kendaraan dengan masing-masing memiliki karakteristik tersendiri, akan membentuk suatu perilaku yang berbeda-beda dalam arus lalu-lintas yang berjalan. Dalam suatu analisa, terhadap lalu-lintas maupun terhadap kebutuhan *design* berbagai macam kendaraan tersebut di atas, perlu diadakan suatu nilai konversi untuk memudahkan dalam perhitungannya.

Indonesia pun memiliki aturan terhadap konversi kendaraan yang tertuang dalam buku *Indonesian Highway Capacity Manual 1997* (IHCM 1997).

Dari jumlah kendaraan yang ada, yang kemungkinan terdapat di jalan raya antar kota, dapat dikelompokkan ke dalam empat golongan. Keempat golongan tersebut, seperti terlihat dalam Tabel 2.1 dan Tabel 2.2, masing-masing dikonversikan ke dalam Satuan Mobil Penumpang (smp).

Tabel 2.1 Nilai Konversi Kendaraan 2 arah-2 lajur tanpa Median

Tipe Aline Men	Total Arus (Kend/Jam)	Emp					
		MHV	LB	LT	MC		
					Lebar Perkerasan (m)		
					< 6 m	6-8 m	> 8 m
Flat	0	1.2	1.2	1.8	0.8	0.6	0.4
	800	1.8	1.8	2.7	1.2	0.9	0.6
	1350	1.5	1.6	2.5	0.9	0.7	0.5
	≥ 1900	1.3	1.5	2.5	0.6	0.5	0.4

Sumber : IHCM, 1997

Tabel 2.2 Nilai Konversi Kendaraan Jalan Empat-Lajur Dua –Arah dengan Median

Tipe Alinemen	Arus Lalin Total per arah (Kend/Jam)	Emp			
		MHV	LB	LT	MC
Flat	0	1.2	1.2	1.6	0.5
	1000	1.4	1.4	2.0	0.6
	1800	1.6	1.7	2.5	0.8
	>2150	1.3	1.5	2.0	0.5

Sumber : IHCM, 1997

diikuti oleh turunnya nilai-nilai variabel lainnya, maka korelasi yang terjadi adalah bernilai positif.

Derajat atau tingkat hubungan antara dua variabel diukur dengan indeks korelasi, yang disebut sebagai koefisien korelasi dan ditulis dengan simbol r . apabila nilai koefisien korelasi tersebut dikuadratkan (r^2), maka disebut sebagai koefisien *determinasi* yang berfungsi untuk melihat sejauh mana ketepatan fungsi *regresi*

Nilai koefisien korelasi dapat dihitung dengan memakai rumus :

$$r = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{[n(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2][n(\sum Y_i^2) - (\sum Y_i)^2]}} \quad (2.29)$$

Nilai koefisien korelasi r berkisar dari -1 sampai dengan 1 . Nilai negatif menunjukkan suatu korelasi negatif sedangkan nilai positif menunjukkan suatu korelasi positif. Nilai nol menunjukkan bahwa tidak terjadi korelasi antara satu variabel dengan variabel lainnya.

2.7. Gelombang Kejut (*Shock Wave*)

Dari arti harfiahnya, kalimat tersebut terdiri dari kata *shock* dan *wave* yang artinya Kejut dan Gelombang. Dalam aliran lalu lintas di jalan, bila suatu arus lalu lintas bergerak teratur (*secara macroscopis*), tiba-tiba didepan jalannya mengalami penyempitan atau bahkan ditutup sama sekali, maka pertama-tama pada potongan ruas jalan tersebut *density* nya akan membesar.

Kalau jalan tersebut ditutup, maka *density* nya maksimum (*jam density*). *Density* tersebut makin lama makin ke arah belakang.

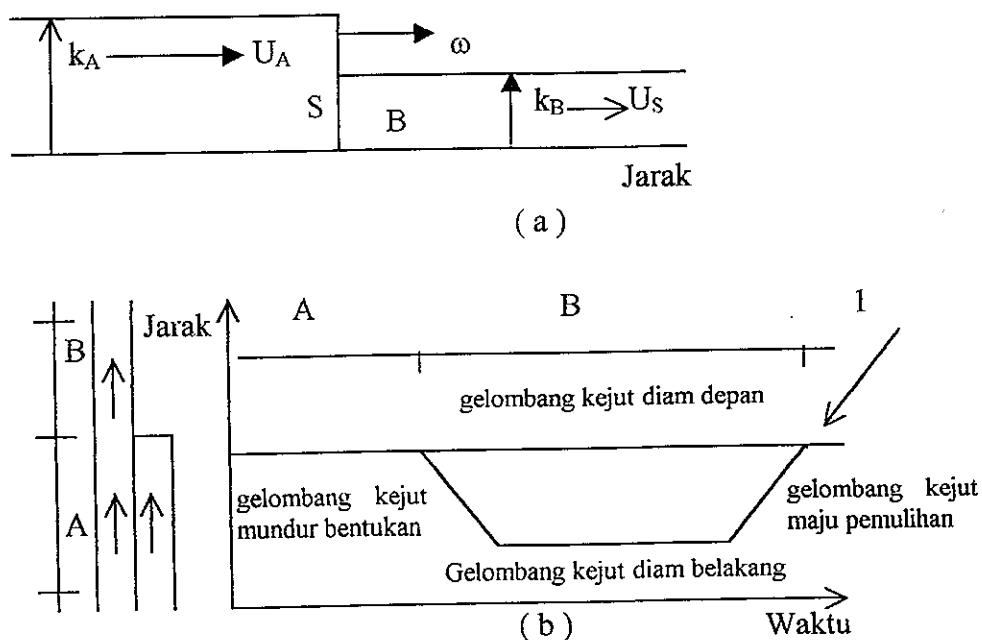
Perubahan *density* tersebut bergerak kebelakang dengan kecepatan tertentu. Demikian kalau jalan sudah dibuka, akan terjadi gelombang *density* bergerak dengan kecepatan tertentu pula. Fenomena itu sering disebut "*shock wave*".

Gelombang kejut terjadi sebagai akibat terjadinya perubahan kerapatan lalu lintas sebagai akibat terjadinya halangan pada arus lalu lintas bebas. Kondisi ini bisa terjadi pada ruas jalan karena suatu halangan tertentu seperti misalnya terjadi suatu kecelakaan, perbaikan badan jalan dan lainnya yang bersifat Insidental ataupun sebagai akibat terjadinya penyempitan lajur jalan yang bersifat permanen. Disamping itu dapat pula terjadi pada suatu simpang, baik yang bersinyal atau tidak, pada simpang bersinyal gelombang kejut disebabkan oleh nyala lampu merah dan lampu hijau yang terjadi secara *periodik*

2.7.1. Gelombang Kejut pada "Jalan Menyempit"

Pada kondisi jalan menyempit, kendaraan dipaksa untuk mengurangi kecepatannya dan kerapatan antar kendaraan meningkat.

Apabila titik pada saat kendaraan harus mengurangi kecepatannya ditandai dengan nyala lampu rem, maka ternyata bahwa titik tersebut akan bergerak ke arah datangnya lalu lintas kendaraan. Gerakan dari titik dimana lampu rem menyala, relatif terhadap jalan merupakan gerakan dari gelombang kejut.



Gambar 2.5. Visualisasi gerakan gelombang kejut pada jalur menyempit

Dari Gambar 2.5.a diatas dapat dilihat bahwa gelombang kejut diam depan (*frontal stationary shock wave*) akan terjadi pada daerah sepanjang penyempitan (B). sedang perpotongan antara gelombang kejut maju pemulihan ditandai dengan berakhirnya periode macet.

Contoh di atas dikembangkan berdasarkan anggapan bahwa :

1. Arus lalu lintas yang datang bervariasi sepanjang waktu tertentu.
2. Kapasitas jalan tetap.
3. Tidak terdapat akses keluar masuk sepanjang daerah yang macet.

2.7.2. Klasifikasi Gelombang Kejut

Gelombang kejut dapat diklasifikasikan menjadi 6 kelas (*May A. D, 1990: 321*), yaitu :

1. Gelombang kejut diam depan (*frontal stationary shock wave*)

Gelombang kejut diam depan, seperti pada gambar 2.5.b, terdapat pada lokasi penyempitan lajur yang menunjukkan bahwa pada lokasi tersebut arus lalu lintas melebihi kapasitas jalan. Istilah depan mempunyai implikasi bahwa ini adalah bagian terdepan (pinggir ke arah hilir) dari daerah kemacetan dengan kerapatan lebih rendah ke arah hilir dan lebih tinggi ke arah hulu. Sedangkan istilah diam berarti bahwa gelombang kejut tersebut diam dan tidak berubah lokasinya dengan berubahnya waktu.

2. Gelombang kejut mundur bentukan (*backward forming shock wave*)

Gelombang kejut mundur bentukan, akan terjadi jika pada suatu awal daerah penyempitan kapasitas jalan tidak mampu menampung arus lalu lintas misalnya arus datang sebesar 2 lajur sedang kapasitas jalan hanya 1,5 lajur, kendaraan yang datang dipaksa untuk mengurangi kecepatan dengan menginjak rem. Titik pada saat lampu rem kendaraan menyala seolah-olah bergerak ke arah datangnya arus lalu lintas (arah hulu).

Gerakan titik tersebut relatif terhadap jalan merupakan gelombang kejut mundur bentukan.

Istilah mundur berarti bahwa gerakan gelombang kejut tersebut ke arah belakang (hulu) yang berlawanan dengan arah datangnya kendaraan. Sedangkan istilah bentukan berarti bahwa dengan berjalannya waktu kemacetan akan semakin terbentuk ke arah hulu. Titik dimana awal gelombang kejut mundur bentukan dimulai menunjukkan titik awal daerah penyempitan (lihat Gambar 2.5.b) bergerak ke arah serong kanan yang mengindikasikan bahwa waktu dan ruang tersebut mempunyai kerapatan yang makin tinggi.

3. Gelombang kejut diam belakang (*rear stationary shock wave*)

Apabila arus lalu lintas di atas berkurang hingga sama dengan kapasitas jalannya misalnya sama-sama 1,5 lajur, artinya arus yang masuk sama dengan arus yang keluar, maka akan terjadi gelombang kejut diam belakang. Istilah belakang mempunyai implikasi bahwa ini adalah bagian paling belakang atau pinggir ke arah hulu dari kemacetan. Istilah diam berarti bahwa gelombang kejut tidak berubah lokasinya dengan berubahnya waktu dan kemacetan yang terbentuk sebelumnya dipertahankan dalam kondisi statis karena arus yang bisa dilewatkan sama dengan arus yang masuk.

4. Gelombang kejut maju pemulihan (*forward recovery shock wave*)

Apabila lalu lintas pada kasus sebelumnya semakin berkurang hingga pada suatu saat lebih kecil dari kapasitas penyempitan sebagai misal besar arus menjadi 1 lajur sedang kapasitas penyempitan sebesar 1,5 lajur, maka panjang kemacetan yang statis pada kasus sebelumnya bisa dikurangi karena arus yang datang lebih kecil dari arus yang dapat dilewatkan dan terbentuklah gelombang kejut maju pemulihan. Istilah maju berarti bahwa dengan berubahnya waktu maka gelombang kejut bergerak ke arah depan yakni ke arah hilir yang sama dengan arah gerakan lalu lintas. Digambarkan bahwa

kemacetan berangsur-angsur berkurang dari hilir ke arah hulu. Sedang istilah pemulihan berarti bahwa dengan bertambahnya waktu terjailah pemulihan kemacetan menuju arus bebas (*free flow*) hingga tercapai titik I (lihat Gambar 2.5.b) yang menandai akhir dari periode macet.

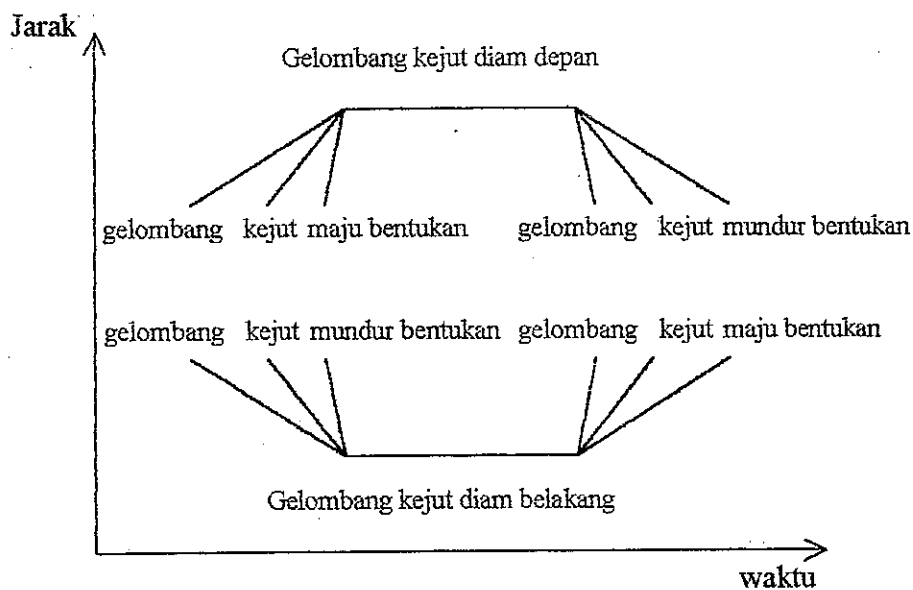
5. Gelombang kejut mundur pemulihan (*backward recovery shock wave*)

Gelombang kejut mundur pemulihan, terjadi ketika kemacetan terjadi dan kemudian terjadi peningkatan kapasitas jalannya sehingga kemacetan berangsur-angsur dipulihkan hingga mencapai kondisi arus bebas menjauhi dari awal lokasi kemacetan tersebut. Istilah mundur dimaksudkan bahwa selama berlangsungnya waktu, gelombang kejut bergerak ke arah belakang yakni searah datangnya arus lalu lintas. Daerah kemacetan berada di sebelah kiri dari gelombang kejut dan keadaan arus bebas berada di sebelah kanannya.

6. Gelombang kejut maju bentukan (*forward forming shock wave*)

Gelombang kejut maju bentukan, terjadi apabila kapasitas jalan secara tiba-tiba berkurang sehingga akan terbentuk kemacetan ke arah hilir. Gelombang kejut bergerak ke arah yang sama dengan arah gerakan lalu lintas, waktu ruang di sebelah kiri mempunyai kerapatan yang lebih rendah dan ke kanan kerapatan lebih tinggi.

Klasifikasi gelombang kejut menurut May A.D.1930;321 dapat dilihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6. Klasifikasi Gelombang Kejut

2.7.3. Nilai Gelombang Kejut

Nilai gelombang kejut merupakan perbandingan antara perubahan arus dengan perubahan kerapatan. Pembahasan didasarkan pada hubungan arus dengan kerapatan pada suatu jalan bebas hambatan (*uninterrupted traffic*). Gambar 2.7. pada bagian a memperlihatkan hubungan tersebut. Untuk beberapa saat digambarkan terdapat suatu keadaan arus bebas yang tetap, misal arus pada keadaan A. Arus, kerapatan, dan kecepatan pada keadaan A tersebut diberi notasi : q_A , k_A , dan u_A . Pada periode waktu berikutnya misal pada keadaan B arus masuk berkurang sehingga terjadi arus bebas yang baru. Pada kondisi baru tersebut arus, kerapatan, dan kecepatan pada keadaan B tersebut diberi notasi : q_B , k_B , dan u_B . Pada keadaan B ini kecepatan kendaraan lebih tinggi dari keadaan A sehingga pada akhirnya kendaraan B dapat menyusul kendaraan A pada ruang dan waktu yang berbeda.

Gambar 2.7.b melukiskan keadaan arus diagram waktu-jarak. Skala jarak dan waktu yang dipilih sedemikian sehingga arah grafik yang mewakili kecepatan dalam diagram jarak-waktu sejajar dengan grafik yang mewakili kecepatan pada grafik kerapatan-arus.

Garis tebal ω_{AB} melukiskan gelombang kejut atau diskontinuitas antara keadaan A dan keadaan B, dengan istilah yang lebih sederhana adalah merupakan jejak jarak-waktu dimana kendaraan dengan kecepatan lebih tinggi pada kendaraan arus B bergabung dengan kendaraan pada kondisi A yang kecepatannya lebih rendah. Notasi ω_{AB} menunjukkan adanya gelombang kejut yang terletak antara A dan B.

Pada Gambar 2.7.c diperlihatkan suatu ruas jalan pada waktu t tertentu dengan 2 keadaan arus. Terdapat 3 jenis kecepatan ke kanan, yakni :

u_A yang merupakan kecepatan kendaraan pada keadaan arus A

u_B yang merupakan kecepatan kendaraan pada keadaan arus B

ω_{AB} yang merupakan kecepatan gelombang kejut antara 2 keadaan A dan B

Pada kondisi ini arah kecepatan gelombang kejut bebas dan jelas. Namun pada suatu keadaan situasi yang lebih kompleks mungkin arahnya tidak jelas, analisis harus mengasumsikan sebagai gelombang kejut gerak maju (*forward moving shock wave*) yakni gerakan dengan arah yang sama dengan gerakan lalu lintas yang dalam hal ini dianggap sebagai kecepatan gelombang kejut yang positif. Sedang untuk analisis secara menyeluruh kecepatan gelombang kejut menjadi negatif yakni gelombang kejut gerak mundur (*backward moving shock wave*) yang arahnya berlawanan dengan arah lalu lintas.

Teori dasar dari analisis ini adalah bahwa pada batas gelombang kejut jumlah kendaraan yang meninggalkan arus kondisi B (N_B) harus tepat sama dengan jumlah kendaraan yang memasuki kondisi A (N_A), selama tidak ada kendaraan yang keluar atau masuk jalur. Kecepatan kendaraan dalam arus kondisi B merupakan batas hulu dari gelombang kejut relatif terhadap kecepatan gelombang kejut ($u_B - \omega_{AB}$). Sedang kecepatan kendaraan dalam arus kondisi A merupakan batas hilir dari gelombang kejut relatif terhadap kecepatan gelombang kejut ($u_A - \omega_{AB}$).

Besar N_A dan N_B dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini ;

$$N_B = q_B \cdot t = (u_B - \omega_{AB})k_B \cdot t \dots\dots (2.30)$$

$$N_B = q_A \cdot t = (u_A - \omega_{AB})k_A \cdot t \dots\dots (2.31)$$

Karena : $N_B = N_A$ maka :

$$(u_B - \omega_{AB})k_B \cdot t = (u_A - \omega_{AB})k_A \cdot t$$

$$k_B \cdot u_B - k_B \omega_{AB} - k_A u_A + k_A \omega_{AB} = 0$$

$$(k_A - k_B) \omega_{AB} = k_A u_A - k_B u_B$$

$$\omega_{AB} = \frac{u_A k_A - u_B k_B}{k_A - k_B}$$

$$\omega_{AB} = \frac{q_A - q_B}{k_A - k_B} = \frac{\Delta q}{\Delta k} \quad (2.32)$$

Sedangkan Jumlah Kendaraan dalam Antrian dihitung dengan rumus:

$$N = (q_A - q_B) + (\omega \times k_1) \quad (2.33)$$

Sementara Panjang Antrian dapat dihitung dengan rumus:

$$L = \frac{N}{k_2} \quad (2.34)$$

Keterangan :

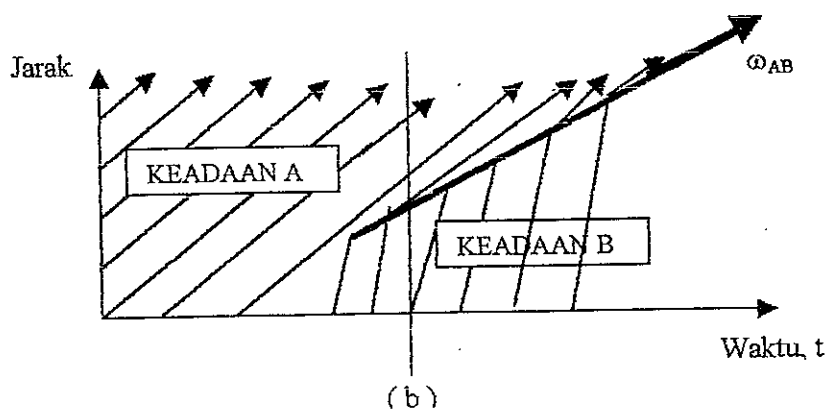
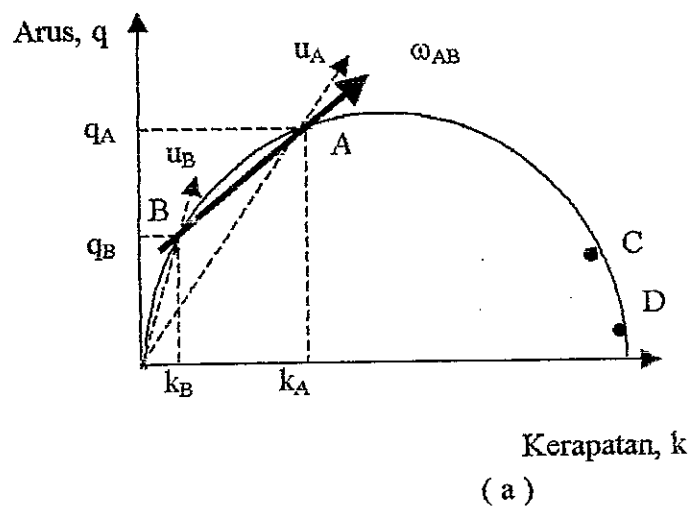
- ω = nilai gelombang kejut (km/jam)
- q_A = arus dari bagian *upstream* (smp/jam)
- q_B = arus maksimum yang bisa terlewatkan pada penyempitan jalan (smp/jam)
- N = jumlah kendaraan dalam antrian (smp)
- L = panjang antrian (km)

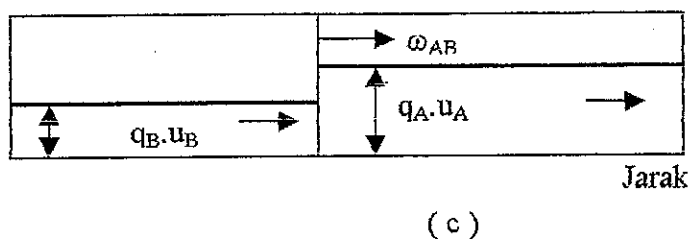
Dengan demikian maka kecepatan gelombang kejut antara 2 keadaan adalah merupakan hasil bagi antara perubahan arus dengan perubahan kerapatan.

Jika satuan arus adalah kendaraan/jam dan satuan kerapatan adalah kendaraan/km, maka kecepatan gelombang kejut adalah km/jam.

Gelombang kejut dapat digambarkan sebagai hubungan antara arus dan kerapatan seperti pada Gambar 2.7.a. dengan garis hubung antara titik A dan B melukiskan hubungan arus pada kondisi A dan B.

Apabila $q_A > q_B$ dan $k_A > k_B$ maka nilai gelombang kejut adalah positif. Seperti diperlihatkan pada Gambar 2.7.a. kemiringan garis yang mempresentasikan gelombang kejut adalah naik ke kanan atas, yang menunjukkan kecepatan gelombang kejut positif yang bergerak searah dengan arah gerakan lalu lintas. Gerakan gelombang kejut yang mengarah sesuai gerakan lalu lintas ini disebut gelombang kejut gerak maju (*forward moving shock wave*).





