

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PANJANG ANTRIAN AKIBAT HAMBATAN
SAMPING DENGAN METODE GELOMBANG KEJUT**

***ANALYSIS OF QUEUE LENGTH DUE TO SIDE BARRIERS
USING SHOCK WAVE METHOD***

**MUHAMMAD FADHIL FAUZAN
D111 16 531**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2023**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**ANALISIS PANJANG ANTRIAN AKIBAT HAMBATAN
SAMPING DENGAN METODE GELOMBANG KEJUT**

Disusun dan diajukan oleh:

Muhammad Fadhil Fauzan

D111 16 531

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 15 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I,



Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, MT
NIP: 195812281986012001

Pembimbing II,



Dr. Ir. Syafruddin Rauf, MT
NIP: 195804241987021001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Muhammad Fadhil Fauzan, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**ANALISIS PANJANG ANTRIAN AKIBAT HAMBATAN SAMPING DENGAN METODE GELOMBANG KEJUT**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 24 Februari 2023

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Fadhil Fauzan

NIM: D111 16 531

KATA PENGANTAR

Puji Dan Syukur Hanya Kepada Allah Yang Maha Kuasa Atas Berkat Dan Rahmat-Nya, maka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, yaitu sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tugas Akhir ini memerlukan proses yang tidak singkat. Perjalanan yang dilalui penulis dalam menyelesaikan skripsi ini tidak lepas dari tangan-tangan berbagai pihak yang senantiasa memberikan bantuan, baik berupa materi maupun dorongan moril. Olehnya itu, ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu kepada:

1. Kedua Orang Tua Tercinta, Yaitu Ayahanda **H. Muhammad Nawir Fachdan, S.E.** dan Ibunda **Hj. Selviana, A.Md** atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik spritiual maupun materil, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Bapak **Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, ST., MT**, Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.
3. Bapak **Prof. Dr. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.** Dan Bapak **Dr. Eng. Bambang Bakri, ST, MT** Selaku Ketua Dan Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.

4. Ibu **Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, MT** selaku Dosen Pembimbing I, atas segala kesabaran dan waktu yang telah diluangkannya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesainya penulisan tugas akhir ini.
5. Bapak **Dr. Ir. Syafruddin Rauf, MT** selaku dosen pembimbing II, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesainya penulisan tugas akhir ini.
6. Seluruh Dosen, Staf Dan Karyawan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
7. Saudara-Saudariku Seangkatan 2016 Teknik Sipil, yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Tiada imbalan yang dapat diberikan penulis selain memohon kepada Allah Yang Maha Kuasa, Melimpahkan Berkat-Nya Kepada Kita Semua, Amin. Akhir kata penulis menyadari bahwa di dalam tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan dan memerlukan perbaikan, sehingga dengan segala keterbukaan penulis mengharapkan masukan dari semua pihak. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, Februari 2023

Muhammad Fadhil Fauzan

ABSTRAK

Pertumbuhan lalu lintas di masa yang akan datang tentu akan memerlukan perencanaan dan pengendalian arus lalu lintas pada jaringan jalan sehingga diharapkan mampu melayani arus lalu lintas yang lewat. Salah satu kendala lalu lintas yang terdapat pada ruas jalan adalah penyempitan jalan (bottleneck) yang diakibatkan oleh hambatan samping. Penyempitan jalan adalah suatu bagian jalan dengan kondisi kapasitas lalu lintas sesudahnya lebih kecil dari bagian masuk (sebelumnya). Penyempitan ruas jalan akan menimbulkan hambatan dalam lalulintas, akan tetapi pengaruh penyempitan jalan 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 melewati dengan mudah tanpa ada hambatan.

Di dalam menentukan hubungan karakteristik lalu lintas pada penyempitan jalan digunakan tiga metode pendekatan yaitu linier Greenshield, Greenberg, Underwood. Pada kondisi arus lalu lintas dengan kecepatan yang bervariasi, ketiga model tersebut menghasilkan nilai yang cukup baik, akan tetapi pada pengujian statistik terlihat bahwa model Underwood memenuhi kriteria yang lebih baik diantara kedua model lainnya.

Dari hasil perhitungan dengan metode Underwood diperoleh arus lalu lintas maksimum (q_c), kecepatan arus bebas (U_f) kerapatan maksimum (k_j) nilai gelombang kejut (ω) serta panjang antrian (L) dari masing-masing arah dan periode waktu, yaitu (a) untuk segmen 1 Periode Pagi: Q_{maks} 2795.44 smp/jam, Gelombang Kejut: -0.95 km/jam, dan Panjang antrian -0.30 km, Periode Siang: Q_{maks} 3432.14 smp/jam, Gelombang Kejut: 2.56 km/jam, dan Panjang antrian 0.55 km, Periode Sore: Q_{maks} 2527.35 smp/jam, Gelombang Kejut: 0.20 km/jam, Panjang Antrian 0.15 km (b) Segmen 2 Periode Pagi: Q_{maks} 2863.20 smp/jam, Gelombang Kejut: 4.05 km/jam, dan Panjang Antrian 1.69 km. Periode Siang: Q_{maks} 2764.05 smp/jam, Gelombang Kejut: 7.46 km/jam, dan Panjang Antrian 0.07 km. Periode Sore: Q_{maks} 2811.04 smp/jam, Gelombang Kejut: 0.68 km/jam, dan Panjang Antrian 0.16 km. (c) Segmen 3 Periode Pagi: Q_{maks} 3122.92 smp/jam, Gelombang Kejut: -0.36 km/jam, dan Panjang Antrian -0.21 km Periode Siang: Q_{maks} 2550.06 smp/jam, Gelombang Kejut: 1.24 km/jam, dan Panjang Antrian 0.22 km Periode Sore: Q_{maks} 2986.29 smp/jam, Gelombang Kejut: 3.54 km/jam, dan Panjang Antrian 2.13 km. (d) Segmen 4 Periode Pagi: Q_{maks} 4349.70 smp/jam, Gelombang Kejut: 2.61 km/jam, dan Panjang Antrian 1.35 km. Periode Siang: Q_{maks} 4203.03 smp/jam, Gelombang Kejut: 1.38 km/jam, dan Panjang Antrian 0.59 km. Periode Sore: Q_{maks} 3146.56 smp/jam, Gelombang Kejut: 2.54 km/jam, dan Panjang Antrian 0.03 km. (e) Segmen 5 Periode Pagi: Q_{maks} 4451.15 smp/jam, Gelombang Kejut: 2.57 km/jam, dan Panjang Antrian 0.92 km Periode Siang: Q_{maks} 4534.32 smp/jam, Gelombang Kejut: 4.15 km/jam, dan Panjang Antrian

2.59 km Periode Sore: Q_{maks} 5330.78 smp/jam, Gelombang Kejut: 3.80 km/jam, dan Panjang Antrian -0.84 km. (f) Segmen 6 Periode Pagi: Q_{maks} 4427.58 smp/jam, Gelombang Kejut -2.22 km/jam, dan Panjang Antrian -1.12 km Periode Siang: Q_{maks} 3203.98 smp/jam, Gelombang Kejut: 3.19 km/jam, dan Panjang Antrian 0.22 km Periode Sore: Q_{maks} 5509.47 smp/jam, Gelombang Kejut: 2.53 km/jam, dan Panjang Antrian -0.18 km.

Kata Kunci: Panjang Antrian, Hambatan Samping dan Gelombang Kejut

ABSTRACT

Traffic growth in the future will certainly require planning and controlling traffic flow on the road network so that it is expected to be able to serve the passing traffic flow. One of the traffic constraints on the road is the bottleneck caused by side barriers. Road narrowing is a section of the road where the traffic capacity afterward is smaller than the entry (previous). The narrowing of the road will cause obstacles in traffic. However, the effect of road narrowing does not mean at all if the traffic flow (demand) is smaller than the capacity or road capacity (supply) in the narrowed area so that traffic flow can be easily missed without any obstacles.

In determining the relationship of traffic characteristics on road narrowing, three approaches are used, namely linear Greenshield, Greenberg, Underwood. In conditions of traffic flow with varying speeds, the three models produce fairly good scores, but on statistical testing it appears that the Underwood model meets the criteria better than the other two models.