Gambar 2.7. Dasar Analisis Gelombang Kejut

Selanjutnya arus pada kondisi B tidak berubah sedangkan arus kondisi A akan bergerak ke kanan sepanjang kurva arus-keapatan (Gambar 2.7.a) menuju ke titik C dan D. Keadaan C dan D akan terjadi jika kecepatan kendaraan pada arus A turun disebabkan oleh suatu hambatan, sehingga arus turun menjadi q_c atau bahkan menjadi q_D jika hambatan terus meningkat. Besar arus di C yang merupakan perubahan dari kondisi A besarnya sama dengan arus kondisi B. dengan demikian maka $q_C = q_B$, dan mengacu pada rumus 2.32 maka diperoleh $\omega_{CB} = 0$ yang mengidentifikasi bahwa kecepatan gelombang kejut adalah nol. Hal ini ditunjukkan pula oleh gambar bahwa garis yang menghubungkan arus kondisi B dan kondisi C adalah horisontal. Kondisi ini disebut sebagai gelombang kejut diam (*stationary shock wave*).

Apabila arus turun menjadi kondisi D, dimana besar $q_B > q_D$ sedangkan kerapatan $k_B < k_D$, maka dari persamaan 2.32 besar ω_{DB} adalah negatif. Hal ini ditunjukkan pula oleh gambar bahwa garis yang menghubungkan arus kondisi B dan kondisi D adalah ke arah kanan bawah (turun) kondisi ini disebut sebagai gelombang kejut gerak mundur (*backward moving shock wave*).

2.8. Hambatan Samping (*Side Friction*)

Jenis Aktivitas Samping Jalan yang mempengaruhi arus lalu lintas adalah :

- Pejalan Kaki
- Parkir, kendaraan berhenti
- Kendaraan masuk dan keluar jalan
- Kendaraan lambat

Jenis aktivitas samping jalan, kelas hambatan samping dan faktor penyesuaian kapasitas untuk pengaruh hambatan samping dapat dilihat pada tabel 2.3, 2.4, 2.5.

Tabel 2.3 Jenis Aktivitas Samping Jalan

Jenis Aktivitas Samping Jalan	Simbol	Faktor Bobot
Pejalan Kaki	PED	0.6
Parkir, Kend Berhenti	PSV	0.8
Kend Masuk + Keluar	EEV	1.0
Kend Lambat	SMV	0.4

Sumber : IHCM 1997

Tabel 2.4 Kelas Hambatan Samping

Frekwensi Berbobot Kejadian	Kondisi Khusus	Kelas Hambatan Samping	
<50	Pedalaman, Pertanian atau tdk berkembang, tanpa Kegiatan	Sangat rendah	VL
50 – 149	Pedalaman, beberapa bangunan dan kegiatan disamping jalan.	Rendah	L
150 – 249	Desa , kegiatan dan angkutan local.	Sedang	M
250 – 350	Desa, beberapa kegiatan pasar.	Tinggi	H
>350	Hampir perkotaan, pasar/kegiatan perdagangan.	Sangat tinggi	VH

Sumber : IHCM 1997

Tabel 2.5 Faktor Penyesuaian Kapasitas Untuk Pengaruh Hambatan Samping dan lebar bahu (FCsf) pada jalan perkotaan dengan Kerb.

Tipe Jalan	Kelas Hambatan Samping (SFC)	FCsf			
		Lebar Bahu Efektif Ws (m)			
		<0.5	1.0	1.5	>2
Empat-Lajur terbagi 4/2 D	Sangat Rendah	0.99	1.00	1.01	1.03
	Rendah	0.96	0.97	0.99	1.01
	Sedang	0.93	0.95	0.96	0.99
	Tinggi	0.90	0.92	0.95	0.97
	Sangat Tinggi	0.88	0.90	0.93	0.96
Empat-Lajur tak-terbagi 4/2 UD	Sangat Rendah	0.97	0.99	1.01	1.02
	Rendah	0.93	0.95	0.97	1.00
	Sedang	0.88	0.91	0.94	0.98
	Tinggi	0.84	0.87	0.91	0.95
	Sangat Tinggi	0.8	0.83	0.88	0.93

Sumber : IHCM 1997

2.9. Kondisi Geometrik Jalan

Kondisi geometrik jalan akan mempengaruhi kinerja jalan tersebut dalam melayani lalu-lintas yang ada. Pengaruh yang diakibatkan oleh kondisi geometrik jalan berupa faktor-faktor penyesuaian terhadap kecepatan arus bebas dan kapasitas dari segmen jalan yang ditinjau.

Adapun kondisi geometrik jalan tersebut meliputi :

a. Tipe Jalan

Berbagai tipe jalan akan memberikan kinerja yang berbeda pada pembebanan lalu-lintas. IHCM,1997 memberikan keterangan-keterangan tentang beberapa kondisi dasar dari suatu tipe jalan.

b. Lebar Lajur Lalu-lintas

Lebar lajur lalu-lintas merupakan bagian jalan yang digunakan kendaraan untuk bergerak. Lebar lajur lalu-lintas sangat mempengaruhi kecepatan arus bebas dan kapasitas dari jalan yang ditinjau.

c. Lebar dan kendaraan dari Kerb, Bahu dan Median

Kerb merupakan batas antara jalur lalu-lintas dan trotoar yang berpengaruh terhadap hambatan samping pada kecepatan arus bebas dan kapasitas.

d. Alinyemen Jalan

Konfigurasi dari alinyemen jalan yang ada sangat erat hubungannya dengan kecepatan kendaraan.

2.10 Rangkuman terhadap studi yang sudah dilakukan

Beberapa studi tentang model hubungan antara volume-kecepatan- kerapatan telah dilakukan pada ruas-ruas jalan di Indonesia seperti kota Bandung, Jakarta Semarang dan sebagainya. Studi-studi tersebut telah banyak bertujuan untuk menguji dari beberapa model hubungan arus yang ada seperti Model *Linier Greenshields*, model *Logaritma Greenberg*, dan Model *Eksponensial Underwoods*, untuk kemudian dicari model hubungan yang paling mendekati pada daerah studi dari ketiga model yang ada tersebut, dengan berdasarkan tingkat ketepatan fungsi *regresinya* yaitu dengan melihat besar nilai koefisien *determinasi* (r^2).

2.10.1 Studi oleh N. Widana Negara (1991)

Berbeda dengan Arus dan Syamsuwito, Widana Negara (1991) melakukan studi di beberapa ruas jalan di kota Bandung yang dianggap ruas ruas jalan dengan lalu lintas padat, seperti Jl. Raya Timur, Jl. Kopo, dan Jl. Buah Batu.

Widana lebih meninjau pada hubungan antara kecepatan dan volume dengan 3 bentuk hubungan yaitu hubungan *linier (Us-HCM'85)*, *parabolik (Greenshields)* dan *logaritmik*

(Greenberg). Bentuk *linier* dikembangkan lebih lanjut oleh Hoban tahun 1987, sedangkan bentuk *parabolik Greenshields* diturunkan dari hubungan kecepatan-kerapatan, dan bentuk *logaritmik Greenberg* didapat dengan menurunkan hubungan kecepatan-kerapatan dalam bentuk *eksponensial* dengan mengambil analogi persamaan kontinuitas zat cair (Wohl and Martin, 1967).

Dari studi tersebut dengan *regresi* sederhana dan korelasi yang digunakan untuk menganalisa ketiga modelnya diperoleh kesimpulan model *Greenberg* lebih baik dibandingkan model yang lainnya.

2.10.2 Studi oleh Ofyar Z. Tamin (1991)

Ofyar (1991), melakukan studi hubungan arus ini pada ruas Jl. HR Rasuna Said Jakarta, dengan meninjau dan menganalisa hubungan variabel kecepatan-kerapatan-volume dari ketiga model pendekatan seperti *Greenshields*, *Greenberg*, dan *Underwoods*.

Survei dilakukan pada lokasi yang memenuhi kriteria seperti berada dipertengahan ruas jalan yang menghubungkan dua buah persimpangan, mempunyai lebar seragam, perkerasan culup baik dan jauh dari gangguan akibat kendaraan memutar ataupun oleh pejalan kaki. Dengan anaisa *regresi linier* sederhana disimpulkan bahwa model *Underwoods* merupakan model terbaik dibandingkan kedua model lainnya ($r^2=0.94$). Rangkuman hasil studi yang dilakukan oleh Ofyar dapat dilihat pada tabel 2.6

Tabel 2.6 Rangkuman hasil studi oleh Ofyar.Z.Tamin

Model Hubungan Arus	Rumus Model	r	r ²
Greenshields	$U_s=67.5-0.0959*D$	0.8718	0.76
Greenberg	$U_s=23.52 \ln (979.8/D)$	0.8832	0.78
Underwoods	$U_s=76.98 e^{-0.00318 D}$	0.9695	0.94

2.10.3 Studi oleh Syamsuwito (1994)

Berbeda dengan Agus Sumarsono, Syamsuwito (1994) melakukan studi hubungan kecepatan-volume-kepadatan pada ruas jalan Sukarno-Hatta Bandung dengan lokasi survei dari Gede Bage ke Cibiru.

Dari hasil studi berdasarkan tinjauan statistik dari ketiga model harga koefisien *determinasi* (r^2) disimpulkan bahwa pada ruas jalan Sukarno-Hatta dari ketiga model tersebut terlihat bahwa model *Underwood* memberikan tingkat akurasi yang terbaik yaitu dengan besar $r^2 = 0.8861$, sehingga untuk menggambarkan hubungan volume dan kepadatan model *Underwood* cocok untuk semua data. Rangkuman hasil studi yang dilakukan oleh Syamsuwito dapat dilihat pada tabel 2.7

Tabel 2.7 Rangkuman hasil studi oleh Syamsuwito

Model Hubungan Arus	Rumus Model	r	r^2
Greenshields	$U_s = 69.160 - 1.078 * D$	0.8987	0.8076
Greenberg	$U_s = 13.622 \ln(705.623/D)$	0.9069	0.8225
Underwood	$U_s = 70.573 e^{-D/51.898}$	0.9093	0.8268

2.10.4 Studi oleh Agus Sumarsono (1997)

Studi oleh Sumarsono, A. (1997), dilakukan pada ruas jalan Yos Sudarso Kodya Surakarta Jawa Tengah, dimana jalan arteri baru bagi lalu lintas yang berasal dari daerah Jawa Timur selatan, Wonogiri, Sukoharjo, Klaten dan Kawasan Solo Baru.

Dengan melakukan penelitian pada tiga (3) bagian penggal jalan yang saling berdekatan satu sama lain, dan dengan kondisi lalu lintas campuran diperoleh bahwa model hubungan kecepatan-volume-kepadatan pada setiap penggal jalan tersebut tidak jauh berbeda satu sama lainnya, sehingga dapat dikatakan bahwa arus lalu lintas yang ada mempunyai sifat aliran laminar atau kontinyu.

Dari hasil studi itu disimpulkan berdasarkan tinjauan statistik dari ketiga model harga koefisien *determinasi* (r^2) model *Greenberg* memberikan hasil yang paling besar, namun

model *greenberg* lemah bila ditinjau dari besarnya *free flow speed* yang tak terhingga, sehingga pada ruas jalan tersebut model *Greenshields* yang paling memenuhi. Rangkuman hasil studi yang dilakukan oleh Agus sumarsono dapat dilihat pada tabel 2.8

Tabel 2.8 Rangkuman hasil studi oleh Agus Sumarsono

Model Hubungan Arus	Rumus Model	r	r ²
Greenshields	$U_s = 37,5527 - 0,1498 D$	0.6542	0.4280
Greenberg	$U_s = 5.3761 \ln(13123,6480/D)$	0.8036	0.6458
Underwoods	$U_s = 37.5247 e^{-D/2325581}$	0.6717	0.4512

Dari keempat studi tersebut diatas, secara umum karakteristik jalan yang diamati hampir sama yaitu : ruas jalan yang difungsikan sebagai jalan arteri, namun ada perbedaan karakteristik arus lalu lintas yang diamati, seperti ruas jalan yang homogen, hanya berupa kendaraan penumpang yaitu pada ruas jalan HR. Rasuna Said Jakarta (Ofyar), arus tercampur pada ketiga studi yang lainnya dengan proporsi campuran yang berbeda-beda antara kendaraan ringan, kendaraan berat, sepeda motor, dan kendaraan bermotor.

2.11. Uji Signifikansi

Untuk mengetahui apakah terjadi hubungan *linier* antara variabel bebas dengan tidak bebas maka dilakukan uji *signifikansi*. Uji *signifikansi* ini biasanya dengan memakai uji t (*student's test*) dan uji F (*variance ratio test/the F test*).

Uji t digunakan untuk menentukan apakah variabel bebas (x) secara individual berpengaruh terhadap variabel tidak bebas (y). sebagai tolak ukur pada pengujian ini adalah dengan membandingkan nilai t dari hasil hitungan dengan nilai t dari tabel *distribusi* berdasarkan taraf *signifikansi* yang dipilih. Apabila nilai t hasil hitungan berada diluar daerah penerimaan H_0 maka berarti bahwa variabel bebas (x) secara individual berpengaruh terhadap variabel tidak bebas (y). Sehingga semakin besar nilai t perhitungan dari t tabel, maka semakin

menunjukkan variabel bebas (X) secara individual lebih berpengaruh terhadap variabel tidak bebas (Y).

Nilai t dihitung dengan rumus :

$$t = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{S / \sqrt{n}} \quad (2.30)$$

keterangan : \bar{X}_1 = mean dari variabel 1

\bar{X}_2 = mean dari variabel 2

t = student's t test

s = standar deviasi

n = jumlah sampel

Uji F digunakan untuk mengetahui tingkat *signifikansi* antara kedua *variance* yang dihasilkan dari kedua variabel (variabel bebas dan tak bebas). *Variance* itu sendiri merupakan kuadrat dari simpangan baku dari data yang ada dalam variabel. Rumus untuk menghitung nilai F adalah :

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (2.31)$$

Keterangan :

F = *Valiance ratio test*

S_1 = Standar deviasi variabel 1

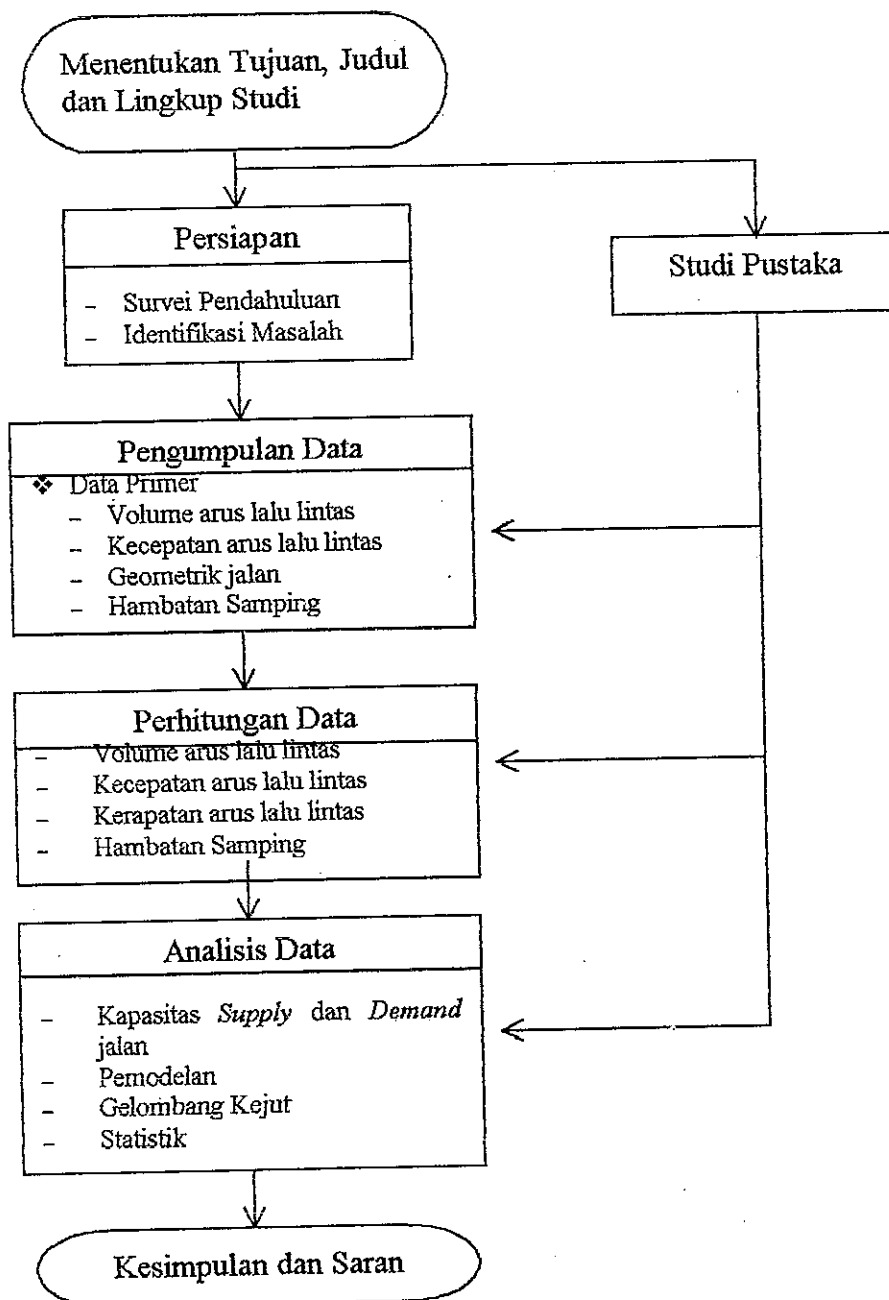
S_2 = Standar deviasi variabel 2

Sebagai tolak ukur dalam uji F ini adalah membandingkan nilai t dari hasil hitungan dengan nilai t dari tabel *distribusi* berdasarkan taraf *signifikansi* yang dipilih. Semakin besar nilai F perhitungan dari F tabel, maka semakin menunjukkan tingkat *signifikansi* antara variabel bebas dan tak bebas yang lebih besar.

BAB III METODOLOGI

3.1. Alur Kegiatan

Secara keseluruhan kegiatan penyusunan tesis ini dapat digambarkan ke dalam bagan alur sebagai berikut :



Gambar.3.1 Bagan Alur Kegiatan

3.2. Survei Pendahuluan

Sebelum dilaksanakan pengambilan data secara lengkap, diperlukan survei pendahuluan yang digunakan sebagai bahan pertimbangan yang sifatnya penjajagan.

Kegiatan yang dilakukan pada survei pendahuluan ini adalah :

- Menetapkan pilihan metode yang didasarkan pada kemampuan data yang hendak digunakan.
- Menaksir keadaan atau mutu data yang akan diambil.
- Menaksir kebutuhan akan ukuran sampel yang akan diambil.
- Menentukan pembagian periode pengamatan/*observasi* yang dipandang penting.

Survei pendahuluan yang dilakukan untuk mendapatkan data untuk studi ini adalah survei volume baik survei lapangan maupun survei sekunder (dari instansi terkait) yang dipakai untuk memutuskan waktu pengamatan dan interval waktu yang digunakan pada survei selanjutnya. Disamping itu dilakukan juga survei kecepatan (*spot speed*), yang nantinya digunakan sebagai dasar untuk memutuskan besarnya panjang penggal jalan pengamatan.

3.3. Metodologi Pengambilan Data

3.3.1. Kebutuhan Peralatan

Sebagaimana yang telah diuraikan sebelumnya, bahwa data-data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data jumlah arus lalu lintas (*volume*) yang didapat dengan mencatat banyaknya kendaraan yang melewati satu garis pengamatan, dan data besarnya kecepatan (kecepatan rata-rata ruang) yang diperoleh dengan mencatat waktu tempuh kendaraan yang lewat pada suatu penggal jalan pengamatan. Dengan demikian untuk memperoleh data dalam penelitian ini diperlukan peralatan sebagai berikut :

- Lakban.

- *Stop watch.*
- Alat tulis dan perlengkapan pencatatan data dilapangan.
- Alat hitung dengan cara manual (*counter*).
- Sarana Transportasi .
- Kamera Video
- Kaset Video
- Meteran
- Payung
- *Video Player*
- Televisi

3.3.2. Periode Pengamatan

Berdasarkan pengamatan pada survei pendahuluan sebelumnya, untuk pengambilan data lapangan ditetapkan hari senin tanggal 27 mei 2002 dengan pertimbangan bahwa pada hari senin tersebut dianggap mewakili kondisi arus lalulintas yang padat, sebab pada hari tersebut, aktivitas kegiatan sangat tinggi karena sebelumnya adalah hari libur. Sedangkan interval waktu pengamatan lapangan ditetapkan selama (5) lima menitan. Penelitian ini dilakukan selama 6 jam yaitu pada jam 07.00-09.00, 10.00-12.00, 15.00-17.00. Selama 6 jam pengamatan ini terdapat 72 kelompok interval waktu 5 menitan.

3.3.3. Macam dan Banyaknya Data

Seperti yang telah diuraikan bahwa untuk penelitian arus lalulintas, penggolongan jenis kendaraan dibagi atas lima kategori yaitu : *Medium Heavy Vehicle* (MHV), *Large Truk* (LT), *Large Bus* (LB), *Light Vehicle* (LV) , *Motor Cycle* (MC). Sedangkan banyaknya data sesuai dengan keadaan data dilapangan berupa jumlah masing-masing moda pada setiap periode dan jam pengamatan. Selanjutnya untuk data kecepatan kendaraan, untuk setiap periode pengamatan 5 menit diambil beberapa sampel kendaraan pada keseluruhan

jam pengamatan; sehingga akan terkumpul data-data untuk dilakukan pengolahan selanjutnya.

3.4. Data-data yang diperlukan

- a. Volume
- b. Kecepatan
- c. Hambatan samping (*Side Friction*)
- d. Geometrik jalan

3.5. Teknis Pelaksanaan Pengambilan Data Lapangan

Pengambilan data lapangan untuk analisis studi ini, dilakukan untuk mendapatkan data arus lalu lintas (volume) dan data kecepatan (kecepatan rata-rata ruang) pada ruas jalan yang diamati.

Pengambilan data volume dan kecepatan ini dilakukan pada 3 posisi titik pengamatan yang terletak pada 1 posisi titik pengamatan pada kondisi jalan normal, 1 posisi titik pengamatan pada kondisi jalan menyempit dan 1 posisi titik pengamatan pada pertemuan antara kondisi jalan normal dan menyempit.