From the results of calculations using the Underwood method, the maximum traffic flow (q_c), free flow speed (U_f), maximum density (k_j), shock wave value (ω) and queue length (L) from each direction and time period, namely (a) for segment 1 Morning Period: Q_{max} 2795.44 pcu/hour, Shock Wave: -0.95 km/hour, and Queue length -0.30 km, Afternoon Period: Q_{max} 3432.14 pcu/hour, Shock Wave: 2.56 km/hour, and Queue length 0.55 km, Afternoon Period: Q_{max} 2527.35 pcu/hour, Shock Wave: 0.20 km/h, Queue Length 0.15 km (b) Segment 2 Morning Period: Q_{max} 2863.20 pcu/hour, Shock Wave: 4.05 km/hour, and Queue Length 1.69 km . Day Period: Q_{max} 2764.05 smp/hour, Shock Wave: 7.46 km/hour, and Queue Length 0.07 km. Afternoon Period: Q_{max} 2811.04 smp/hour, Shock Wave: 0.68 km/hour, and Queue Length 0.16 km. (c) Segment 3 Morning Period: Q_{max} 3122.92 pcu/hour, Shock Wave: -0.36 km/hour, and Queue Length -0.21 km Daytime Period: Q_{max} 2550.06 pcu/hour, Shock Wave: 1.24 km/hour, and Queue Length 0.22 km Afternoon Period: Q_{max} 2986.29 smp/hour, Shock Wave: 3.54 km/hour, and Queue Length 2.13 km. (d) Segment 4 Morning Period: Q_{max} 4349.70 pcu/hour, Shock Wave: 2.61 km/hour, and Queue Length 1.35 km. Day Period: Q_{max} 4203.03 pcu/hour, Shock Wave: 1.38 km/hour, and Queue Length 0.59 km. Afternoon Period: Q_{max} 3146.56 smp/hour, Shock Wave: 2.54 km/hour, and Queue Length 0.03 km. (e) Segment 5 Morning Period: Q_{max} 4451.15 pcu/hour, Shock Wave: 2.57 km/hour, and Queue Length 0.92 km Daytime Period: Q_{max} 4534.32 pcu/hour, Shock Wave: 4.15 km/hour, and Queue Length 2.59 km Period Afternoon: Q_{max} 5330.78 pcu/hour, Shock Wave: 3.80 km/hour, and Queue Length -0.84 km. (f) Segment 6 Morning Period: Q_{max} 4427.58 pcu/hour, Shock Wave -2.22 km/hour, and Queue Length -1.12 km Daytime Period: Q_{max} 3203.98 pcu/hour, Shock Wave: 3.19 km/hour, and Queue Length 0.22 km

Afternoon Period: Qmax 5509.47 smp/hour, Shock Wave: 2.53 km/hour,
and Queue Length -0.18 km.

Keywords: Queue Length, Side Barriers, Shock Wave

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| Halaman Judul | i |
| Lembar Pengesahan | ii |
| Kata Pengantar | iii |
| Abstrak | v |
| Abstract | vi |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xvi |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Rumusan Masalah | 6 |
| C. Tujuan Penelitian | 6 |
| D. Batasan Masalah | 7 |
| E. Manfaat Penelitian | 7 |
| F. Sistematika Penulisan | 8 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | |
| A. Karakteristik Lalu Lintas | 10 |
| A.1 Karakteristik Makro Lalu Lintas | 11 |
| B. Metode Survei Lalu Lintas | 15 |
| B.1 Metode Survei Jumlah Kendaraan | 16 |
| B.2 Metode Survei Waktu Tempuh Kendaraan | 17 |
| C. Gelombang Kejut (Shock Wave) | 19 |