3.5.1. Data Volume Lalu Lintas

Pengumpulan data volume lalu lintas atau banyaknya kendaraan yang lewat pada garis pengamatan dilakukan dengan cara mencatat semua kendaraan yang melewati suatu garis injak melintang pada pos pengamatan selama waktu pengamatan, dibantu dengan pemakaian alat hitung manual (*counter*). Pencatatan dilakukan untuk setiap interval waktu 5 menit pada setiap jam pengamatan.

a. **Pengaturan waktu pelaksanaan**

Pengambilan data volume lalu-lintas dilakukan dengan menggunakan Kamera video, pengambilan data dilakukan sepanjang 6 jam waktu pengamatan secara terus menerus. Untuk setiap pengamatan (1) satu jam diberikan 12 "*time slice*" 5 menit, digunakan untuk memudahkan cara pengambilan data ini, setiap 12 *time slice* ini menggunakan sebuah *form* (lembar pencatatan). Jadi pada setiap pengamatan selama waktu 1 (satu) jam pengamatan dilakukan penggantian *form* pencatatan.

b. **Tata cara pelaksanaan**

Dalam usaha pencatatan volume dilapangan ini, tata cara pelaksanaannya dilakukan sebagai berikut :

- Pengambilan gambar dilakukan pada jam 07.00-09.00, 10.00-12.00, 15.00-17.00.
- Kamera Video diaktifkan terus-menerus pada saat pengambilan gambar.
- Hasil pengambilan gambar dilapangan, selanjutnya diputar kembali di *Video Player* untuk diamati dan dihitung kecepatan kendaraannya.
- Setiap kendaraan yang lewat dicatat pada form yang telah disediakan dengan memberikan tanda strip pagar atau angka pada format kolom yang telah dipisahkan setiap *slice* dalam satu jam pencatatan
- Pencatatan tersebut dilakukan untuk interval waktu selama 6 jam pengamatan.

3.5.2. Data Kecepatan Kendaraan

Pengumpulan data kecepatan kendaraan dilapangan dilakukan dengan metode kecepatan setempat dengan mengukur waktu perjalanan bergerak. Metode kecepatan

setempat dimaksudkan untuk pengukuran karakteristik kecepatan pada lokasi tertentu pada lalu lintas dan kondisi lalu lintas yang ada pada saat studi. Pada pencatatan data kecepatan ini jenis kendaraan yang dicatat adalah kecepatan jenis kendaraan yang dicatat adalah kecepatan jenis kendaraan bermotor..

Pada penelitian ini, pencatatan waktu tempuh pada penggal jalan pengamatan untuk setiap kelompok jenis kendaraan dilakukan semuanya, sehingga dapat menggambarkan keadaan sebenarnya dilapangan. Pelaksanaan survei kecepatan ini dilakukan dengan menggunakan Kamera Video, kecepatan dihitung berdasarkan waktu tempuh dengan ketentuan lihat tabel 3.1. Lokasi pengamatan kecepatan ini dilakukan pada ruas jalan jauh dari persimpangan dan pada kondisi lalu lintas normal. Alat yang digunakan adalah *stop watch*, meteran, lakban yang ditempelkan pada permukaan sebagai batas penggal jalan pengamatan.

Sedangkan tata cara untuk pengambilan sampel adalah semua kendaraan yang melewati penggal jalan pengamatan. Berdasarkan panduan survei dan perhitungan waktu perjalanan lalu lintas No.001/T/BNKT/1990 Dirjen Bina Marga Direktorat Pembinaan Jalan Kota, memberikan suatu rekomendasi terhadap panjang penggal jalan pengamatan sesuai perkiraan kecepatan rata-rata arus lalu lintas yang terjadi dilapangan seperti yang disajikan dalam Tabel 3.1 berikut ini :

Tabel 3.1 Rekomendasi panjang penggal jalan pengamatan

No.	Kecepatan rata-rata (Km/j)	Panjang penggal pengamatan
1	≤ 40 Km/j	25 m
2	40 – 65 Km/j	50 m
3	≥ 65 Km/j	75 m

Sumber : BINKOT No.001/T/BNKT/1990

a. Pengaturan waktu pelaksanaan

Seperti pada pengambilan data volume lalu lintas, pencatatan waktu tempuh ini dilakukan selama 6 jam dalam satu hari, dengan membagi satu jam

pengamatan kedalam 5 menit *time slice* (interval waktu 5 menitan). Untuk keseluruhan pencatatan petugas dibedakan atas tiga (3) kelompok jenis kendaraan bermotor yang diamati.

b. Tata cara pelaksanaan

Tata cara pelaksanaan pengambilan data waktu tempuh untuk mendapatkan data kecepatan ini dilakukan sebagai berikut :

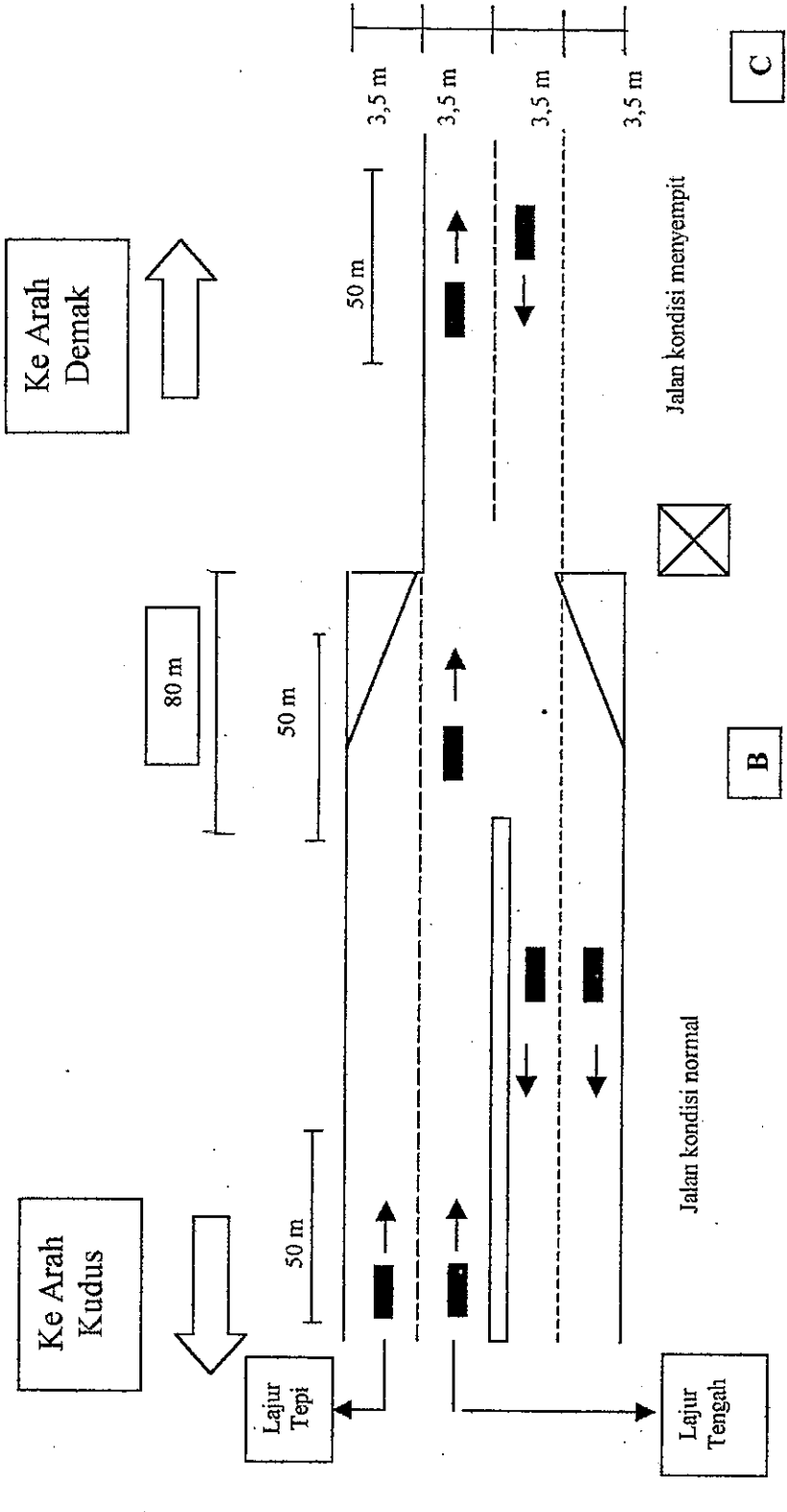
- Pengambilan gambar dilakukan pada jam 07.00-09.00, 10.00-12.00, 15.00-17.00.
- Jarak Pengambilan gambar disesuaikan dengan tabel 3.1.
- Kamera Video Kamera diaktifkan terus-menerus pada saat pengambilan gambar.
- Hasil pengambilan gambar dilapangan, selanjutnya diputar kembali di *Video Player* untuk diamati dan dihitung kecepatan kendaraannya.
- Waktu yang sudah didapatkan (waktu tempuh) langsung dicatat pada *form* yang telah tersedia sesuai dengan *time slice* pengamatan. Selanjutnya dilakukan pencatatan yang serupa lagi terhadap kendaraan contoh lain berikutnya.

3.5.3. Data Hambatan Samping (*Side Friction*)

Pengumpulan data hambatan samping dilapangan dilakukan dengan menghitung jenis aktivitas samping jalan pada lokasi studi. Pelaksanaan survei pengambilan data hambatan samping ini dilakukan dengan menggunakan kamera video. Sementara untuk pengaturan waktu pelaksanaan dan tata cara pelaksanaan sama dengan survei pada saat pengambilan data kecepatan dan data volume lalu-lintas.

3.5.4. Data Kondisi Geometrik Jalan.

Pengambilan data kondisi Geometrik Jalan dilakukan pada lokasi jalan yang akan diamati dengan mengukur dan mengamati kondisi geometrik seperti : Tipe jalan, Lebar lajur lalu-lintas, Lebar dan keadaan dari (kerb, bahu dan median), serta alinyemen jalan.



Gambar 3.2 Sketsa Posisi Titik Pengamatan

Keterangan :

- A = Posisi video kamera pada kondisi jalan normal
- B = Posisi video kamera pada kondisi pertemuan antara jalan normal dan menyempit
- C = Posisi video kamera pada kondisi jalan menyempit

3.6. Pengolahan Data

3.6.1. Volume

Dalam selang waktu 5 (lima) menit, masing-masing jenis kendaraan dihitung, jumlahnya sesuai dengan pembagian peruntukan *form*/lembar kerja lapangan (kendaraan ringan, kendaraan berat, sepeda motor). Dari hasil perhitungan masing-masing kendaraan tersebut dapat diketahui jumlah total jenis kelompok kendaraan yang dicatat, dan jumlah total keseluruhan dari kendaraan.

Selanjutnya sesuai dengan ketentuan faktor konversi (emp) terhadap kendaraan mobil penumpang (kendaraan ringan), jumlah masing-masing kendaraan tersebut selanjutnya dikonversikan kedalam Satuan Mobil Penumpang (smp) yang dikelompokkan dalam jumlah total semua kendaraan dalam smp dan jumlah total kendaraan bermotor dalam smp pula. Penghitungan dilakukan secara terus menerus untuk semua data kendaraan yang masuk pada keseluruhan jam pengamatan, sehingga didapat susunan data volume kendaraan pada setiap interval waktunya.

3.6.2. Kecepatan dan Kecepatan Rata-rata Ruang

Periode pengukuran untuk pengamatan data-data kecepatan ini adalah sama seperti pada data volume, yaitu setiap periode 5 menit. Berdasarkan pada jarak tempuh yang sudah diketahui, maka waktu tempuh dari masing-masing kendaraan dapat dicatat. Untuk perhitungan kecepatan rata-rata dari seluruh kendaraan yang melewati suatu titik dari jalan selama periode waktu tertentu digunakan rumus (2.2), sedangkan untuk perhitungan kecepatan rata-rata dari seluruh kendaraan yang melewati penggal jalan selama periode waktu tertentu digunakan rumus (2.3)

Kedua perhitungan ini dibuatkan hasilnya dengan tabel terpisah. Mengingat bahwa periode pengamatan lapangan adalah 5 menit pada setiap jam pengamatan, maka dalam 6 jam pengamatan sehari didapat 72 buah data.

3.6.3. Hambatan Samping (*Side Friction*)

Dalam selang waktu 5 menit, masing-masing jenis aktivitas hambatan samping dihitung. Besarnya hambatan samping dari suatu ruas jalan merupakan jumlah total dari masing-masing aktivitas samping jalan setelah dikalikan faktor bobot masing-masing, (tabel 2.3)

3.6.4. Kondisi Geometrik Jalan

Data kondisi geometrik jalan yang telah diamati dan diukur, kemudian selanjutnya dicatat untuk digunakan dalam perhitungan menentukan kecepatan arus bebas dan kapasitas dari segmen jalan yang ditinjau.

3.7. Metodologi Analisa Data

3.7.1. Perhitungan Volume Lalu Lintas

Telah diuraikan diatas, setelah data lalu lintas terkumpul selama periode jam pengamatan, maka dilakukan penghitungan volume lalu lintas dengan mengalikan jumlah setiap jenis kendaraan kedalam konversi Satuan Mobil Penumpang (smp). Selanjutnya besar volume lalu lintas (dalam satuan mobil penumpang/smp) dikelompokkan dalam kelompok jumlah total dari seluruh kendaraan, dan kelompok jumlah total kendaraan bermotor. Besar nilai volume lalu lintas ini sebagai satu variabel dalam analisa studi hubungan Volume – Kecepatan – Kerapatan dari masing-masing model pendekatan yang akan dibahas.

3.7.2. Perhitungan Kecepatan dan Kecepatan Rata-rata

Seperti perhitungan volume lalu lintas, perhitungan Kecepatan kendaraan dan Kecepatan Rata-rata Ruang dilakukan setelah data kecepatan dari setiap jenis kendaraan tercatat dan tersusun selama jam pengamatan. Perhitungan kecepatan ini digunakan perhitungan kecepatan rata-rata ruang dengan menggunakan rumus (2.3) yaitu perhitungan kecepatan rata-rata ruang untuk setiap kelompok jenis kendaraan, kemudian dilanjutkan dengan kecepatan rata-rata ruang untuk semua jenis kendaraan bermotor menggunakan rumus (2.2). Besar Kecepatan Rata-rata Ruang ini merupakan salah satu variabel dalam mencari hubungan antara Volume – Kecepatan – Kepadatan dari setiap model pendekatan yang ditinjau.

3.7.3. Perhitungan Kerapatan Lalu Lintas

Perhitungan besarnya variabel kerapatan (*density/D*) dapat dihitung dengan melakukan pembagian antara volume (*V*) dalam smp yang dikonversi dalam tiap jamnya (yaitu dengan mengalikan dua belas), dengan kecepatan rata-rata ruang (*U_{sr}*) dalam km/j tersebut sebagaimana dijelaskan pada bagian sebelumnya, maka kerapatan ini mempunyai satuan smp/km. Ketiga variabel ini (*V*, *U_{sr}*, dan *D*) selanjutnya digunakan untuk menganalisa model pendekatan yang digunakan dalam analisa hubungan arus lebih lanjut.

3.7.4. Perhitungan Hambatan Samping (*Side Friction*)

Setelah data hambatan samping terkumpul selama periode jam pengamatan, maka dilakukan perhitungan hambatan samping yang merupakan jumlah total dari masing – masing aktivitas samping jalan setelah dilakukan faktor bobot masing – masing (Tabel 2.3). Selanjutnya total bobot hambatan samping semua kegiatan dibandingkan dengan klasifikasi kelas hambatan samping (Tabel 2.4). Setelah klasifikasi kelas hambatan diperoleh,

selanjutnya disesuaikan dengan faktor penyesuai hambatan samping (Tabel 2.5). Faktor penyesuai hambatan samping digunakan untuk memperoleh kapasitas jalan pada lokasi studi.

3.7.5. Perhitungan Model Hubungan Kecepatan – Volume – Kerapatan

Setelah semua diketahui besarnya berdasarkan hasil survei lapangan selama jam pengamatan, maka dilakukan analisa/uji statistik seperti : analisa *regresi linier* untuk mendapatkan besarnya nilai parameter model. Analisa korelasi untuk menganalisa sejauh mana ketepatan fungsi regresi dengan mencari besarnya nilai koefisien determinasi, serta uji signifikansi t test dan F test.

Selanjutnya dilakukan analisa matematis untuk menggambarkan model dari masing-masing model pendekatan seperti : model pendekatan *Greenshields*, *Greenberg*, *Underwood*, sesuai dengan rumusan model hubungan yang dikembangkan oleh masing-masing model pendekatan yang ditinjau. Dari Uji statistik dan analisa regresi didapatkan nilai parameter model, sehingga besar nilai kecepatan pada kondisi arus bebas, *density jam akan didapat* yang dipergunakan untuk mengetahui model yang paling mendekati dari lokasi yang diamati.

BAB IV

PENYAJIAN DATA

4.1. Ruas Jalan

Ruas jalan yang disurvei adalah Jalan Arteri Primer yang menghubungkan Kota Demak dengan Kota Kudus.

Lokasi survei berada pada desa Jombor Kabupaten Demak berjarak kurang lebih lima kilometer dari kota Demak, dipandang dari arah Kudus ke Demak pada lokasi tersebut terjadi penyempitan jalur. Pada bagian pertama kondisi jalan terdiri dari 2 arah, 4 lajur dengan pembatas jalan (median), yaitu 2 lajur ke arah Demak dan 2 lajur ke arah Kudus yang diantaranya dipisahkan oleh pembatas jalan berupa Median, pada bagian ini disebut sebagai jalan Normal. Sedangkan pada bagian kedua adalah pada bagian menyempit terdiri dari 2 lajur dan 2 arah.

Dari dua bagian tersebut yang disurvei adalah arah yang menuju ke Demak, secara rinci data ruas jalan tersebut adalah sebagai berikut :

A. Kondisi Normal.

1. Terdiri dari 4 lajur, 2 arah.
2. Lebar masing-masing lajur : 3,5 m
3. Pemisah arah dibatasi oleh Median
4. Pemisah lajur berupa marka garis lurus terputus-putus.
5. Kondisi perkerasan baik.
6. Bahu jalan : 2 m (Bahu dalam + luar)

B. Kondisi Menyempit

1. Terdiri dari 2 lajur, 2 arah.
2. Lebar lajur : 3,5 m.

3. Pemisah arah berupa marka garis lurus terputus-putus.
4. Kondisi perkerasan relatif baik (sedikit berlobang).
5. Bahu jalan : 1,5 m (Bahu tak diperkeras)

4.2. Volume Lalu – lintas

Volume lalu lintas yang lewat dicatat pada 4 tempat secara terpisah, yaitu pada bagian jalan Normal di lajur tengah dan lajur tepi, pada bagian jalan pertemuan antara jalan Normal dan menyempit serta pada bagian jalan menyempit.

4.3. Kecepatan Kendaraan.

Seperti halnya pada pengambilan data volume lalu lintas, pada pengambilan data kecepatan kendaraan inipun dilakukan empat tempat terpisah.

Pengambilan data kecepatan pada tiap-tiap lajur yaitu dua lajur pada jalan kondisi normal, satu lajur pada kondisi pertemuan jalan antara jalan Normal dan menyempit serta satu lajur pada jalan kondisi menyempit.

4.4. Hambatan Samping

Dari hasil pengamatan terhadap jalan yang digunakan untuk penelitian, dapat diketahui bahwa beberapa tipe kejadian hambatan samping yang dominan terjadi di sepanjang jalan yang diamati (terutama pada jam puncak) yaitu banyaknya kendaraan tak bermotor (sepeda) yang beroperasi dan pejalan kaki. Dengan mempertimbangkan hal-hal tersebut di atas, dapat dikatakan bahwa hambatan samping yang terjadi di sepanjang jalan yang diamati mempunyai karakteristik yang sama, yaitu dominan dipengaruhi oleh kendaraan tak bermotor dan pejalan kaki.

4.5. Contoh Cara Pengolahan Data.

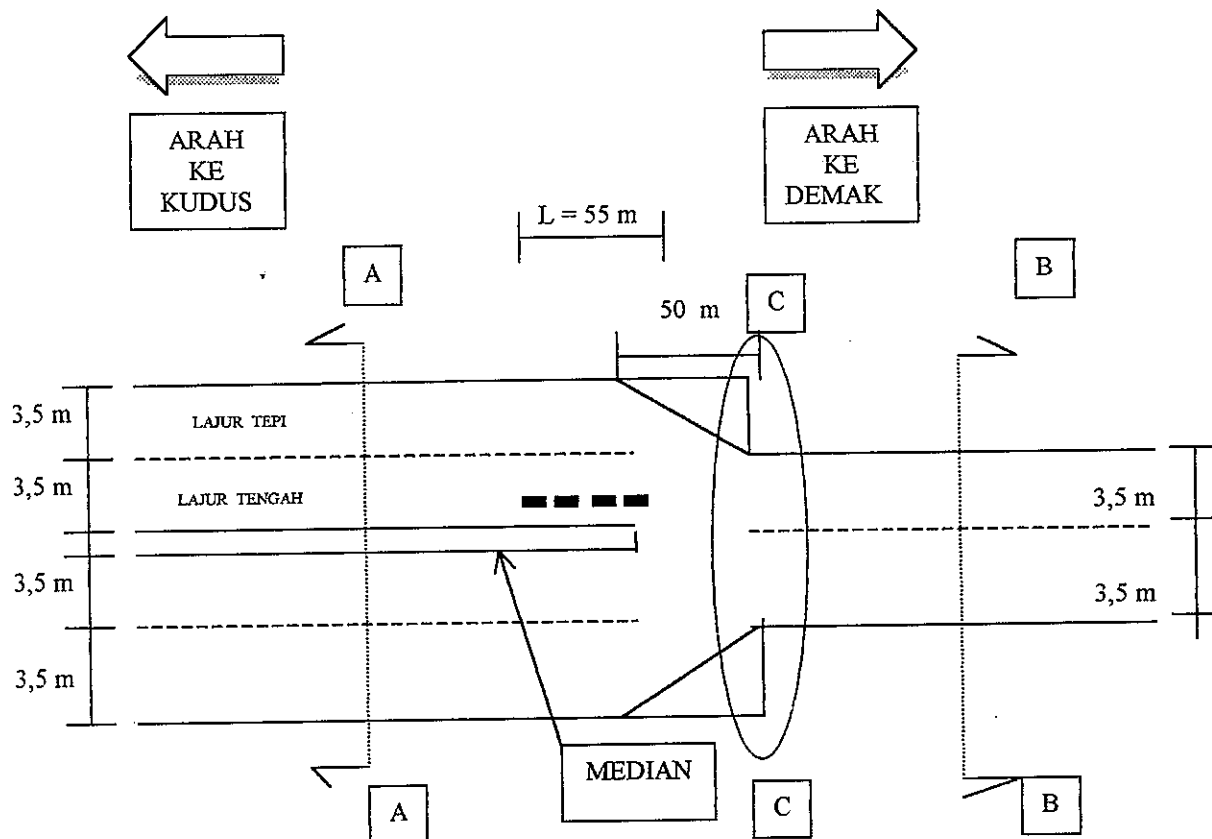
4.5.1. Volume Arus Lalu Lintas

Dari hasil pencatatan jumlah kendaraan sebenarnya di lapangan pada penggal jalan menyempit dan pertemuan antara jalan menyempit dan normal masing-masing untuk arah ke Demak dan arah ke Kudus untuk *time slice* 5 menitan kemudian data masing-masing kendaraan tersebut kemudian dijumlah dan dijadikan dalam satuan kendaraan per jam.

Untuk menghitung *prosentase* kendaran pada masing-masing arah yaitu dengan menjumlahkan kendaraan untuk dua arah, kemudian masing-masing arah dapat diketahui prosentasenya setelah masing-masing arah dibagi total kedua arah dan dikalikan seratus. Selanjutnya setelah diketahui jumlah total kendaraan untuk dua arah sebagai syarat untuk mendapatkan nilai konversi kendaraan sesuai tabel 2.1 (Hal.20) akan dihitung jumlah volume sebenarnya dalam satuan mobil penumpang (smp) dengan mengkombinasikan hasil survei untuk masing-masing jenis kendaran dengan satuan nilai konversi pada tabel 2.1(Hal.20). Karena total volume biasanya tidak tepat sama dengan satuan yang ada di tabel, maka perlu dilakukan penyesuaian dengan Interpolasi. Sebagai contoh pada *time slice* 08.00 – 08.05 pada volume lalulintas penggal jalan menyempit arah Demak. Jjumlah volume total dua arah. 1584 kendaraan, yang berada pada range antara 1350 sampai 1900, maka untuk menentukan nilai konversi, misal pada MHV dari 1,5 sampai dengan 1,3 perlu diadakan *Interpolasi* nilai tersebut, yaitu : $1,5 - \{[(1584-1350)/(1900-1350)] \times (1,3-1,5)\} = 1,415$.

Selanjutnya untuk perhitungan pada penggal jalan Normal, setelah dihitung total kendaraan per jam pada lajur tengah dan tepi masing-masing pada tabel 2.2 (Hal.20). didasarkan pada jumlah volume per arah, maka cukup dihitung total jumlah kendaraan arah ke Demak saja. Kemudian untuk perhitungan volume kendaraan dalam satuan mobil penumpang (smp) untuk penggal jalan normal lajur tengah dan tepi keduanya untuk arah ke Demak, nilai konversi perlu di*interpolasi* sama dengan proses pada perhitungan penggal jalan menyempit.

Selanjutnya ringkasan hasil survei dan perhitungan volume lalu lintas dapat dilihat pada tabel 4.1,4.2,4.3, sedangkan denah lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar. 4.1 Denah Lokasi

Keterangan :

A-A : Penggal Jalan Normal

B-B : Penggal Jalan Menyempit

C-C : Penggal Jalan Pertemuan antara Jalan Normal dan Menyempit

L : Panjang antrian maksimum hasil pengamatan dilapangan.

Tabel. 4.1 Ringkasan hasil survei dan perhitungan Volume lalu lintas pada Penggal jalan normal arah ke Demak (section A-A)

Periode Waktu	Volume (Smp/ Jam)	Periode Waktu	Volume (Smp/ Jam)	Periode Waktu	Volume (Smp/ Jam)
07.00 – 07.05	575,84	10.00 – 10.05	747,96	15.00 – 15.05	855,6
07.05 – 07.10	574,2	10.05 – 10.10	960,36	15.05 – 15.10	733,92
07.10 – 07.15	750,76	10.10 – 10.15	760,44	15.10 – 15.15	729,72
07.15 – 07.20	525,8	10.15 – 10.20	708,48	15.15 – 15.20	935,72
07.20 – 07.25	507,36	10.20 – 10.25	885	15.20 – 15.25	1025,8
07.25 – 07.30	572,28	10.25 – 10.30	821,76	15.25 – 15.30	1122,32
07.30 – 07.35	633,96	10.30 – 10.35	1000,08	15.30 – 15.35	648
07.35 – 07.40	602,88	10.35 – 10.40	1035,8	15.35 – 15.40	635,64
07.40 – 07.45	709,44	10.40 – 10.45	1021,32	15.40 – 15.45	841,2
07.45 – 07.50	765,52	10.45 – 10.50	1025,36	15.45 – 15.50	975,92
07.50 – 07.55	750,44	10.50 – 10.55	1045,2	15.50 – 15.55	924,12
07.55 – 08.00	755,48	10.55 – 11.00	1019,4	15.55 – 16.00	704,28
08.00 – 08.05	616,08	11.00 – 11.05	777,36	16.00 – 16.05	719,76
08.05 – 08.10	1116,64	11.05 – 11.10	925,68	16.05 – 16.10	766,32
08.10 – 08.15	1025,36	11.10 – 11.15	964,68	16.10 – 16.15	854,52
08.15 – 08.20	835,8	11.15 – 11.20	964,92	16.15 – 16.20	769,68
08.20 – 08.25	667,56	11.20 – 11.25	1015,64	16.20 – 16.25	1120,6
08.25 – 08.30	835,12	11.25 – 11.30	891	16.25 – 16.30	913,2
08.30 – 08.35	732,72	11.30 – 11.35	963,36	16.30 – 16.35	663,12
08.35 – 08.40	755,72	11.35 – 11.40	866,64	16.35 – 16.40	845,88
08.40 – 08.45	736,8	11.40 – 11.45	515,52	16.40 – 16.45	708
08.45 – 08.50	1080,08	11.45 – 11.50	742,8	16.45 – 16.50	685,92
08.50 – 08.55	619,75	11.50 – 11.55	735,96	16.50 – 16.55	863,76
08.55 – 09.00	613,68	11.55 – 12.00	783,36	16.55 – 17.00	692,88

Tabel. 4.2. Ringkasan hasil survei dan perhitungan Volume lalu lintas pada Penggal jalan menyempit arah ke Demak (section B-B)

Periode Waktu	Volume (Smp/ Jam)	Periode Waktu	Volume (Smp/ Jam)	Periode Waktu	Volume (Smp/ Jam)
07.00 – 07.05	846,72	10.00 – 10.05	890,4	15.00 – 15.05	828,48
07.05 – 07.10	691,8	10.05 – 10.10	996	15.05 – 15.10	579,48
07.10 – 07.15	598,2	10.10 – 10.15	1075,2	15.10 – 15.15	822,24
07.15 – 07.20	600	10.15 – 10.20	937,2	15.15 – 15.20	713,28
07.20 – 07.25	523,2	10.20 – 10.25	500,8	15.20 – 15.25	925,6
07.25 – 07.30	916,8	10.25 – 10.30	968,4	15.25 – 15.30	900,04
07.30 – 07.35	770,04	10.30 – 10.35	886,8	15.30 – 15.35	620,88
07.35 – 07.40	726,48	10.35 – 10.40	1128	15.35 – 15.40	615,36
07.40 – 07.45	548,4	10.40 – 10.45	830,04	15.40 – 15.45	759,36
07.45 – 07.50	760,64	10.45 – 10.50	800,76	15.45 – 15.50	815,52
07.50 – 07.55	725,6	10.50 – 10.55	802,72	15.50 – 15.55	754,56
07.55 – 08.00	831,6	10.55 – 11.00	961,2	15.55 – 16.00	625,6
08.00 – 08.05	754,8	11.00 – 11.05	1050	16.00 – 16.05	609,24
08.05 – 08.10	768,24	11.05 – 11.10	856,8	16.05 – 16.10	1032,24
08.10 – 08.15	483,6	11.10 – 11.15	850,12	16.10 – 16.15	1000,64
08.15 – 08.20	733,92	11.15 – 11.20	926,4	16.15 – 16.20	841,2
08.20 – 08.25	704,4	11.20 – 11.25	791,04	16.20 – 16.25	905,76
08.25 – 08.30	750,56	11.25 – 11.30	625,08	16.25 – 16.30	962,88
08.30 – 08.35	525,6	11.30 – 11.35	951	16.30 – 16.35	1010,4
08.35 – 08.40	700,2	11.35 – 11.40	631,08	16.35 – 16.40	805,2
08.40 – 08.45	712,2	11.40 – 11.45	891,72	16.40 – 16.45	650,48
08.45 – 08.50	1000,48	11.45 – 11.50	795,6	16.45 – 16.50	596,8
08.50 – 08.55	985,96	11.50 – 11.55	745,2	16.50 – 16.55	700,2
08.55 – 09.00	876,12	11.55 – 12.00	907,56	16.55 – 17.00	538,68

Tabel. 4.3 Ringkasan hasil survei dan perhitungan Volume lalu lintas pada Penggal jalan pertemuan antara jalan normal dan menyempit arah ke Demak (*section C-C*)

Periode Waktu	Volume (Smp/ Jam)	Periode Waktu	Volume (Smp/ Jam)	Periode Waktu	Volume (Smp/ Jam)
07.00 – 07.05	769,56	10.00 – 10.05	910,8	15.00 – 15.05	579
07.05 – 07.10	748,32	10.05 – 10.10	910,8	15.05 – 15.10	635,04
07.10 – 07.15	787,8	10.10 – 10.15	985,2	15.10 – 15.15	882,72
07.15 – 07.20	741,72	10.15 – 10.20	990	15.15 – 15.20	753,96
07.20 – 07.25	783,84	10.20 – 10.25	757,2	15.20 – 15.25	509,76
07.25 – 07.30	754,08	10.25 – 10.30	862,8	15.25 – 15.30	839,28
07.30 – 07.35	748,08	10.30 – 10.35	830,4	15.30 – 15.35	752,64
07.35 – 07.40	666,48	10.35 – 10.40	1350,28	15.35 – 15.40	685,4
07.40 – 07.45	567,84	10.40 – 10.45	1110	15.40 – 15.45	870,72
07.45 – 07.50	759	10.45 – 10.50	825,12	15.45 – 15.50	858,84
07.50 – 07.55	924,2	10.50 – 10.55	1456,8	15.50 – 15.55	777,96
07.55 – 08.00	1014,48	10.55 – 11.00	1200,8	15.55 – 16.00	627,84
08.00 – 08.05	600,16	11.00 – 11.05	852,36	16.00 – 16.05	846,96
08.05 – 08.10	573,18	11.05 – 11.10	867,6	16.05 – 16.10	846
08.10 – 08.15	838,08	11.10 – 11.15	1054,8	16.10 – 16.15	615,6
08.15 – 08.20	829,32	11.15 – 11.20	1112,4	16.15 – 16.20	733,92
08.20 – 08.25	794,88	11.20 – 11.25	1034,4	16.20 – 16.25	764,16
08.25 – 08.30	1108,8	11.25 – 11.30	1021,2	16.25 – 16.30	891,12
08.30 – 08.35	1141,92	11.30 – 11.35	932,4	16.30 – 16.35	910,68
08.35 – 08.40	1162,32	11.35 – 11.40	1178,88	16.35 – 16.40	748,08
08.40 – 08.45	1203,36	11.40 – 11.45	898,92	16.40 – 16.45	889,56
08.45 – 08.50	1044,96	11.45 – 11.50	997,2	16.45 – 16.50	564,24
08.50 – 08.55	1200,08	11.50 – 11.55	1075,2	16.50 – 16.55	825,2
08.55 – 09.00	1150,6	11.55 – 12.00	1068	16.55 – 17.00	658,68

4.5.2. Kecepatan dan Kerapatan

Untuk mencari kecepatan ruang tiap jenis kendaraan diperoleh dengan rumus : $50 \text{ m} / \{(t_1+t_2+\dots+t_n) / n\}$ detik. Dengan catatan bahwa angka 50 m adalah jarak tempuh kendaraan yang disurvei t_i adalah waktu yang dibutuhkan untuk melintasi jarak 50 m dalam detik. Mengingat kecepatan yang dihitung dalam satuan Km / jam, maka rumus di atas perlu disesuaikan dengan satuan yang ada sehingga diperoleh rumusan baru : $\{(50/1000) \text{ Km} / [(t_1+t_2+\dots+t_n) / (n \times 3600)]\}$ jam.

Kemudian untuk mencari kecepatan rata-rata ruang untuk seluruh jenis kendaraan, diperoleh dengan cara sama seperti pada mencari kecepatan ruang tiap jenis kendaraan. Sedangkan untuk menghitung nilai kerapatan adalah dengan membagi volume kendaraan dengan kecepatan rata-rata ruang pada *time slice* yang bersesuaian. Selanjutnya ringkasan hasil perhitungan kecepatan ruang dan kerapatan kendaraan dapat dilihat pada tabel 4.4 sampai dengan 4.6.

Tabel. 4.4. Ringkasan hasil perhitungan kecepatan ruang dan kerapatan kendaraan pada Penggal jalan normal arah ke Demak (*section A-A*)

Periode Waktu	Kecepatan (Km/ Jam)	Kerapatan (smp/Km)	Periode Waktu	Kecepatan (Km/ Jam)	Kerapatan (smp/Km)
07.00 – 07.05	50,26	11,46	11.00 – 11.05	48,29	16,1
07.05 – 07.10	49,23	11,66	11.05 – 11.10	55,08	16,81
07.10 – 07.15	45,05	16,67	11.10 – 11.15	53,59	18
07.15 – 07.20	40,86	12,87	11.15 – 11.20	55,22	17,47
07.20 – 07.25	43,68	11,62	11.20 – 11.25	50,56	20,09
07.25 – 07.30	47,08	12,16	11.25 – 11.30	53,54	16,64
07.30 – 07.35	48,06	13,19	11.30 – 11.35	42,79	22,51
07.35 – 07.40	53,67	11,23	11.35 – 11.40	50,26	17,24
07.40 – 07.45	47,07	15,07	11.40 – 11.45	56,95	9,05
07.45 – 07.50	46,79	16,36	11.45 – 11.50	59,38	12,51
07.50 – 07.55	45,33	16,56	11.50 – 11.55	59,95	12,28
07.55 – 08.00	46,98	16,08	11.55 – 12.00	59,69	13,12
08.00 – 08.05	52,27	11,79	15.00 – 15.05	58,94	14,52
08.05 – 08.10	42,61	26,21	15.05 – 15.10	60,46	12,14
08.10 – 08.15	45,86	22,36	15.10 – 15.15	60,57	12,05
08.15 – 08.20	48,45	17,25	15.15 – 15.20	43,59	21,47
08.20 – 08.25	58,45	11,42	15.20 – 15.25	43,91	23,36
08.25 – 08.30	45,14	18,50	15.25 – 15.30	42,17	26,61
08.30 – 08.35	55,54	13,19	15.30 – 15.35	57,23	11,32
08.35 – 08.40	56,89	13,28	15.35 – 15.40	55,32	11,49
08.40 – 08.45	55,98	13,16	15.40 – 15.45	61,54	13,67
08.45 – 08.50	48,29	22,37	15.45 – 15.50	63,37	15,4
08.50 – 08.55	45,74	13,55	15.50 – 15.55	61,12	15,12
08.55 – 09.00	46,9	13,08	15.55 – 16.00	62,07	11,35
10.00 – 10.05	47,19	15,85	16.00 – 16.05	60,12	11,97
10.05 – 10.10	43,25	22,20	16.05 – 16.10	61,04	12,55
10.10 – 10.15	59,34	12,81	16.10 – 16.15	65,51	13,04
10.15 – 10.20	56,9	12,45	16.15 – 16.20	62,84	12,25
10.20 – 10.25	58,66	15,09	16.20 – 16.25	45,72	24,51
10.25 – 10.30	62,01	13,25	16.25 – 16.30	55,1	16,57
10.30 – 10.35	58,07	17,22	16.30 – 16.35	59,6	11,13
10.35 – 10.40	49,15	21,07	16.35 – 16.40	45,35	18,65
10.40 – 10.45	43,64	23,40	16.40 – 16.45	62,82	11,27
10.45 – 10.50	45,88	22,35	16.45 – 16.50	58,32	11,76
10.50 – 10.55	55,78	18,74	16.50 – 16.55	61,99	13,93
10.55 – 11.00	56,29	18,11	16.55 – 17.00	60,97	11,36

Tabel. 4.5. Ringkasan hasil perhitungan kecepatan ruang dan kerapatan kendaraan pada Penggal jalan menyempit arah ke Demak (*section B-B*).

Periode Waktu	Kecepatan (Km/ Jam)	Kerapatan (smp/Km)	Periode Waktu	Kecepatan (Km/ Jam)	Kerapatan (smp/Km)
07.00 – 07.05	31,01	27,30	11.00 – 11.05	35,44	29,63
07.05 – 07.10	29,13	23,75	11.05 – 11.10	42,02	20,39
07.10 – 07.15	35,44	16,88	11.10 – 11.15	42,06	20,21
07.15 – 07.20	38,14	15,73	11.15 – 11.20	42,89	21,6
07.20 – 07.25	40,4	12,95	11.20 – 11.25	46,71	16,94
07.25 – 07.30	36,16	25,35	11.25 – 11.30	45,37	13,78
07.30 – 07.35	38,99	19,75	11.30 – 11.35	35,04	27,14
07.35 – 07.40	23,98	30,30	11.35 – 11.40	41,68	15,14
07.40 – 07.45	35,91	15,27	11.40 – 11.45	33,87	26,33
07.45 – 07.50	34,38	22,12	11.45 – 11.50	41,41	19,21
07.50 – 07.55	38,49	18,85	11.50 – 11.55	38,86	19,18
07.55 – 08.00	35,17	23,65	11.55 – 12.00	47,49	19,11
08.00 – 08.05	39,04	19,33	15.00 – 15.05	49,33	16,79
08.05 – 08.10	41,86	18,35	15.05 – 15.10	54,52	10,63
08.10 – 08.15	40,2	12,03	15.10 – 15.15	51,79	15,88
08.15 – 08.20	37,13	19,77	15.15 – 15.20	34,06	20,94
08.20 – 08.25	40,77	17,28	15.20 – 15.25	35,18	26,31
08.25 – 08.30	41,82	17,95	15.25 – 15.30	34,15	26,36
08.30 – 08.35	40,28	13,05	15.30 – 15.35	46,13	13,46
08.35 – 08.40	45,34	15,44	15.35 – 15.40	46,96	13,1
08.40 – 08.45	41,88	17,01	15.40 – 15.45	46,18	16,44
08.45 – 08.50	35,1	28,50	15.45 – 15.50	45,06	18,1
08.50 – 08.55	38,33	25,72	15.50 – 15.55	38,68	19,51
08.55 – 09.00	42,46	20,63	15.55 – 16.00	45,45	13,76
10.00 – 10.05	44,05	20,21	16.00 – 16.05	40,75	14,95
10.05 – 10.10	39,48	25,23	16.05 – 16.10	31,46	32,81
10.10 – 10.15	35,41	30,36	16.10 – 16.15	35,08	28,52
10.15 – 10.20	40,98	22,87	16.15 – 16.20	49,89	16,86
10.20 – 10.25	46,03	10,88	16.20 – 16.25	40,97	22,11
10.25 – 10.30	42,86	22,59	16.25 – 16.30	41,94	22,96
10.30 – 10.35	40,79	21,74	16.30 – 16.35	32,94	30,67
10.35 – 10.40	42,36	26,63	16.35 – 16.40	49,75	16,18
10.40 – 10.45	39,27	21,14	16.40 – 16.45	45,81	14,2
10.45 – 10.50	41,39	19,35	16.45 – 16.50	48,87	12,21
10.50 – 10.55	45,17	17,77	16.50 – 16.55	43,72	16,02
10.55 – 11.00	46,14	20,83	16.55 – 17.00	54,91	9,81

Tabel. 4.6. Ringkasan hasil perhitungan kecepatan ruang dan kerapatan kendaraan pada Penggal jalan pertemuan antara jalan normal dan menyempit arah ke Demak (section C-C).

Periode Waktu	Kecepatan (Km/ Jam)	Kerapatan (smp/Km)	Periode Waktu	Kecepatan (Km/ Jam)	Kerapatan (smp/Km)
07.00 – 07.05	35,18	21,87	11.00 – 11.05	36,29	23,49
07.05 – 07.10	30,47	24,56	11.05 – 11.10	48,18	18,01
07.10 – 07.15	40,91	19,26	11.10 – 11.15	43,79	24,09
07.15 – 07.20	39,76	18,65	11.15 – 11.20	43,46	25,6
07.20 – 07.25	40,82	19,20	11.20 – 11.25	48,43	21,36
07.25 – 07.30	40,66	18,55	11.25 – 11.30	46,66	21,89
07.30 – 07.35	43,42	17,23	11.30 – 11.35	40,1	23,25
07.35 – 07.40	28,61	23,30	11.35 – 11.40	42,99	27,42
07.40 – 07.45	45,9	12,37	11.40 – 11.45	35,62	25,24
07.45 – 07.50	39,23	19,35	11.45 – 11.50	42,05	23,71
07.50 – 07.55	40,83	22,64	11.50 – 11.55	47,04	22,86
07.55 – 08.00	40,76	24,89	11.55 – 12.00	48,19	22,16
08.00 – 08.05	40,18	14,94	15.00 – 15.05	57,77	10,02
08.05 – 08.10	42,26	13,56	15.05 – 15.10	59,15	10,74
08.10 – 08.15	41,4	20,24	15.10 – 15.15	53,5	16,5
08.15 – 08.20	41,35	20,06	15.15 – 15.20	40,96	18,41
08.20 – 08.25	44,68	17,79	15.20 – 15.25	55,15	9,24
08.25 – 08.30	43,49	25,50	15.25 – 15.30	37,89	22,15
08.30 – 08.35	44,51	25,66	15.30 – 15.35	48,47	15,53
08.35 – 08.40	46,3	25,10	15.35 – 15.40	52,94	12,95
08.40 – 08.45	42,72	28,17	15.40 – 15.45	58,02	15,01
08.45 – 08.50	41,57	25,14	15.45 – 15.50	46,53	18,46
08.50 – 08.55	42,95	27,94	15.50 – 15.55	53,79	14,46
08.55 – 09.00	44,35	25,94	15.55 – 16.00	47,91	13,1
10.00 – 10.05	45,09	20,20	16.00 – 16.05	58,09	14,58
10.05 – 10.10	40,31	22,59	16.05 – 16.10	58,68	14,42
10.10 – 10.15	41,72	23,61	16.10 – 16.15	57,18	10,77
10.15 – 10.20	49,39	20,04	16.15 – 16.20	60,97	12,04
10.20 – 10.25	49,97	15,15	16.20 – 16.25	43,34	17,63
10.25 – 10.30	50,49	17,09	16.25 – 16.30	53,51	16,65
10.30 – 10.35	49,66	16,72	16.30 – 16.35	55,74	16,34
10.35 – 10.40	43,61	30,96	16.35 – 16.40	42,24	17,71
10.40 – 10.45	40,53	27,39	16.40 – 16.45	60,37	14,74
10.45 – 10.50	44,49	18,55	16.45 – 16.50	55,86	10,1
10.50 – 10.55	45,87	31,76	16.50 – 16.55	58,93	14
10.55 – 11.00	46,17	26,01	16.55 – 17.00	60,97	10,8

4.5.3. Hambatan Samping

Pada tabel 4.7. sampai dengan 4.10. merupakan tabel data hasil survei hambatan samping sepanjang jalan yang akan diamati sesuai dengan masing-masing jenis hambatan samping. Setelah didapat masing-masing jenis hambatan (pada jam puncak) kemudian dijumlahkan masing-masing jenis hambatan sehingga didapatkan frekuensi kejadian masing-masing jenis hambatan samping. Selanjutnya menghitung frekuensi berbobot yaitu dengan mengalikan frekuensi kejadian masing-masing jenis hambatan samping dengan faktor bobot masing-masing jenis hambatan samping, kemudian didapatkan total hambatan samping dengan menjumlahkan seluruh frekuensi kejadian setelah dikalikan dengan faktor bobot. Setelah didapatkan total hambatan samping kemudian disesuaikan dengan kelas hambatan samping pada tabel 2.4. (Hal.32)

Sehingga akhirnya didapatkan kategori kelas hambatan samping pada kondisi jalan menyempit dan jalan normal yaitu berkategori kelas hambatan samping rendah berdasarkan nilai frekwensi berbobot kejadian masing-masing bernilai 67 dan 59.