| | |
|---|----|
| C.1 Gelombang Kejut akaibat hambatan samping | 19 |
| C.2 Klasifikasi Gelombang Kejut | 20 |
| C.3 Nilai Gelombang Kejut | 24 |
| D. Hambatan Samping (side friction) | 27 |
| E. Penyempitan dalam System Transportasi | 30 |
| F. Hubungan antara Volume, Kecepatan, dan Kerapatan | 33 |
| F.1 Hubungan antara Volume (q) – Kecepatan(U)..... | 36 |
| F.2 Hubungan antara Kecepatan (U) – Kerapatan (k) | 37 |
| F.3 Hubungan antara Volume (q) – Kerapatan (k) | 37 |
| G. Perhitungan Volume, Kecepatan, dan Kerapatan | 38 |
| H. Permodel Hubungan antara Volume, Kecepatan, dan Kerapatan..... | 40 |
| H.1 Model Linier Greenshield..... | 41 |
| H.2 Model Logaritmik Greenberg | 43 |
| H.3 Model Eksponensial Underwood | 45 |
| I. Analisa Regresi Linier | 46 |
| J. Analisa Korelasi..... | 47 |
| K. Pengujian Signifikasi | 48 |

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

| | |
|---|----|
| A. Bagan Air Metodologi Penelitian | 50 |
| B. Penjabaran Garis Besar Program Kerja | 52 |
| C. Metode Pengambilan Data..... | 53 |
| C.1 Data Primer | 53 |
| C.2 Data Sekunder..... | 54 |

| | |
|--|----|
| D. Peralatan dan Lokasi Survei..... | 54 |
| D.1 Peralatan Survei | 54 |
| D.2 Lokasi Survei | 56 |
| E. Teknik Pelaksanaan Survei..... | 60 |
| F. Metode Analisa Data | 63 |
| F.1 Karakteristik arus lalu lintas yang dianalisis | 63 |
| F.2 Analisa model hubungan karakteristik arus lalu lintas..... | 63 |
| F.3 Gelombang Kejut | 65 |
| F.4 Panjang Antrian | 65 |

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|---|-----|
| A. Volume lalu lintas | 66 |
| B. Kecepatan lalu lintas | 69 |
| C. Kerapatan lalu lintas | 74 |
| D. Model Hubungan Karakteristik lalu lintas | 78 |
| D.1 Model Hubungan S-D | 78 |
| D.2 Model Hubungan V-D | 100 |
| D.3 Model Hubungan V-S | 124 |
| E. Pemilihan Model Hubungan yang sesuai | 148 |
| F. Pengujian Model yang dipilih..... | 149 |
| G. Nilai Arus Maksimum..... | 150 |
| G.1 Segmen 1a&1b..... | 150 |
| G.2 Segmen 2a&2b..... | 151 |
| G.3 Segmen 3a&3b..... | 151 |

| | |
|---|-----|
| G.4 Segmen 4a&4b..... | 152 |
| G.5 Segmen 5a&5b..... | 152 |
| G.6 Segmen 6a&6b..... | 153 |
| H. Nilai Gelombang Kejut, Panjang antrian dan jenis gelombang kejut | 154 |
| I. Diagram Shockwave | 155 |

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

| | |
|--------------------|-----|
| A. Kesimpulan..... | 155 |
| B. Saran..... | 157 |

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Visualisasi gerakan gelombang kejut pada jalur menyempit | 20 |
| Gambar 2.2 Klasifikasi Gelombang Kejut | 24 |
| Gambar 2.3 Kurva Gelombang Kejut..... | 27 |
| Gambar 2.4 Hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan..... | 35 |
| Gambar 2.5 Hubungan Kecepatan (U_s) – Volume (q) | 36 |
| Gambar 2.6 Hubungan Kecepatan (U_s) – Kerapatan (k) | 37 |
| Gambar 2.7 Hubungan Volume (q) – Kerapatan (k) | 38 |
| Gambar 3.1 Diagram Alur Kerja Penelitian..... | 50 |
| Gambar 3.2 Diagram Alur Kerja Penelitian..... | 51 |
| Gambar 3.3 Peta Lokasi Daerah Pengamatan | 60 |
| Gambar 4.1 Grafik Volume Lalu Lintas Rata-rata Segmen 1a & 1b..... | 66 |
| Gambar 4.2 Grafik Volume Lalu Lintas Rata-rata Segmen 2a & 2b..... | 67 |
| Gambar 4.3 Grafik Volume Lalu Lintas Rata-rata Segmen 3a & 3b..... | 67 |
| Gambar 4.4 Grafik Volume Lalu Lintas Rata-rata Segmen 4a & 4b..... | 68 |
| Gambar 4.5 Grafik Volume Lalu Lintas Rata-rata Segmen 5a & 5b..... | 68 |
| Gambar 4.6 Grafik Volume Lalu Lintas Rata-rata Segmen 6a & 6b..... | 69 |
| Gambar 4.7 Grafik Kecepatan Rata-rata Lalu Lintas Segmen 1a & 1b..... | 69 |
| Gambar 4.8 Grafik Kecepatan Rata-rata Lalu Lintas Segmen 2a & 2b..... | 70 |
| Gambar 4.9 Grafik Kecepatan Rata-rata Lalu Lintas Segmen 3a & 3b..... | 71 |
| Gambar 4.10 Grafik Kecepatan Rata-rata Lalu Lintas Segmen 4a & 4b..... | 72 |
| Gambar 4.11 Grafik Kecepatan Rata-rata Lalu Lintas Segmen 5a & 5b..... | 73 |
| Gambar 4.12 Grafik Kecepatan Rata-rata Lalu Lintas Segmen 6a & 6b..... | 74 |
| Gambar 4.13 Grafik Kerapatan Lalu Lintas Segmen 1a & 1b | 75 |
| Gambar 4.14 Grafik Kerapatan Lalu Lintas Segmen 2a & 2b | 75 |
| Gambar 4.15 Grafik Kerapatan Lalu Lintas Segmen 3a & 3b | 76 |
| Gambar 4.16 Grafik Kerapatan Lalu Lintas Segmen 4a & 4b | 76 |
| Gambar 4.17 Grafik Kerapatan Lalu Lintas Segmen 5a & 5b | 77 |
| Gambar 4.18 Grafik Kerapatan Lalu Lintas Segmen 6a & 6b | 78 |
| Gambar 4.19 Grafik Hubungan S-D Segmen 1a Periode Pagi | 79 |
| Gambar 4.20 Grafik Hubungan S-D Segmen 1a Periode Siang | 80 |
| Gambar 4.21 Grafik Hubungan S-D Segmen 1a Periode Sore | 80 |
| Gambar 4.22 Grafik Hubungan S-D Segmen 1b Periode Pagi | 81 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 4.23 Grafik Hubungan S-D Segmen 1b Periode Siang | 81 |
| Gambar 4.24 Grafik Hubungan S-D Segmen 1b Periode Sore | 82 |
| Gambar 4.25 Grafik Hubungan S-D Segmen 2a Periode Pagi | 83 |
| Gambar 4.26 Grafik Hubungan S-D Segmen 2a Periode Siang | 83 |
| Gambar 4.27 Grafik Hubungan S-D Segmen 2a Periode Sore | 84 |
| Gambar 4.28 Grafik Hubungan S-D Segmen 2b Periode Pagi | 84 |
| Gambar 4.29 Grafik Hubungan S-D Segmen 2b Periode Siang | 85 |
| Gambar 4.30 Grafik Hubungan S-D Segmen 2b Periode Sore..... | 85 |
| Gambar 4.31 Grafik Hubungan S-D Segmen 3a Periode Pagi | 86 |
| Gambar 4.32 Grafik Hubungan S-D Segmen 3a Periode Siang | 87 |
| Gambar 4.33 Grafik Hubungan S-D Segmen 3a Periode Sore | 87 |
| Gambar 4.34 Grafik Hubungan S-D Segmen 3b Periode Pagi | 88 |
| Gambar 4.35 Grafik Hubungan S-D Segmen 3b Periode Siang | 88 |
| Gambar 4.36 Grafik Hubungan S-D Segmen 3b Periode Sore | 89 |
| Gambar 4.37 Grafik Hubungan S-D Segmen 4a Periode Pagi | 90 |
| Gambar 4.38 Grafik Hubungan S-D Segmen 4a Periode Siang | 90 |
| Gambar 4.39 Grafik Hubungan S-D Segmen 4a Periode Sore | 91 |
| Gambar 4.40 Grafik Hubungan S-D Segmen 4b Periode Pagi | 91 |
| Gambar 4.41 Grafik Hubungan S-D Segmen 4b Periode Siang | 92 |
| Gambar 4.42 Grafik Hubungan S-D Segmen 4b Periode Sore | 92 |
| Gambar 4.43 Grafik Hubungan S-D Segmen 5a Periode Pagi | 94 |
| Gambar 4.44 Grafik Hubungan S-D Segmen 5a Periode Siang | 94 |
| Gambar 4.45 Grafik Hubungan S-D Segmen 5a Periode Sore | 95 |
| Gambar 4.46 Grafik Hubungan S-D Segmen 5b Periode Pagi | 95 |
| Gambar 4.47 Grafik Hubungan S-D Segmen 5b Periode Siang | 96 |
| Gambar 4.48 Grafik Hubungan S-D Segmen 5b Periode Sore | 96 |
| Gambar 4.49 Grafik Hubungan S-D Segmen 6a Periode Pagi | 97 |
| Gambar 4.50 Grafik Hubungan S-D Segmen 6a Periode Siang | 98 |
| Gambar 4.51 Grafik Hubungan S-D Segmen 6a Periode Sore | 98 |
| Gambar 4.52 Grafik Hubungan S-D Segmen 6b Periode Pagi | 99 |
| Gambar 4.53 Grafik Hubungan S-D Segmen 6b Periode Siang | 99 |
| Gambar 4.54 Grafik Hubungan S-D Segmen 6b Periode Sore | 100 |
| Gambar 4.55 Grafik Hubungan V-D Segmen 1a Periode Pagi | 101 |
| Gambar 4.56 Grafik Hubungan V-D Segmen 1a Periode Siang | 102 |