Tabel. 4.7 Hasil Survei Hambatan Samping Penggal jalan Menyempit (section B-B).

Kasus : Jam Puncak (10.00 – 11.00)													
Tipe Kejadian	5 menit ke												TOTAL
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Pejalan Kaki	6	0	2	0	4	0	3	4	3	0	0	2	24
Parkir, Kend. Berhenti	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Kend. Masuk + Keluar	2	1	1	2	3	2	2	2	1	0	0	1	17
Kend. Lambat (Becak, Sepeda, Gerobak)	8	4	5	8	9	5	5	7	3	7	5	19	85

Tabel. 4.8 Perhitungan Bobot Hambatan Samping Penggal Jalan Menyempit (section B-B)

Tipe Kejadian	Simbol	Faktor bobot	Frekwensi Kejadian	Frekwensi berbobot
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3) x (4)
Pejalan Kaki	PED	0,6	24	14,4
Parkir, Kend. Berhenti	PSV	0,8	2	1,6
Kend. Masuk + Keluar	EEV	1,0	17	17
Kend. Lambat (Becak, Sepeda, Gerobak)	SMV	0,4	85	34
TOTAL				67

Tabel. 4.9 Hasil Survei Hambatan Samping Penggal Jalan Normal (section A-A)

Kasus : Jam Puncak (10.00 – 11.00)													
Tipe Kejadian	5 menit ke												TOTAL
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Pejalan Kaki	5	6	3	2	2	1	4	5	5	1	1	0	35
Parkir, Kend. Berhenti	0	1	1	1	0	0	2	3	3	1	0	1	13
Kend. Masuk + Keluar	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
Kend. Lambat (Becak, Sepeda, Gerobak)	1	2	2	3	2	4	6	6	3	10	10	15	64

Tabel. 4.10 Perhitungan Bobot Hambatan Samping Penggal Jalan Normal (section A-A)

Tipe Kejadian	Simbol	Faktor bobot	Frekwensi Kejadian	Frekwensi berbobot
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3) x (4)
Pejalan Kaki	PED	0,6	35	21
Parkir, Kend. Berhenti	PSV	0,8	13	10,4
Kend. Masuk + Keluar	EEV	1,0	2	2
Kend. Lambat (Becak, Sepeda, Gerobak)	SMV	0,4	64	25,6
TOTAL				59

BAB V

ANALISIS

5.1 Hubungan antara Kecepatan, Kerapatan dan Arus (Volume)

Hubungan antara ketiga variabel tersebut diatas disusun berdasarkan data arus lalu lintas dan kecepatan kendaraan yang diambil tiap periode 5 menitan yang disusun dalam suatu daftar secara berpasangan selanjutnya nilai kerapatan dapat dicari dengan persamaan dasar $V = D \cdot U_s$. Secara rinci nilai hasil analisis mengenai kecepatan, kerapatan dan arus pada masing-masing posisi penggal jalan yang ditinjau dapat dilihat pada table 4.1 sampai dengan table 4.6 (Hal. 56-Hal.61).

Hubungan antara kecepatan (U_s), kerapatan (D) dan arus (V), dianalisis dengan menggunakan tiga metode yakni metode *Greenshield*, *Greenberg* dan *Underwood*. Penyelesaian statistik didekati dengan mencari hubungan antara kecepatan dan kerapatan melalui metode *regresi*

Hubungan antara kecepatan dan kerapatan masing-masing dengan metode *Greenshield*, *Greenberg* dan *Underwood* adalah sebagai berikut :

a. *Greenshield* : $U_s = U_f - (U_f/D_j) \cdot D$

b. *Greenberg* : $U_s = U_m \cdot \ln (D_j/D)$

c. *Underwood* : $U_s = U_f \cdot e^{-D/D_m}$

Pada metode *Greenshield* bentuk persamaan sudah merupakan suatu persamaan *linier* dengan anggapan bahwa $Y = U_s$; $X = D$; $a = U_f$ dan $b = (U_f/D_j)$ sehingga analisis *regresi* dapat langsung dikerjakan dengan metode *regresi linier* dengan masukkan data $Y = U_s$ dan $X = D$.

Pada metode *Greenberg* diperlukan modifikasi persamaan matematikanya agar dapat dikerjakan dengan analisis *regresi logaritmik*, sehingga persamaan menjadi.

$U_s = U_m \cdot \ln(D_j) - U_m \cdot \ln(D)$ dengan asumsi bahwa nilai $Y = U_s$; $X = \ln(D)$;
 $a = U_m \cdot \ln(D_j)$ dan $b = U_m$.

Sedang pada metode *Underwood* bentuk persamaan merupakan bentuk persamaan *eksponensial* dapat langsung dicari analisis regresinya dengan metode *regresi eksponensial* :

$U_s = U_f \cdot e^{-D/D_m}$ dengan asumsi bahwa nilai $Y = \ln U_s$; $X = D$; $a = U_f$ dan $b = -1/D_m$.

Berdasarkan asumsi diatas perhitungan statistik untuk ketiga nodel masing-masing diselesaikan dengan *regresi linier*, *regresi logaritmik* dan *regresi eksponensial* dengan menggunakan program Bantu *Microsoft Excel* Versi 2000 sebagai masukan data :

- a. Metode *greenshield* : kecepatan (U_s) dengan kerapatan (D).
- b. Metode *Greenberg* : kecepatan (U_s) dengan \ln kerapatan ($\ln(D)$).
- c. Metode *Underwood* : kecepatan (U_s) dengan kerapatan (D).

Rangkuman hasil *regresi linier* dapat dilihat pada tabel 5.1 Dari hasil *regresi linier* tersebut selanjutnya dicari model hubungan antara :

- a. Kecepatan dengan Kerapatan
- b. Arus dengan Kecepatan
- c. Arus dengan Kerapatan

Masing-masing dengan menggunakan pendekatan metode *Greenshield*, *Greenberg* dan *Underwood*. Hasil selengkapnya model hitungan tersebut diatas merupakan model lapangan untuk masing-masing lokasi dapat dilihat pada tabel 5.2, kemudian dilakukan penggambaran dengan menggunakan program Bantu *Microsoft excel* versi 2000. Gambar pada masing-masing penggal jalan untuk berbagai metode dan hubungan yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai dengan Gambar 5.9

Tabel. 5.1 Rangkuman hasil Analisis Regresi Linier

Lokasi	Resume	Jenis Model Tinjauan		
		Greenshield	Greenberg	Underwood
Penggagal Jalan Normal Lajur Tengah dan tepi	Intercept	65,537	91,9	66,896
	X Variable	-0,7586	-14,123	-0,0146
	R ²	0,405	0,4163	0,4092
	F	47,65	45,9266	48,4946
	t	33,6899	16,5175	34,2289
Penggagal Jalan Menyempit	Intercept	56,968	86,525	60,576
	X Variable	-0,7971	-15,392	-0,02
	R ²	0,5519	0,5415	0,5504
	F	86,2201	82,6745	87,6875
	t	32,2289	17,2587	92,1021
Penggagal Jalan Pertemuan antara Jalan Normal dan Menyempit	Intercept	64,533	98,883	66,769
	X Variable	-0,9281	-17,912	-0,0193
	R ²	0,4498	0,4999	0,4182
	F	57,2245	55,7101	58,3257
	t	25,9359	15,6225	76,1399

* Nilai F (tabel) = 3,985

* Nilai t (tabel) = 1,665

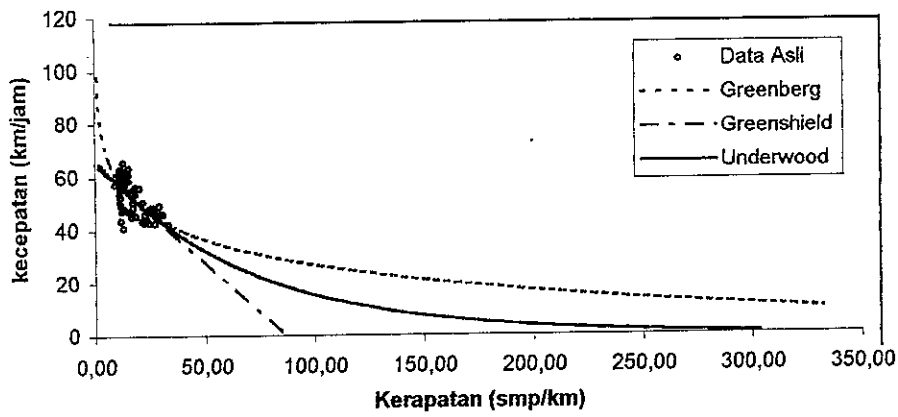
* Uji dapat diterima jika nilai F dan t (hitungan) > nilai F dan t (tabel)

Tabel. 5.1(a). Perbandingan antar Kapasitas dan Demand pada Penyempitan Jalan untuk Model Greenberg

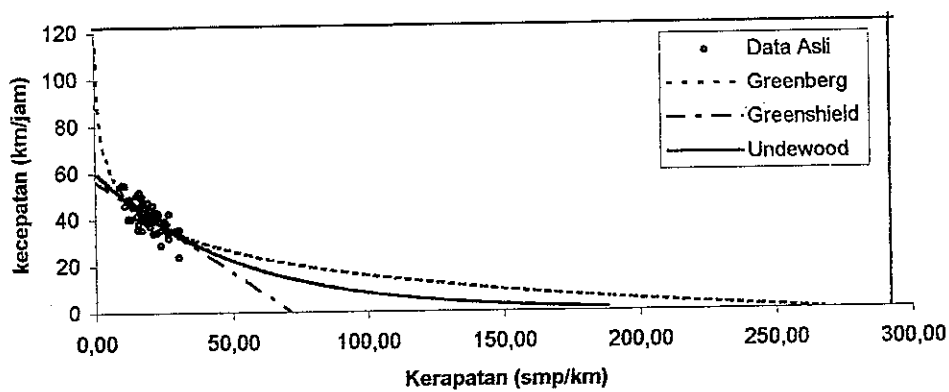
Periode Waktu	Demand (Smp/ Jam)	Kapasitas (smp/ jam)	Periode Waktu	Demand (Smp/ Jam)	Kapasitas (smp/ jam)
07.00 – 07.05	575,84	1564,4267	11.00 – 11.05	777,36	1564,4267
07.05 – 07.10	574,2	1564,4267	11.05 – 11.10	925,68	1564,4267
07.10 – 07.15	750,76	1564,4267	11.10 – 11.15	964,68	1564,4267
07.15 – 07.20	525,8	1564,4267	11.15 – 11.20	964,92	1564,4267
07.20 – 07.25	507,36	1564,4267	11.20 – 11.25	1015,64	1564,4267
07.25 – 07.30	572,28	1564,4267	11.25 – 11.30	891	1564,4267
07.30 – 07.35	633,96	1564,4267	11.30 – 11.35	963,36	1564,4267
07.35 – 07.40	602,88	1564,4267	11.35 – 11.40	866,64	1564,4267
07.40 – 07.45	709,44	1564,4267	11.40 – 11.45	515,52	1564,4267
07.45 – 07.50	765,52	1564,4267	11.45 – 11.50	742,8	1564,4267
07.50 – 07.55	750,44	1564,4267	11.50 – 11.55	735,96	1564,4267
07.55 – 08.00	755,48	1564,4267	11.55 – 12.00	783,36	1564,4267
08.00 – 08.05	616,08	1564,4267	15.00 – 15.05	855,6	1564,4267
08.05 – 08.10	1116,64	1564,4267	15.05 – 15.10	733,92	1564,4267
08.10 – 08.15	1025,36	1564,4267	15.10 – 15.15	729,72	1564,4267
08.15 – 08.20	835,8	1564,4267	15.15 – 15.20	935,72	1564,4267
08.20 – 08.25	667,56	1564,4267	15.20 – 15.25	1025,8	1564,4267
08.25 – 08.30	835,12	1564,4267	15.25 – 15.30	1122,32	1564,4267
08.30 – 08.35	732,72	1564,4267	15.30 – 15.35	648	1564,4267
08.35 – 08.40	755,72	1564,4267	15.35 – 15.40	635,64	1564,4267
08.40 – 08.45	736,8	1564,4267	15.40 – 15.45	841,2	1564,4267
08.45 – 08.50	1080,08	1564,4267	15.45 – 15.50	975,92	1564,4267
08.50 – 08.55	619,75	1564,4267	15.50 – 15.55	924,12	1564,4267
08.55 – 09.00	613,68	1564,4267	15.55 – 16.00	704,28	1564,4267
10.00 – 10.05	747,96	1564,4267	16.00 – 16.05	719,76	1564,4267
10.05 – 10.10	960,36	1564,4267	16.05 – 16.10	766,32	1564,4267
10.10 – 10.15	760,44	1564,4267	16.10 – 16.15	854,52	1564,4267
10.15 – 10.20	708,48	1564,4267	16.15 – 16.20	769,68	1564,4267
10.20 – 10.25	885	1564,4267	16.20 – 16.25	1120,6	1564,4267
10.25 – 10.30	821,76	1564,4267	16.25 – 16.30	913,2	1564,4267
10.30 – 10.35	1000,08	1564,4267	16.30 – 16.35	663,12	1564,4267
10.35 – 10.40	1035,8	1564,4267	16.35 – 16.40	845,88	1564,4267
10.40 – 10.45	1021,32	1564,4267	16.40 – 16.45	708	1564,4267
10.45 – 10.50	1025,36	1564,4267	16.45 – 16.50	685,92	1564,4267
10.50 – 10.55	1045,2	1564,4267	16.50 – 16.55	863,76	1564,4267
10.55 – 11.00	1019,4	1564,4267	16.55 – 17.00	692,88	1564,4267

Tabel. 5.2 Hubungan antara Kecepatan (U_s), Volume (V) dan Kerapatan (D)

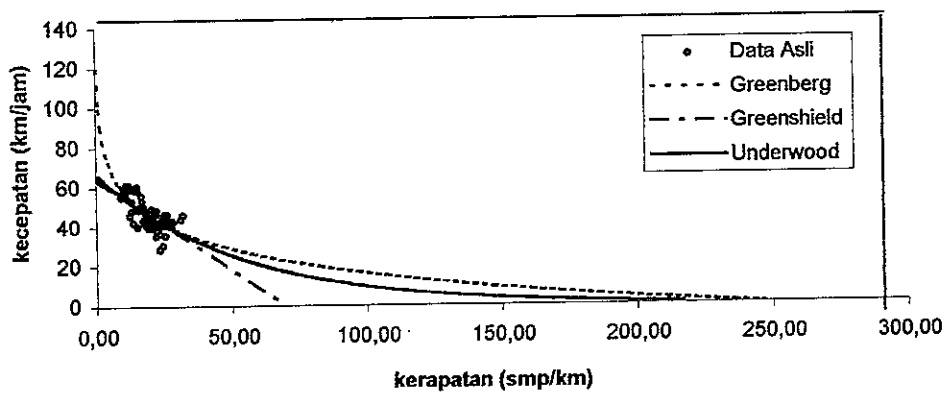
Jenis Model	Lokasi	Tinjauan	Formula Model	Model Lapangan
Greenshield	Penggal Jalan Normal Lajur Tengah dan tepi	$U_s - D$	$U_s = U_f - (U_f/D_f) \times D$	$U_s = 65,537 - 0,7586 \times D$
		$V - U_s$	$V = D_f \times U_s - (D_f/U_f) \times U_s^2$	$V = 86,3920 \times U_s - 1,3182 \times U_s^2$
		$V - D$	$V = U_f \times D - (U_f/D_f) \times D^2$	$V = 65,537 \times D - 0,7586 \times D^2$
	Penggal Jalan Menyempit	$U_s - D$	$U_s = U_f - (U_f/D_f) \times D$	$U_s = 56,958 - 0,7971 \times D$
		$V - U_s$	$V = D_f \times U_s - (D_f/U_f) \times U_s^2$	$V = 71,4565 \times U_s - 1,2545 \times U_s^2$
		$V - D$	$V = U_f \times D - (U_f/D_f) \times D^2$	$V = 56,958 \times D - 0,7971 \times D^2$
	Penggal Jalan Pertemuan antara Jalan Normal dan Menyempit	$U_s - D$	$U_s = U_f - (U_f/D_f) \times D$	$U_s = 64,533 - 0,9281 \times D$
		$V - U_s$	$V = D_f \times U_s - (D_f/U_f) \times U_s^2$	$V = 69,5324 \times U_s - 1,0775 \times U_s^2$
		$V - D$	$V = U_f \times D - (U_f/D_f) \times D^2$	$V = 64,533 \times D - 0,9281 \times D^2$
Greenberg	Penggal Jalan Normal Lajur Tengah dan tepi	$U_s - D$	$U_s = U_m \times \ln(D_f/D)$	$U_s = 14,123 \times \ln(669,8917/D)$
		$V - U_s$	$V = D_f \times U_s \times e^{-U_s/U_m}$	$V = 669,8917 \times U_s \times e^{-U_s/14,123}$
		$V - D$	$V = U_m \times D \times \ln(D_f/D)$	$V = 14,123 \times D \times \ln(669,8917/D)$
	Penggal Jalan Menyempit	$U_s - D$	$U_s = U_m \times \ln(D_f/D)$	$U_s = 15,392 \times \ln(276,2833/D)$
		$V - U_s$	$V = D_f \times U_s \times e^{-U_s/U_m}$	$V = 276,2833 \times U_s \times e^{-U_s/15,392}$
		$V - D$	$V = U_m \times D \times \ln(D_f/D)$	$V = 15,392 \times D \times \ln(276,2833/D)$
	Penggal Jalan Pertemuan antara Jalan Normal dan Menyempit	$U_s - D$	$U_s = U_m \times \ln(D_f/D)$	$U_s = 17,912 \times \ln(249,7572/D)$
		$V - U_s$	$V = D_f \times U_s \times e^{-U_s/U_m}$	$V = 249,7572 \times U_s \times e^{-U_s/17,912}$
		$V - D$	$V = U_m \times D \times \ln(D_f/D)$	$V = 17,912 \times D \times \ln(249,7572/D)$
Underwood	Penggal Jalan Normal Lajur Tengah dan tepi	$U_s - D$	$U_s = U_f \times e^{-D/D_m}$	$U_s = 66,896 \times e^{-D/68,4932}$
		$V - U_s$	$V = D_m \times U_s \times \ln(U_f/U_s)$	$V = 68,4932 \times U_s \times \ln(66,896/U_s)$
		$V - D$	$V = U_f \times D \times e^{-D/D_m}$	$V = 66,896 \times D \times e^{-D/68,4932}$
	Penggal Jalan Menyempit	$U_s - D$	$U_s = U_f \times e^{-D/D_m}$	$U_s = 60,576 \times e^{-D/50}$
		$V - U_s$	$V = D_m \times U_s \times \ln(U_f/U_s)$	$V = 50 \times U_s \times \ln(60,576/U_s)$
		$V - D$	$V = U_f \times D \times e^{-D/D_m}$	$V = 60,576 \times D \times e^{-D/50}$
	Penggal Jalan Pertemuan antara Jalan Normal dan Menyempit	$U_s - D$	$U_s = U_f \times e^{-D/D_m}$	$U_s = 66,769 \times e^{-D/51,8135}$
		$V - U_s$	$V = D_m \times U_s \times \ln(U_f/U_s)$	$V = 51,8135 \times U_s \times \ln(66,769/U_s)$
		$V - D$	$V = U_f \times D \times e^{-D/D_m}$	$V = 66,769 \times D \times e^{-D/51,8135}$



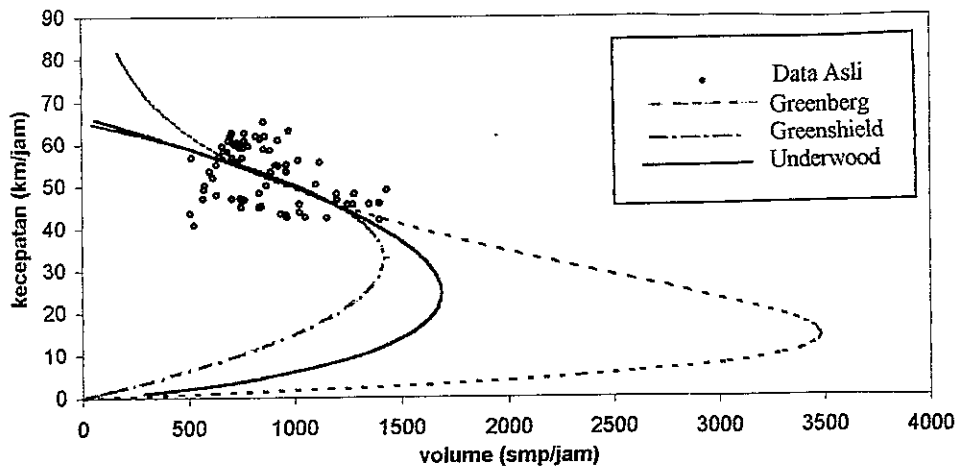
Gambar 5.1 Hubungan Kecepatan dengan Kerapatan pada penggal jalan normal lajur tengah dan tepi (*section A-A*).



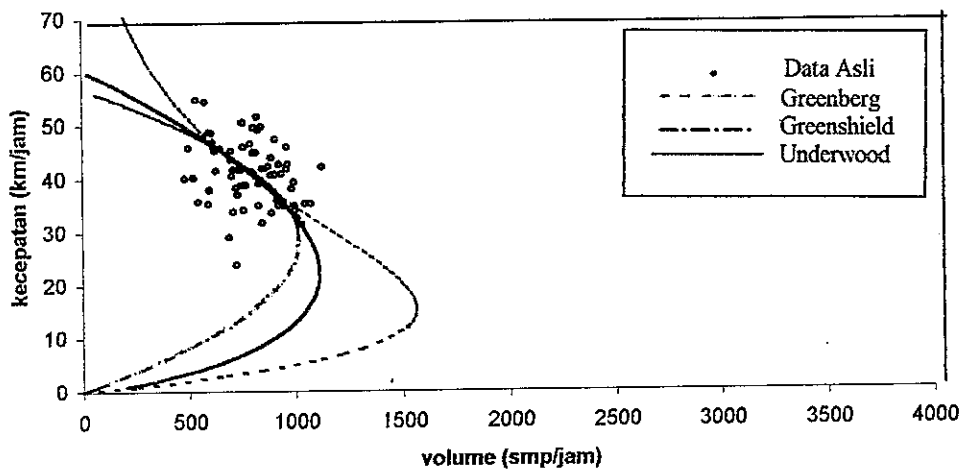
Gambar 5.2 Hubungan Kecepatan dengan Kerapatan pada penggal jalan menyempit (*section B-B*).



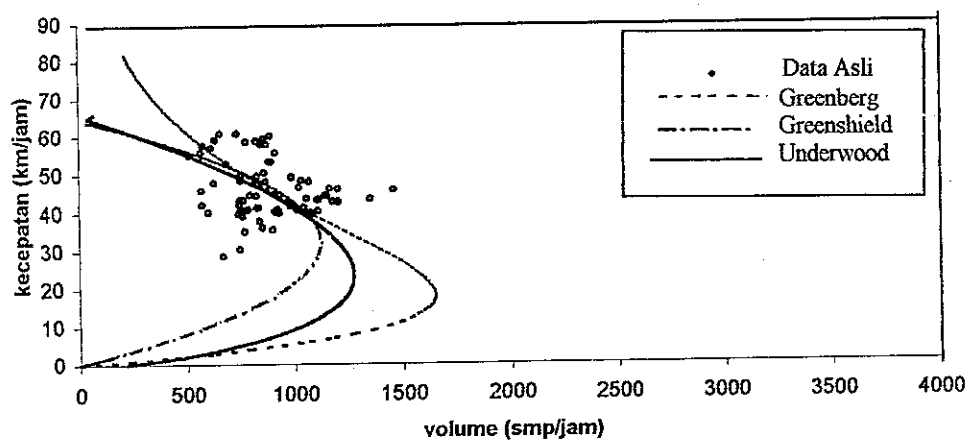
Gambar 5.3 Hubungan Kecepatan dengan Kerapatan pada penggal jalan pertemuan antara jalan normal dan menyempit (*section C-C*).



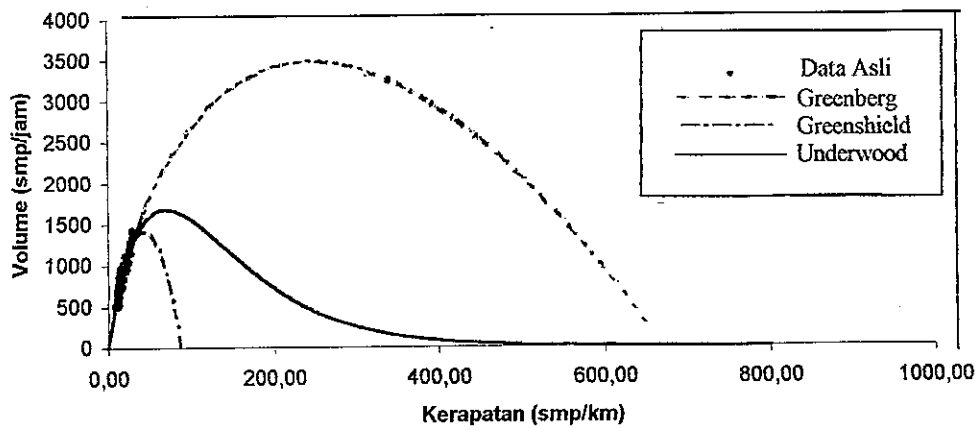
Gambar 5.4 Hubungan kecepatan dengan volume pada penggal jalan normal lajur tengah dan tepi (*section A-A*)



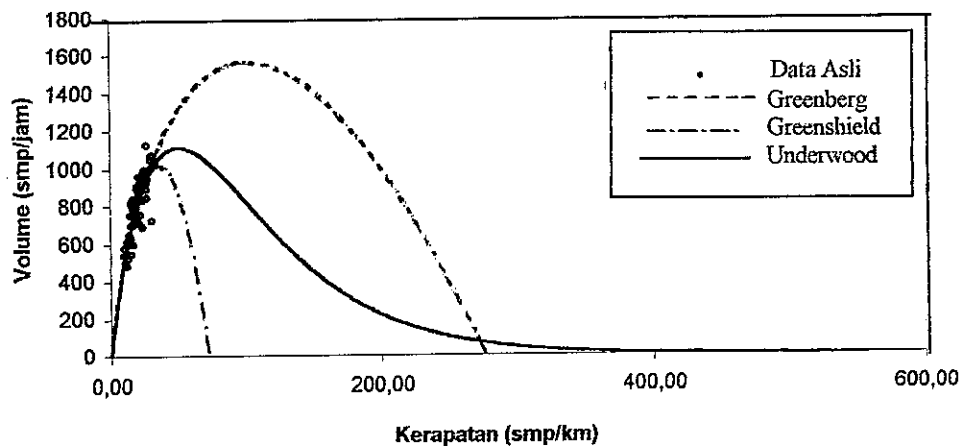
Gambar 5.5 Hubungan Kecepatan dengan Volume pada penggal jalan menyempit (*section B-B*)



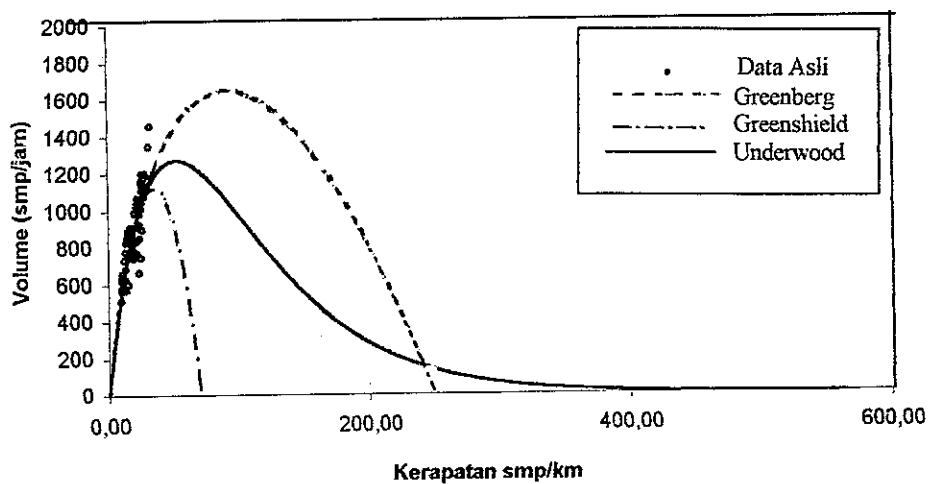
Gambar 5.6 Hubungan kecepatan dengan volume pada penggal jalan pertemuan jalan normal dan menyempit (*section C-C*)



Gambar 5.7 Hubungan Volume dengan kerapatan pada penggal jalan normal lajur tengah dan Tepi (*section A-A*)



Gambar 5.8 Hubungan Volume dengan kerapatan pada penggal jalan menyempit (*section B-B*)



Gambar 5.9 Hubungan Volume dengan Kerapatan pada penggal jalan pertemuan antara jalan normal dan menyempit (*section C-C*)

5.2 Pengujian Statistik

Variabel yang diuji pada penelitian ini adalah nilai F dan t yang merupakan alat kontrol dari hasil analisis statistik, dalam hal ini regresi *linier*, dengan membandingkan antara nilai F dan t yang diperoleh dari hasil perhitungan dengan nilai F dan t dari tabel.

Pengujian dikatakan benar jika nilai F dan t dari hasil perhitungan lebih besar daripada dari tabel, kemudian nilai R^2 yang merupakan koefisien *determinasi* yang menunjukkan berapa besar pengaruh variabel *independen* (X) terhadap variabel *dependen* (Y) (lihat tabel 5.1). Terlihat bahwa nilai F dan t untuk seluruh hitungan lebih besar dari pada nilai F dan t dari tabel pada tingkat kepercayaan 95 %, sehingga secara statistik seluruh model dapat digunakan.

5.3 Kajian Hasil Analisa.

Rumusan model hubungan yang telah digambar seperti diatas, terlihat bahwa untuk model hubungan kecepatan-kepadatan pada model *Greenberg* memberikan nilai *intercept* yang besar karena sesuai dengan hubungan model bentuk *logaritma*. Dalam hubungan kecepatan-kepadatan model *Greensield* memberikan besaran kepadatan jenuh tertentu, sedangkan model yang lain mempunyai nilai besaran kepadatan yang sangat besar. Pada model hubungan kecepatan-volume model *Greenberg* terlihat memberikan besaran V maks yang cukup tinggi atau dengan kata lain penurunan kecepatan tidak selalu diikuti penambahan volume. Hal ini disebabkan karakteristik lokasi yang diamati kurang cocok menggunakan model *Greenberg*, baik pada karakteristik lalu lintas ataupun geometrik jalannya.

Pada kondisi jalan menyempit (*section B-B*) dari analisa *regresi*, diperoleh koefisien *determinasi*, baik pada metode *Greensield*, *Greenberg*, *Underwood* lebih besar dibandingkan dengan pada kondisi jalan normal (*section A-A*) ataupun pada kondisi pertemuan jalan normal dan menyempit (*section C-C*). Ini artinya pasangan data arus dan kecepatan pada kondisi jalan

menyempit (*section B-B*) lebih menggambarkan kondisi berbagai kerapatan dari yang kecil hingga yang besar.

Dari hasil uji F dan t, baik pada kondisi jalan normal (*section A-A*), pertemuan jalan normal dan menyempit (*section C-C*), jalan menyempit (*section B-B*), untuk model *Greenberg* lebih kecil dibandingkan dengan model *Greenshield* dan model *Underwood*, ini artinya kerapatan kurang berpengaruh terhadap kecepatan kendaraan serta tingkat *signifikansi variance* antara kerapatan dan kecepatan kendaraan sangat kecil.

5.4 Menentukan nilai Arus (Volume) maksimum

Nilai Arus maksimum dapat diperoleh dengan menggunakan rumus yang telah diturunkan dan dibahas pada BAB II landasan teori sebelumnya, dengan demikian maka pada penentuan arus maksimum langsung dipakai rumus yang ada.

5.4.1 Model *Greeshields*

$$V_m = \frac{1}{4}(D_j \cdot U_f)$$

- a. Penggal Jalan Normal Lajur Tengah dan Tepi

$$V_m = \frac{1}{4}(86,3920 \times 65,537) = 1415,4681 \text{ smp/jam/2 lajur}$$

- b. Penggal Jalan Menyempit

$$V_m = \frac{1}{4}(71,4565 \times 56,958) = 1017,5048 \text{ smp/jam/lajur}$$

- c. Penggal Jalan Pertemuan antara Jalan Normal dan Menyempit

$$V_m = \frac{1}{4}(69,5324 \times 64,533) = 1121,7836 \text{ smp/jam/lajur}$$

5.4.2 Model Greenberg.

$$V_m = (D_j \cdot U_m) / e$$

- a. Penggal Jalan Normal lajur Tengah dan Tepi.

$$V_m = (669,8917 \times 14,123) / 2,7182818 = 3480,4635 \text{ smp/jam/2 lajur}$$

- b. Penggal Jalan Menyempit.

$$V_m = (276,2833 \times 15,392) / 2,7182818 = 1564,4267 \text{ smp/jam /lajur}$$

- c. Penggal Jalan Pertemuan Antara Jalan Normal dan Menyempit.

$$V_m = (249,7572 \times 17,912) / 2,7182818 = 1645,7642 \text{ smp/jam/lajur}$$

5.4.3 Model Underwood.

$$V_m = (D_m \cdot U_f) / e$$

- a. Penggal Jalan Normal lajur Tengah dan Tepi.

$$V_m = (68,4932 \times 66,896) / 2,7182818 = 1685,5946 \text{ smp/jam/2 lajur}$$

- b. Penggal Jalan Menyempit.

$$V_m = (50,00 \times 60,672) / 2,7182818 = 1114,2333 \text{ smp/jam/lajur}$$

- c. Penggal Jalan Pertemuan Antara Jalan Normal dan Menyempit.

$$V_m = (51,8135 \times 66,769) / 2,7182818 = 1272,6920 \text{ smp/jam/lajur}$$

5.4.4 Perhitungan Kapasitas.

Menurut IHCM, perhitungan kapasitas dapat dihitung dengan rumus ;

$$C = C_o \times F_{cw} \times F_{Csp} \times F_{Csf} \dots \dots \dots (5.1)$$

Keterangan :

C = Kapasitas (smp/ jam).

C_0 = Kapasitas dasar.

F_{cw} = Faktor penyesuaian akibat lebar jalur lalu lintas.

F_{Csp} = Faktor penyesuaian akibat pemisahan arah.

F_{Csf} = Faktor penyesuaian akibat hambatan samping

a. Penggal Jalan Normal

$$C = C_0 \times F_{cw} \times F_{Csp} \times F_{Csf}$$

$C_0 = 1900$ smp/ Jam / lajur (kondisi jalan empat terbagi dengan medan berupa dataran menurut IHCM).

$F_{cw} = 1$ (kondisi jalan empat lajur terbagi dan lebar jalur lalu lintas =3,50 m).

$F_{Csp} = 1$ (kondisi jalan terbagi akibat pemisahan arah tidak dapat diterapkan).

$F_{Csf} = 0,97$ (kondisi hambatan samping rendah dan lebar bahu 1m)

$$C = 1900 \times 1 \times 1 \times 0,97 = 1843 \text{ smp/jam/lajur}$$

b. Penggal Jalan Menyempit :

$$C = C_0 \times F_{cw} \times F_{Csp} \times F_{Csf}$$

$C_0 = 3100$ smp/jam/2 lajur (kondisi jalan 2 lajur tak terbagi dengan medan berupa daratan menurut IHCM)

$F_{cw} = 1$ (kondisi jalan dua lajur tak terbagi dan lebar jalur 7 m)

$F_{Csp} = 1$ (kondisi dua lajur dengan perbandingan 49 % - 51 % dimasukkan dalam katagori 50% - 50%)

$F_{Csf} = 0,95$ (kondisi hambatan samping rendah dan lebar bahu 1m)

Maka, kapasitas jalan sesungguhnya pada kondisi jalan menyempit yaitu :

$$C = 3100 \times 1 \times 1 \times 0,95 = 2945 \text{ smp/jam/2 lajur}$$

5.5. Penentuan Model Terpilih.

Penentuan model terpilih untuk perhitungan gelombang kejut didasarkan pada kriteria nilai uji F, t dan R^2 yang besar, disamping itu dilihat juga arus maksimum yang dicapai masing-masing model. Pada model *Greenberg* didapatkan hasil nilai arus maksimum (*supply*) yang lebih besar daripada nilai arus yang datang (*demand*) sehingga tidak akan terjadi gelombang kejut (lihat tabel 5.1(a)), serta mempunyai nilai uji F, t dan R^2 lebih kecil dibandingkan dengan model *Greenshield* dan *Underwood*.

Untuk lebih membuktikan model mana yang paling ideal berikut ini dicoba untuk dihitung, kedua model terpilih tersebut yaitu : Model *Greenshield* dan Model *Underwood*. Selengkapnya dapat dilihat pada tabel 5.3 dan tabel 5.4

Nilai arus maksimum dari model terpilih tersebut yaitu : Model *Greenshield* dan Model *Underwood* sebagai dasar perhitungan analisis gelombang kejut (dari sub bab 5.2.1 dan 5.2.3) adalah sebagai berikut :

a. Model *Greenshield*

$$V_m = 1017,5048 \text{ smp/jam/lajur}$$

b. Model *Underwood*

$$V_m = 1114,2333 \text{ smp/jam/lajur}$$

Tabel 5.3 Perhitungan gelombang kejut, Panjang antrian, waktu penormalan kendaraan dengan model Underwood

$$V = 65,337 D - 0,7586 D^2$$

Periode Waktu	Demand (Smp/jam)	Kapasitas (Smp/jam)	D1 (Smp/jam)	D2 (Smp/jam)	Kec. Gel Kejut (W) (Km/Jam)	Jumlah Kendaraan dalam antrian		Panjang Antrian (L) (Km)	Waktu Pelepasan Kend. Keluar dari antrian terakhir
						N (SMP)	Kumulatif (SMP)		
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e) = (a-b)/(c-d)	(e) = (a-b) + (c-c)	(g)	(h) = g/d	
08.05-08.10	1116,64	1017,5048	23,3486	66,1002	-2,3189	153,2775	153,2782	2,3189	(2,4912/3,5948) x 60/12 = 3,4650 = 0' 3 28"
08.10-08.15	1025,36	1017,5048	20,5189	66,1002	-0,1723	11,3913	164,6689	2,4912	(8,15 + 0 3 28 ") = 08.18.28 WIB
08.15-08.20	835,8	1017,5048	15,5531	66,1002	3,5948	-237,6145	-72,9662	-1,1039	
08.45-08.50	1080,08	1017,5048	22,1695	66,1002	-1,4244	94,1536	94,1534	1,4244	(1,4244/7,1938) x 60/12 = 0,99 = 0' 0 1"
08.50-08.55	619,75	1017,5048	10,8088	66,1002	7,1938	-475,5111	-381,3577	-5,7694	(08.50 + 0' 0 1") = 08.50.1 WIB
10.35-10.40	1035,8	1017,5048	20,8245	66,1002	-0,4041	26,7101	26,7104	0,4041	(1,3168/4,6264) x 60/12 = 1,4231 = 0' 1 26"
10.40-10.45	1021,32	1017,5048	20,4019	66,1002	-0,0835	5,5185	32,2292	0,4876	
10.45-10.50	1025,36	1017,5048	20,5189	66,1002	-0,1723	11,3913	43,6198	0,6599	
10.50-10.55	1045,2	1017,5048	21,1032	66,1002	-0,6155	40,6840	84,304	1,2754	(11,00 + 0 1 26) = 11.01.26 WIB
10.55-11.00	1019,4	1017,5048	20,3464	66,1002	-0,0414	2,7380	87,0415	1,3168	
11.00-11.05	777,36	1017,5048	14,1932	66,1002	4,6264	-305,8088	-218,7667	-3,3096	
15.20-15.25	1025,8	1017,5048	20,5318	66,1002	-0,1820	12,0328	12,0319	0,1820	(2,6447/6,7537) x 60/12 = 0,4773 = 0' 0 29"
15.25-15.30	1122,32	1017,5048	23,5381	66,1002	-2,4626	162,7811	174,812	2,6447	
15.30-15.35	648	1017,5048	11,3889	66,1002	6,7537	-446,4222	-271,61	-4,1091	(15,30 + 0 0 29) = 15.30.29 WIB
16.20-16.25	1120,6	1017,5048	23,4805	66,1002	-2,4190	159,8935	159,8922	2,4189	(0,2743/6,5148) x 60/12 = 0,0421
16.25-16.30	913,2	1017,5048	17,4647	66,1002	2,1446	-141,7600	18,1327	0,2743	(16,30 + 0 0 3") = 16.30.3 WIB
16.30-16.35	663,12	1017,5048	11,7038	66,1002	6,5149	-430,6334	-412,5	-6,2405	

Tabel 5.4 Perhitungan gelombang kejut, Panjang antrian, waktu Penormalan Kendaraan dengan model Underwood

$$V = 66,896.D e^{-0,068,4932}$$

Periode Waktu	Demand (Smp/jam)	Kapasitas (Smp/jam)	D1 (Smp/jam)	D2 (Smp/jam)	Kec. Gel Kejut (W) (Km/Jam)	Jumlah Kendaraan dalam antrian		Panjang Antrian (L) (Km)	Waktu Pelepasan Kend. Keluar dari antrian terakhir
						N (SMP)	Kumulatif (SMP)		
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e) = (a-b)/(c-d)	(e) = (a-b) + (c-c)	(g)	(h) = g/d	
08.05-08.10	1116,64	1114,2333	23,54	151	-0,0189	2,8512	2,8516	0,0189	(0,0189/0,6823) x 60/12 = 0,1385
08.10-08.15	1025,36	1114,2333	20,75	151	0,6823	-103,0316	-100,1794	-0,6634	(08.10 + 0' 0 9") = 08.10.09 WIB
15.25-15.30	1122,32	1114,2333	23,72	151	-0,0635	9,5937	9,5929	0,0635	(0,0635/3,3409) x 60/12 = 0,0995
15.30-15.35	648	1114,2333	11,45	151	3,3410	-504,4875	-494,8937	-3,2774	(15,30 + 0 0 6) = 15.30.06 WIB
16.20-16.25	1120,6	1114,2333	23,67	151	-0,0500	7,502	7,502	0,0500	(0,05/1,5079) x 60/12 = 0,1658
16.25-16.30	913,2	1114,2333	17,68	151	1,5079	-227,6930	-220,1428	-1,4579	(16,25 + 0 0 10) = 16.25.10 WIB

5.6 Nilai Gelombang Kejut.

Perhitungan gelombang kejut pada penyempitan jalan ini dimulai dengan mengplot antara arus yang masuk (*demand*) dari *upstream* yaitu : gabungan arus pada lajur tengah dan tepi pada penggal jalan normal dan kapasitas penyempitan jalan (*supply*) yang didasarkan pada arus maksimum terpilih terhadap waktu seperti pada gambar 5.10 Analisis dimulai bilamana *demand* melebihi kapasitas. Dari gambar 5.10 terlihat bahwa pada Model *Greenshield* terdapat lima periode saat *demand* melebihi kapasitas, yaitu : pada jam 08.05 – 08.15, 08.45 – 08.50, 10.35 – 11.00, 15.20 – 15.30, 16.20-16.25 serta tiga periode yaitu pada jam 08.05-08.10, 15.25-15.30, 16.20-16.25 pada Model *Underwood*.

Gelombang kejut terjadi pada saat *demand* lebih besar dari kapasitas dihitung mengikuti rumus :

$$\omega = \frac{V_1 - V_2}{D_1 - D_2} \dots\dots\dots(5.2)$$

Keterangan :

V_1 = Arus dari bagian *upstream* (smp/jam).

V_2 = Arus maksimum yang dapat terlewatkan pada jalan menyempit (smp/jam).

D_1 = Kerapatan kendaraan pada *upstream* (smp/Km).

D_2 = Kerapatan kendaraan pada penyempitan jalan (smp/Km).

Sedangkan panjang kendaraan dalam antrian dihitung dengan rumus :

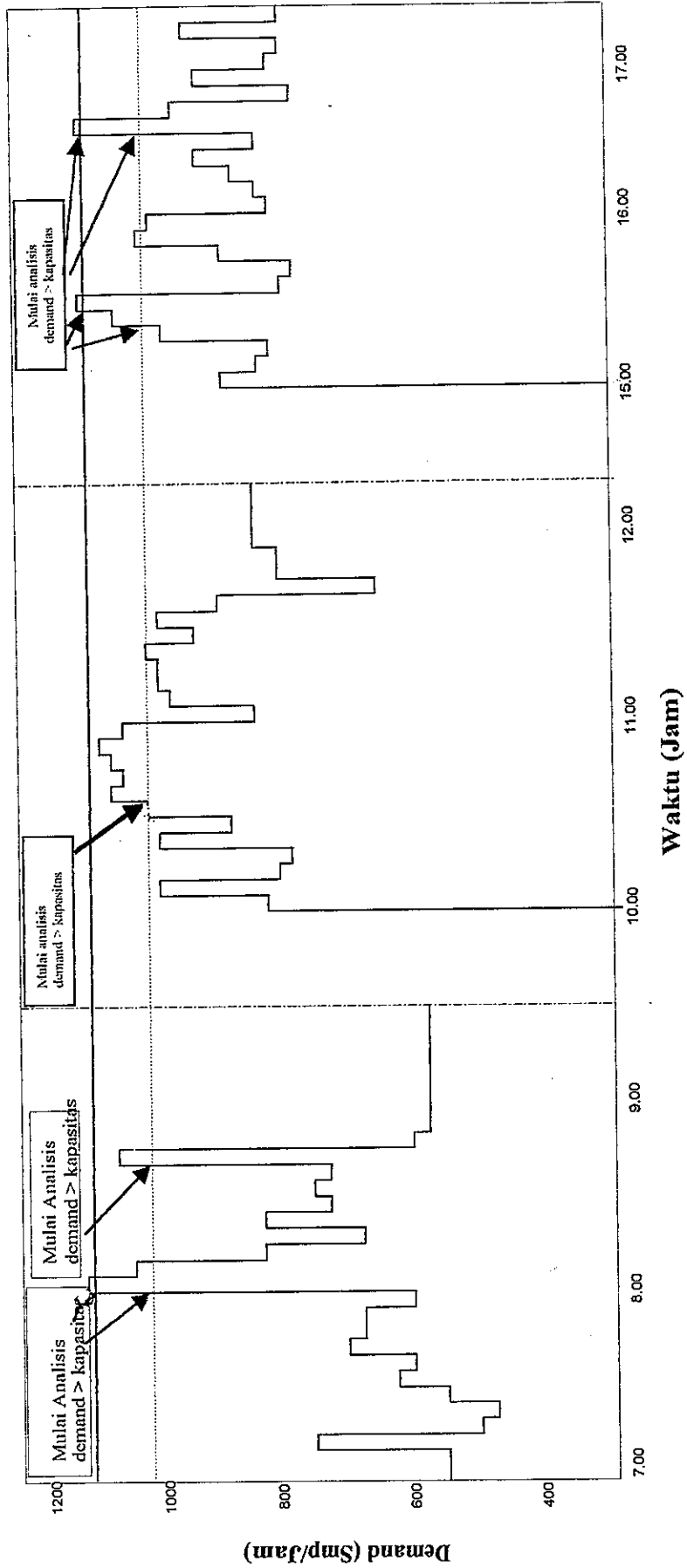
$$N = (V_1 - V_2) + (\omega) (D_1) \dots\dots\dots(5.3)$$

Keterangan : N = Jumlah kendaraan dalam antrian smp.

Panjang antrian dihitung sebagai berikut :

$$L = \frac{N}{D_2} \dots\dots\dots(5.4)$$

Berdasarkan pengamatan dilapangan panjang antrian maksimum yang terjadi yaitu sepanjang : 0,055 Km



Keterangan :
 — = Kapasitas model *Underwood*
 = Kapasitas model *Greensheild*

Gambar 5. 10. Perbedaan demand 5 menitan pada lajur Normal Tengah dan Tepi dengan kapasitas pada penyempitan jalan

Sebagai contoh perhitungan akan ditampilkan pada saat kendaraan memasuki antrian pada periode ketiga yaitu : pada jam 10.35 untuk model *Greenshield* adalah :

- a. Pada jam 10.35 – 10.40 arus yang masuk sebesar 1035,8 smp/jam sedangkan kapasitas jalan adalah 1017,5048 smp/jam sehingga akan terjadi gelombang kejut mundur bentukan.
- b. Dari model rumus pada bagian *upstream* yang terpilih yaitu Model *Greenshield* yang merupakan gabungan dari lajur tengah dan tepi pada penggal jalan normal, $V = 65,537 D - 0,7586 D^2$, dimasukan nilai arus masuk (*demand*) untuk mencari nilai D_1 dan kapasitas untuk mencari nilai D_2 . Dari perhitungan tersebut diperoleh nilai $D_1 = 20,8245$ smp/km dan $D_2 = 66,1002$ smp/km.
- c. Gelombang kejut (ω) dihitung menggunakan rumus 5.2, diperoleh nilai $\omega = - 0,4041$ km/jam. Nilai negatif menunjukkan bahwa terjadi gelombang kejut mundur bentukan ke arah datangnya kendaraan.
- d. Jumlah kendaraan dalam antrian sesuai dengan rumus 5.3, akan diperoleh nilai $N = 26,7104$ smp.
- e. Panjang antrian sesuai dengan rumus 5.4 diperoleh nilai 0,4041 km.
- f. Kendaraan dalam antrian hilang pada *time slice* berikutnya. Pada *time slice* ini kecepatan gelombang kejut maju pemulihan adalah 4,6264, sementara panjang antrian yang tersisa adalah sebesar 1,3168 km, sehingga dibutuhkan

$$\text{waktu sebesar} = \left(\frac{1,3168}{4,6264} \right) \times \frac{60}{12} = 1,4231 = 0'0126'' \text{ untuk menghabiskan}$$

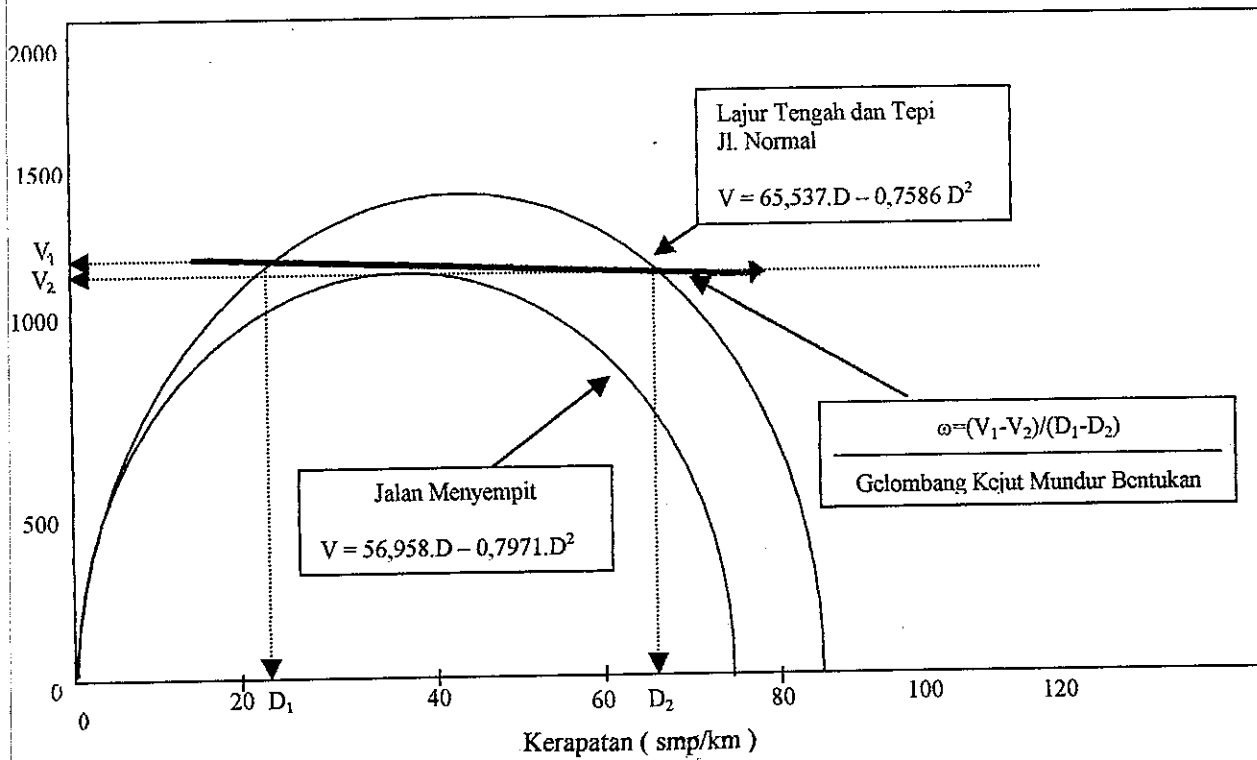
sisanya antrian.

Perhitungan gelombang kejut, panjang antrian, waktu penormalan kendaraan secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel 5.3 untuk model *Greenshield* dan tabel 5.4 untuk model *Underwood*.

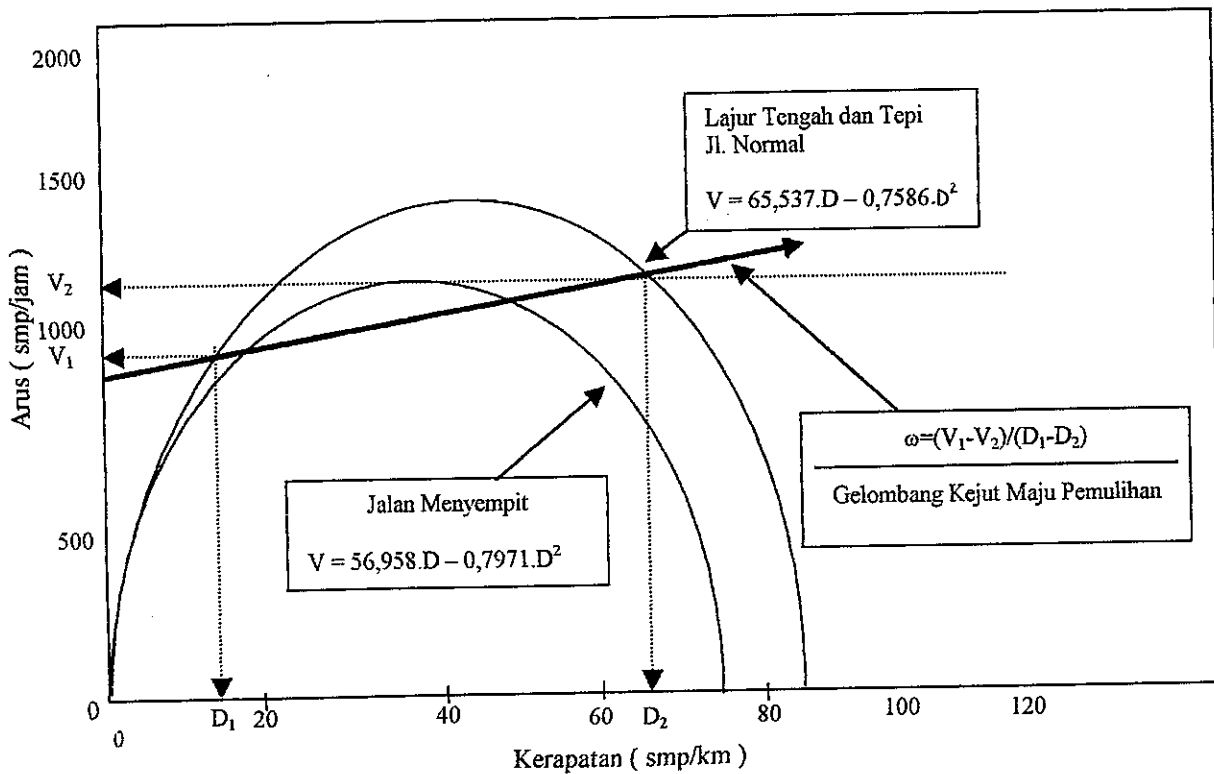
Untuk memperjelas cara perhitungan pada kedua model diatas dalam hal penentuan besarnya kerapatan berikut diberikan contoh untuk kedua keadaan yaitu pada saat mulai terjadinya gelombang kejut mundur bentukan pada jam 08.05 dengan arus datang sebesar 1116,64 smp/jam dan pada saat mulai terjadi gelombang kejut maju pemulihan pada jam 08.15 dengan arus datang sebesar 835,80 smp/jam yang diperlihatkan pada gambar 5.11 dan gambar 5.12 untuk model *Greenshield* dan gambar 5.13 dan gambar 5.14 untuk model *Underwood*. Notasi V_1 menunjukkan besarnya arus datang dan V_2 menunjukkan besarnya arus maksimal yang dapat ditampung pada jalan menyempit (kapasitas jalan menyempit) untuk masing-masing model.

Dari kedua model tersebut dapat disimpulkan bahwa model *Underwood* berdasarkan hasil pengamatan dilapangan hasil *observasi* relatif lebih sesuai dengan kondisi di lapangan yaitu : memberikan hasil panjang antrian maksimum yang lebih kecil dan waktu yang dibutuhkan untuk penormalan arus kendaraan keluar dari antrian jauh lebih singkat daripada model *Greenshield*.

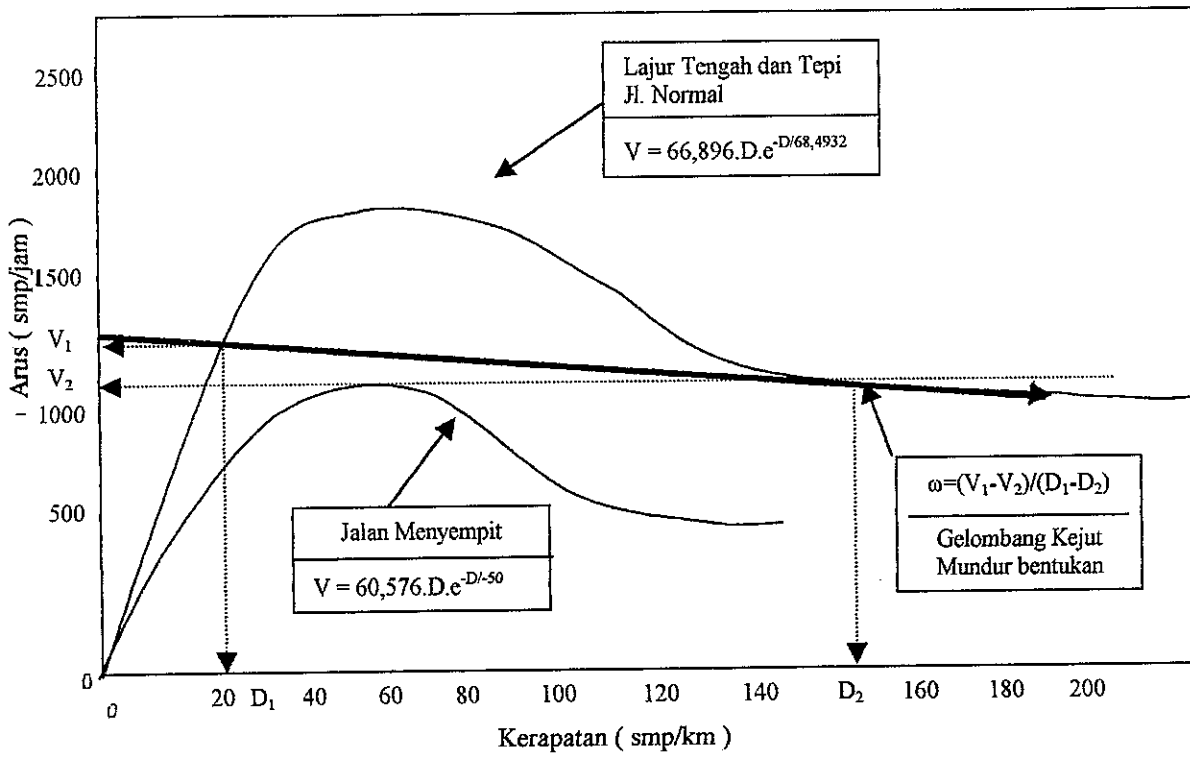
Sementara perbandingan kumulatif *demand* dan kapasitas pada saat terjadi antrian pertama pada model *Greenshield* dapat dilihat pada gambar 5.15 dan gambar 5.16 pada model *Underwood*. Sedangkan perbandingan antar kapasitas dan *demand* pada penyempitan jalan (*section B-B*) untuk model *Greenshield* dapat dilihat pada tabel 5.5 dan tabel 5.6 untuk model *Underwood*.



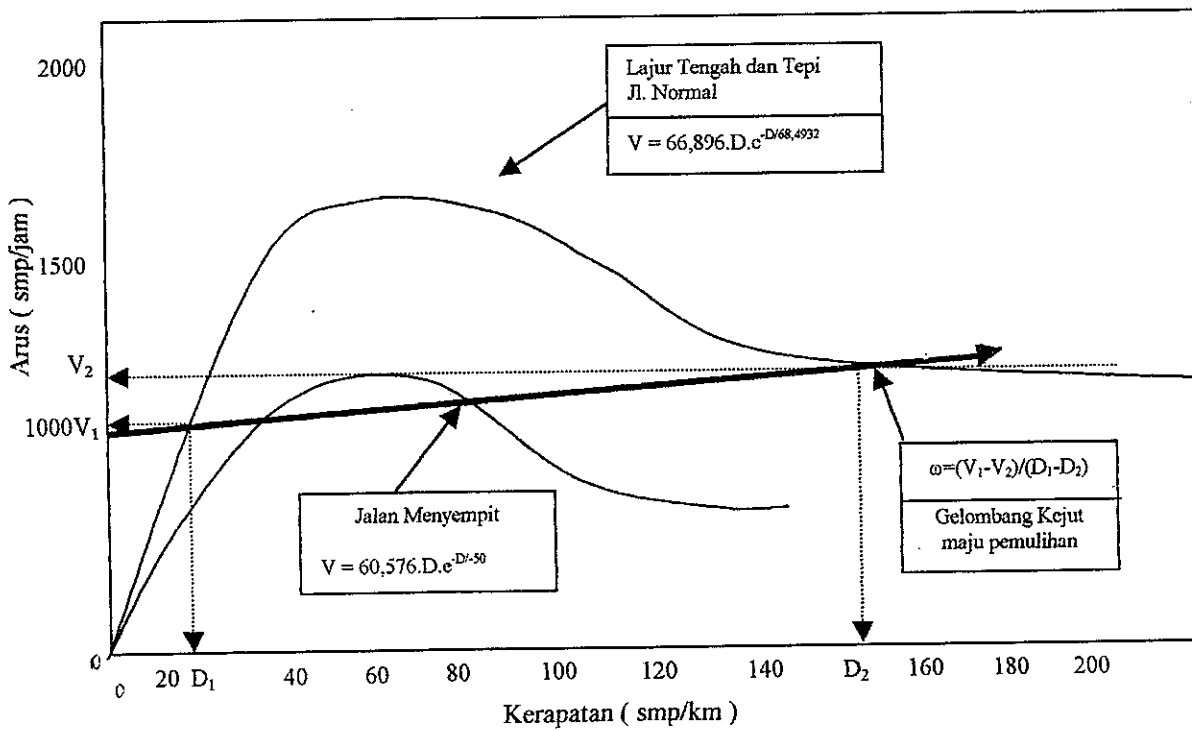
Gambar 5.11 Gelombang Kjut mundur bentukan yang terjadi pada saat demand > kapasitas pada model Greensheilds



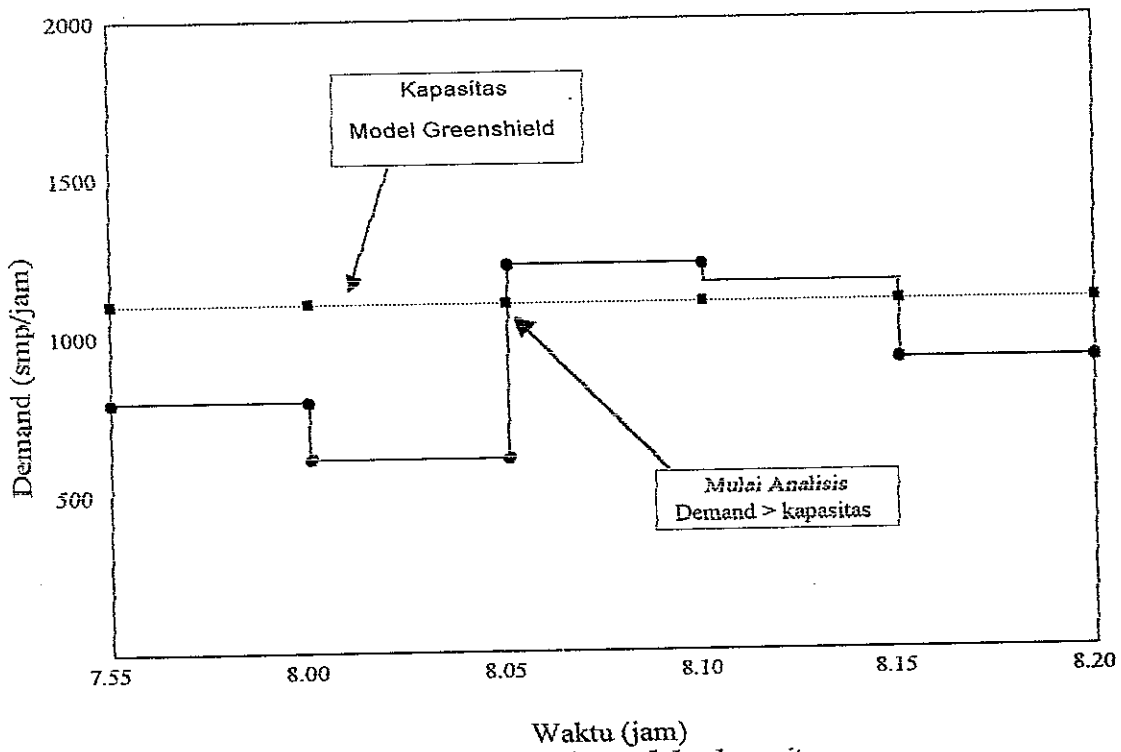
Gambar 5.12 Gelombang Kjut maju pemulihan yang terjadi pada saat demand < kapasitas pada model Greensheilds



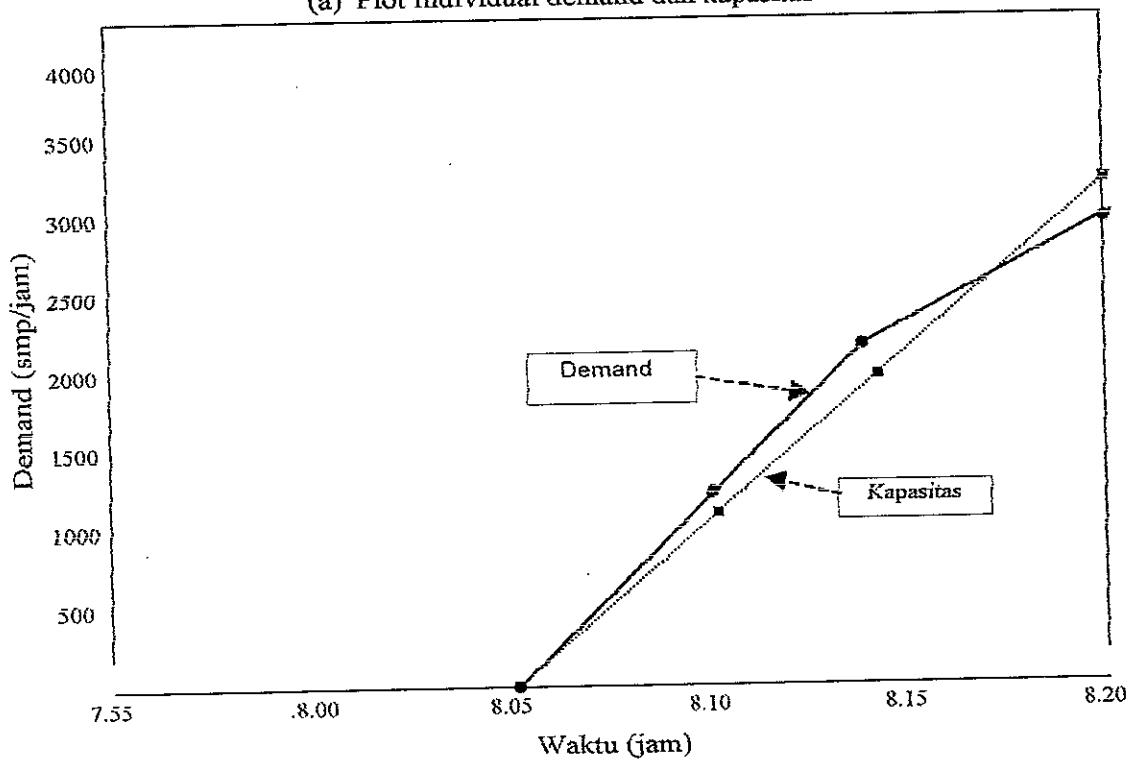
Gambar 5.13 Gelombang Kejut Mundur bentukan yang terjadi pada saat demand > kapasitas pada model underwood



Gambar 5.14 Gelombang Kejut maju pemulihan yang terjadi pada saat demand < kapasitas pada model underwood

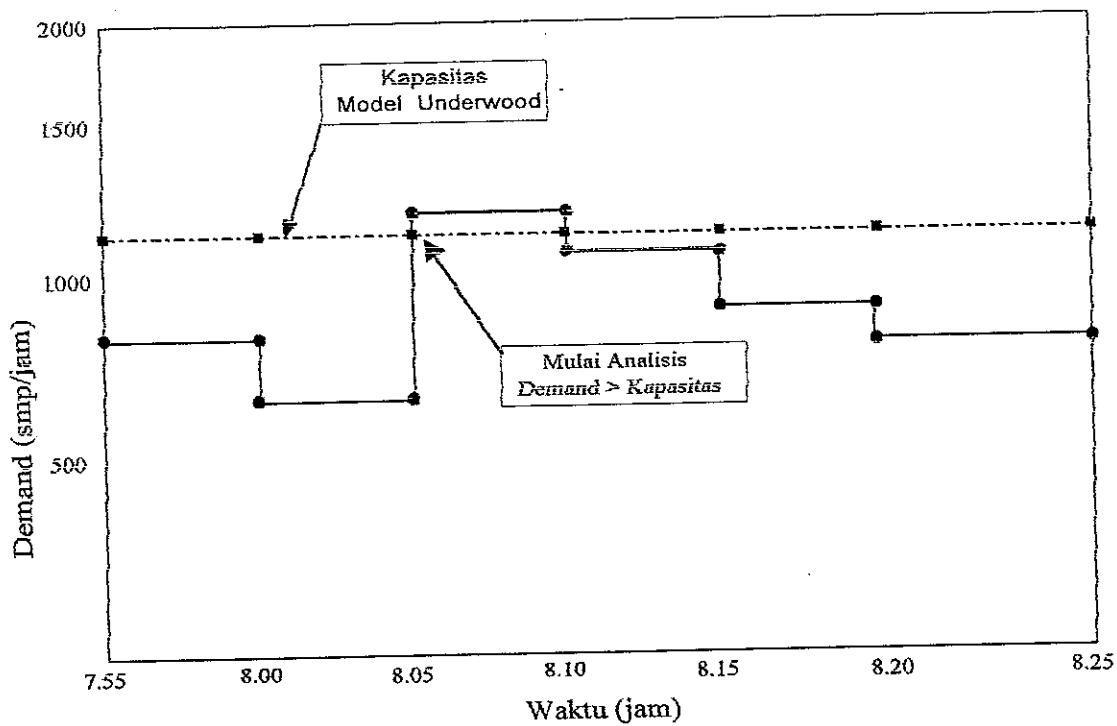


(a) Plot Individual demand dan kapasitas

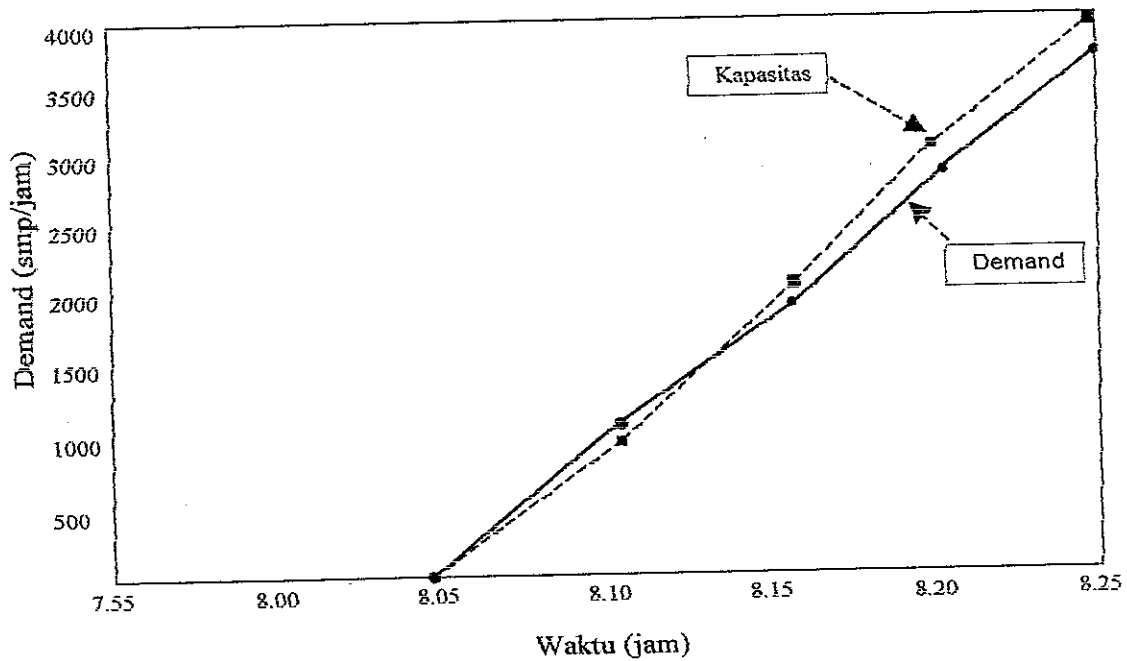


(b) Kumulatif demand dan kapasitas

Gambar. 5.15. Perbandingan Kumulatif demand dan kapasitas pada saat Terjadi Antrian pertama pada Model Greenshield



(a) Plot Individual demand dan kapasitas



(b) Kumulatif demand dan kapasitas

Gambar. 5.16. Perbandingan antara Kumulatif demand dan kapasitas pada Saat Terjadi antrian Pertama pada Model Underwood

Tabel 5.5. Perbandingan antar Kapasitas dan Demand pada Penyempitan Jalan (section B-B) untuk Model Greenshield

Periode Waktu	Demand (Smp/ Jam)	Kapasitas (smp/ jam)	Periode Waktu	Demand (Smp/ Jam)	Kapasitas (smp/ jam)
07.00 – 07.05	575.84	1017.5048	11.00 – 11.05	777.36	1017.5048
07.05 – 07.10	574.2	1017.5048	11.05 – 11.10	925.68	1017.5048
07.10 – 07.15	750.76	1017.5048	11.10 – 11.15	964.68	1017.5048
07.15 – 07.20	525.8	1017.5048	11.15 – 11.20	964.92	1017.5048
07.20 – 07.25	507.36	1017.5048	11.20 – 11.25	1015.64	1017.5048
07.25 – 07.30	572.28	1017.5048	11.25 – 11.30	891	1017.5048
07.30 – 07.35	633.96	1017.5048	11.30 – 11.35	963.36	1017.5048
07.35 – 07.40	602.88	1017.5048	11.35 – 11.40	866.64	1017.5048
07.40 – 07.45	709.44	1017.5048	11.40 – 11.45	515.52	1017.5048
07.45 – 07.50	765.52	1017.5048	11.45 – 11.50	742.8	1017.5048
07.50 – 07.55	750.44	1017.5048	11.50 – 11.55	735.96	1017.5048
07.55 – 08.00	755.48	1017.5048	11.55 – 12.00	783.36	1017.5048
08.00 – 08.05	616.08	1017.5048	15.00 – 15.05	855.6	1017.5048
08.05 – 08.10	1116.64	1017.5048	15.05 – 15.10	733.92	1017.5048
08.10 – 08.15	1025.36	1017.5048	15.10 – 15.15	729.72	1017.5048
08.15 – 08.20	835.8	1017.5048	15.15 – 15.20	935.72	1017.5048
08.20 – 08.25	667.56	1017.5048	15.20 – 15.25	1025.8	1017.5048
08.25 – 08.30	835.12	1017.5048	15.25 – 15.30	1122.32	1017.5048
08.30 – 08.35	732.72	1017.5048	15.30 – 15.35	648	1017.5048
08.35 – 08.40	755.72	1017.5048	15.35 – 15.40	635.64	1017.5048
08.40 – 08.45	736.8	1017.5048	15.40 – 15.45	841.2	1017.5048
08.45 – 08.50	1080.08	1017.5048	15.45 – 15.50	975.92	1017.5048
08.50 – 08.55	619.75	1017.5048	15.50 – 15.55	924.12	1017.5048
08.55 – 09.00	613.68	1017.5048	15.55 – 16.00	704.28	1017.5048
10.00 – 10.05	747.96	1017.5048	16.00 – 16.05	719.76	1017.5048
10.05 – 10.10	960.36	1017.5048	16.05 – 16.10	766.32	1017.5048
10.10 – 10.15	760.44	1017.5048	16.10 – 16.15	854.52	1017.5048
10.15 – 10.20	708.48	1017.5048	16.15 – 16.20	769.68	1017.5048
10.20 – 10.25	885	1017.5048	16.20 – 16.25	1120.6	1017.5048
10.25 – 10.30	821.76	1017.5048	16.25 – 16.30	913.2	1017.5048
10.30 – 10.35	1000.08	1017.5048	16.30 – 16.35	663.12	1017.5048
10.35 – 10.40	1035.8	1017.5048	16.35 – 16.40	845.88	1017.5048
10.40 – 10.45	1021.32	1017.5048	16.40 – 16.45	708	1017.5048
10.45 – 10.50	1025.36	1017.5048	16.45 – 16.50	685.92	1017.5048
10.50 – 10.55	1045.2	1017.5048	16.50 – 16.55	863.76	1017.5048
10.55 – 11.00	1019.4	1017.5048	16.55 – 17.00	692.88	1017.5048

Tabel 5.6 . Perbandingan antar Kapasitas dan Demand pada Penyempitan Jalan (section B-B) untuk Model Underwood

Periode Waktu	Demand (Smp/ Jam)	Kapasitas (smp/ jam)	Periode Waktu	Demand (Smp/ Jam)	Kapasitas (smp/ jam)
07.00 – 07.05	575.84	1114.2333	11.00 – 11.05	777.36	1114.2333
07.05 – 07.10	574.2	1114.2333	11.05 – 11.10	925.68	1114.2333
07.10 – 07.15	750.76	1114.2333	11.10 – 11.15	964.68	1114.2333
07.15 – 07.20	525.8	1114.2333	11.15 – 11.20	964.92	1114.2333
07.20 – 07.25	507.36	1114.2333	11.20 – 11.25	1015.64	1114.2333
07.25 – 07.30	572.28	1114.2333	11.25 – 11.30	891	1114.2333
07.30 – 07.35	633.96	1114.2333	11.30 – 11.35	963.36	1114.2333
07.35 – 07.40	602.88	1114.2333	11.35 – 11.40	866.64	1114.2333
07.40 – 07.45	709.44	1114.2333	11.40 – 11.45	515.52	1114.2333
07.45 – 07.50	765.52	1114.2333	11.45 – 11.50	742.8	1114.2333
07.50 – 07.55	750.44	1114.2333	11.50 – 11.55	735.96	1114.2333
07.55 – 08.00	755.48	1114.2333	11.55 – 12.00	783.36	1114.2333
08.00 – 08.05	616.08	1114.2333	15.00 – 15.05	855.6	1114.2333
08.05 – 08.10	1116.64	1114.2333	15.05 – 15.10	733.92	1114.2333
08.10 – 08.15	1025.36	1114.2333	15.10 – 15.15	729.72	1114.2333
08.15 – 08.20	835.8	1114.2333	15.15 – 15.20	935.72	1114.2333
08.20 – 08.25	667.56	1114.2333	15.20 – 15.25	1025.8	1114.2333
08.25 – 08.30	835.12	1114.2333	15.25 – 15.30	1122.32	1114.2333
08.30 – 08.35	732.72	1114.2333	15.30 – 15.35	648	1114.2333
08.35 – 08.40	755.72	1114.2333	15.35 – 15.40	635.64	1114.2333
08.40 – 08.45	736.8	1114.2333	15.40 – 15.45	841.2	1114.2333
08.45 – 08.50	1080.08	1114.2333	15.45 – 15.50	975.92	1114.2333
08.50 – 08.55	619.75	1114.2333	15.50 – 15.55	924.12	1114.2333
08.55 – 09.00	613.68	1114.2333	15.55 – 16.00	704.28	1114.2333
10.00 – 10.05	747.96	1114.2333	16.00 – 16.05	719.76	1114.2333
10.05 – 10.10	960.36	1114.2333	16.05 – 16.10	766.32	1114.2333
10.10 – 10.15	760.44	1114.2333	16.10 – 16.15	854.52	1114.2333
10.15 – 10.20	708.48	1114.2333	16.15 – 16.20	769.68	1114.2333
10.20 – 10.25	885	1114.2333	16.20 – 16.25	1120.6	1114.2333
10.25 – 10.30	821.76	1114.2333	16.25 – 16.30	913.2	1114.2333
10.30 – 10.35	1000.08	1114.2333	16.30 – 16.35	663.12	1114.2333
10.35 – 10.40	1035.8	1114.2333	16.35 – 16.40	845.88	1114.2333
10.40 – 10.45	1021.32	1114.2333	16.40 – 16.45	708	1114.2333
10.45 – 10.50	1025.36	1114.2333	16.45 – 16.50	685.92	1114.2333
10.50 – 10.55	1045.2	1114.2333	16.50 – 16.55	863.76	1114.2333
10.55 – 11.00	1019.4	1114.2333	16.55 – 17.00	692.88	1114.2333

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari seluruh proses pengamatan, perhitungan dan analisis pada arus lalu lintas yang terjadi pada kondisi penyempitan jalan pada Jalan Arteri Primer, kilometer lima dari Demak menuju ke Kudus ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Terdapat perbedaan kecepatan perjalanan yang cukup mendasar pada ketiga kondisi jalan tersebut, yang disebabkan perbedaan karakteristik geometrik jalan, seperti dari kondisi jalan 2 lajur menjadi 1 lajur, pada kondisi jalan normal kecepatannya lebih besar dibandingkan dengan kondisi jalan menyempit dan pertemuan jalan normal dan menyempit.
2. Berdasarkan pada koefisien *determinasi* yang diperoleh :

- a. Kondisi jalan normal : *Greenshield* $R^2 = 0,405$; *Greenberg* $R^2 = 0,416$; *Underwood* $R^2 = 0,409$)
- b. Kondisi jalan menyempit : *Greenshield* ($R^2 = 0,552$), *Greenberg* ($R^2 = 0,542$), *Underwood* ($R^2 = 0,550$)
- c. Kondisi jalan pertemuan normal dan menyempit : (*Greenshield* $R^2 = 0,449$; *Greenberg* $R^2 = 0,499$; *Underwood* $R^2 = 0,418$).

Sehingga dapat dikatakan bahwa model yang paling cocok digunakan pada kondisi jalan normal yaitu : model *Greenberg*, pada kondisi jalan menyempit yaitu: model *Greenshield*, pada kondisi jalan pertemuan normal dan menyempit yaitu : model *Greenberg*, karena mempunyai nilai koefisien *determinasi* terbesar diantara model yang lainnya. Ini artinya pasangan data arus dan kecepatan pada kondisi jalan tersebut lebih menggambarkan kondisi berbagai kerapatan dari yang kecil hingga yang besar.

3. Kecepatan ruang rata-rata pada arus bebas (*free flow speed*) pada model *Greenshield* dan model *Underwood* memberikan hasil yang hampir sama pada kondisi penggal jalan yang

sama meskipun terjadi selisih pada nilai arus maksimum dan kerapatan, sementara pada model *Greenberg* diperoleh kecepatan ruang rata-rata pada arus bebas tidak terhingga, hal ini lebih disebabkan oleh karakteristik lalulintas khususnya pada kecepatan kendaraan .

a. Kondisi penggal jalan normal

-*Greenshield*: $U_f=65,54$ Km/jam ; $D_j = 86,39$ smp/km; V maks = 1415,47 smp/jam/arah.

-*Underwood*: $U_f=66,89$ Km/jam; $D_m = 68,49$ smp/km; V maks = 1685,59 smp/jam/arah.

-*Greenberg*: $U_m=14,12$ Km/jam; $D_j = 669,8$ smp/km; V maks = 3480,46 smp/jam/arah.

b. Kondisi penggal jalan menyempit

-*Greenshield*: $U_f=56,96$ Km/jam ; $D_j = 71,46$ smp/km; V maks = 1017,51 smp/jam/arah.

-*Underwood*: $U_f= 60,58$ Km/jam ; $D_m = 50$ smp/km; V maks = 1114,23 smp/jam/arah.

-*Greenberg*: $U_m = 15,39$ Km/jam; $D_j=276,3$ smp/km; V maks = 1564,43 smp/jam/arah.

c. Kondisi penggal pertemuan antara jalan normal dan menyempit

-*Greenshield*: $U_f=64,53$ Km/jam ; $D_j = 69,53$ smp/km; V maks = 1121,78 smp/jam/arah.

-*Underwood*: $U_f=66,77$ Km/jam ; $D_m = 51,81$ smp/km; V maks = 1272,69 smp/jam/arah.

-*Greenberg*: $U_m=17,91$ Km/jam; $D_j = 249,81$ smp/km; V maks = 1645,76 smp/jam/arah.

4. Dari hasil analisa dan perhitungan pada lokasi jalan yang diamati, telah terjadi gelombang kejut, namun tidak mengakibatkan antrian yang terlalu panjang, sebagai contoh pada saat periode waktu 15.25-15.30 telah terjadi gelombang kejut mundur bentukan dengan panjang antrian maksimum 63,5 m (pada model *Underwood*).
5. Dari hasil analisa dan perhitungan gelombang kejut, dapat diperoleh hasil bahwa pada Model *Greenshield* , akan terjadi gelombang kejut pada lima periode waktu yaitu pada jam 08.05 – 08.15 ($\omega=-2,49$ km/jam), 08.45-08.50 ($\omega=-1,42$ km/jam), 10.35 – 11.00 ($\omega=-1,32$ km/jam), 15.20 – 15.30 ($\omega=-2,65$ km/jam), 16.20-16.25 ($\omega=-2,42$ km/jam) sedangkan pada Model *Underwood* akan terjadi gelombang kejut pada tiga periode waktu yaitu pada jam 08.05-08.10 ($\omega =-0,0189$ km/jam), 15.25 – 15.30 ($\omega=0,0635$ km/jam), 16.20-16.25 ($\omega =0,05$ km/jam). Lama terjadi antrian pada Model *Greenshield* masing-masing terjadi selama 13 menit 28 detik, 5 menit 1 detik, 26 menit 26 detik, 10 menit 29 detik, 10 menit 3 detik, Sedangkan pada Model *Underwood* lama antrian masing-masing terjadi selama

5 menit 9 detik, 5 menit 6 detik, 5 menit 10 detik. Sehingga dengan diperolehnya hasil perhitungan tersebut, dapat memprediksi panjang antrian yang mendekati keadaan sebenarnya dalam mengatasi kemacetan yang terjadi akibat pengaruh penyempitan jalan.

6. Pada kondisi jalan menyempit, model *Greensheild* diperoleh nilai F , t , R^2 masing-masing yaitu : 86, 2201; 32,2289 ; 0,5519 dan model *Underwood* dengan nilai F , t , R^2 masing-masing yaitu 87,6875; 92,1021; 0,5504 lebih besar dibandingkan dengan model *Greenberg* dengan nilai F , t , R^2 masing-masing yaitu : 82,6745; 17,2587 ; 0,5415 . Ini artinya bahwa pada model *Greenberg*, kerapatan yang terjadi kurang ada hubungan yang erat dan tidak terlalu berpengaruh terhadap kecepatan kendaraan, serta tingkat signifikansi *variance* antara kerapatan dan kecepatan kendaraan lebih kecil dibandingkan dengan model *Greenshield* dan model *Underwood*.
7. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, perhitungan dan analisis pada Model *Underwood* diperoleh panjang antrian maksimum 63,5 m sedangkan pada model *Greenshield* diperoleh panjang antrian maksimum: 2644,7 m, sementara berdasarkan hasil pengamatan dilapangan diperoleh panjang antrian maksimum : 55 m. Sehingga model yang lebih sesuai dengan kondisi lapangan yang sebenarnya yaitu model *Underwood*.

6.2 Saran

1. Perlu dilakukan studi lebih lanjut terutama mengenai penentuan model yang paling cocok pada lokasi yang diamati, sehingga diperoleh hubungan korelasi antara kecepatan-kerapatan yang lebih baik.
2. Perlu dilakukan studi terhadap pengaruh ada atau tidaknya pembatas jalan yang permanen (*median*) terhadap karakteristik lalulintas yang terjadi pada kondisi jalan menyempit.
3. Perlu dilakukan studi tentang pengaruh ada atau tidaknya perilaku Pengemudi dan kendaraan terhadap karakteristik lalulintas, khususnya pada kecepatan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Budiarto Arief, (1998), **Pengaruh "BOTTLENECK" Terhadap Karakteristik Lalu-lintas**, *Tesis Magister*, Rekayasa Transportasi, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
2. Direktorat Jendral Bina Marga, Direktorat Pembinaan Jalan Kota, (1990), **Panduan Survey dan Perhitungan Waktu Perjalanan Lalu-lintas** No.001/T/BNKT/1990.
3. Direktorat Jendral Bina Marga, Direktorat Pembinaan Jalan Kota, (1990), **Tata Cara Pelaksanaan Survey dan Perhitungan Lalu-lintas Cara manual**. No. 016/T/BNKT/1990.
4. Directorate General of Highways Ministry of Public Works, (1997), **Indonesian Highway Capacity Manual**, Urban Roads, Indonesia.
5. May, A.D, (1990), **Traffic Flow Fundamentals**, Prentice – Hall International Inc, New Jersey, USA.
6. Papacostas, C.S and Prevedouros, P.D, (1993), **Transportation Engineering and Planning**, Prentice Hall, Inc, New Jersey, USA.
7. Syamsuwito, (1994), **Studi Hubungan Kecepatan, Volume dan Kerapatan Pada Ruas Jalan Soekarno Hatta Dikota Bandung**, *Tesis Magister*, Rekayasa Transportasi, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
8. Sudjana, (1996). **Metoda Statistika**, Penerbit Tarsito, Bandung.
9. Sumarsono,A, (1997), **Studi Hubungan Kecepatan, Volume dan Kerapatan Lalulintas Dengan Menggunakan Tiga Pendekatan**, *Tesis Magister*, Rekayasa Transportasi, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
10. Syamsinarsi Rani, (1997), **Hubungan Antara Kecepatan, Aliran dan Kepadatan Lalu-lintas**, *Tesis Magister*, Teknik Transportasi, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

11. Suteja Wayan I, (1998), **Studi Hubungan Kecepatan, Volume dan Kerapatan Lalulintas dengan Pendekatan Empat Model**, *Tesis Magister*, Rekayasa Transportasi, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
12. Tamin O.Z.(1991, **Hubungan Volume, Kecepatan Dan Kepadatan Lalulintas**, *Jurnal Teknik Sipil*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
13. William W.Hines and Douglas C.Montgomery, (1990), *Probabilitas dan Statistitik dalam Ilmu Rekayasa dan Manajemen*, Penerbit UI-Press, Jakarta.
14. Widana Negara,I.N, Msc,(1991), **Speed-Volume Relationships On Congested Roads In Bandung**, *Thesis*, Program Sistem Dan Teknik Jalan Raya, Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung, Bandung, (Unpublished).