| | | |
|--------------------|---|-----|
| Gambar 4.57 | Grafik Hubungan V-D Segmen 1a Periode Sore | 102 |
| Gambar 4.58 | Grafik Hubungan V-D Segmen 1b Periode Pagi | 103 |
| Gambar 4.59 | Grafik Hubungan V-D Segmen 1b Periode Siang | 103 |
| Gambar 4.60 | Grafik Hubungan V-D Segmen 1b Periode Sore | 104 |
| Gambar 4.61 | Grafik Hubungan V-D Segmen 2a Periode Pagi | 105 |
| Gambar 4.62 | Grafik Hubungan V-D Segmen 2a Periode Siang | 106 |
| Gambar 4.63 | Grafik Hubungan V-D Segmen 2a Periode Sore..... | 106 |
| Gambar 4.64 | Grafik Hubungan V-D Segmen 2b Periode Pagi | 107 |
| Gambar 4.65 | Grafik Hubungan V-D Segmen 2b Periode Siang | 107 |
| Gambar 4.66 | Grafik Hubungan V-D Segmen 2b Periode Sore..... | 108 |
| Gambar 4.67 | Grafik Hubungan V-D Segmen 3a Periode Pagi | 109 |
| Gambar 4.68 | Grafik Hubungan V-D Segmen 3a Periode Siang | 110 |
| Gambar 4.69 | Grafik Hubungan V-D Segmen 3a Periode Sore..... | 110 |
| Gambar 4.70 | Grafik Hubungan V-D Segmen 3b Periode Pagi | 111 |
| Gambar 4.71 | Grafik Hubungan V-D Segmen 3b Periode Siang | 111 |
| Gambar 4.72 | Grafik Hubungan V-D Segmen 3b Periode Sore | 112 |
| Gambar 4.73 | Grafik Hubungan V-D Segmen 4a Periode Pagi | 113 |
| Gambar 4.74 | Grafik Hubungan V-D Segmen 4a Periode Siang | 114 |
| Gambar 4.75 | Grafik Hubungan V-D Segmen 4a Periode Sore | 114 |
| Gambar 4.76 | Grafik Hubungan V-D Segmen 4b Periode Pagi | 115 |
| Gambar 4.77 | Grafik Hubungan V-D Segmen 4b Periode Siang | 115 |
| Gambar 4.78 | Grafik Hubungan V-D Segmen 4b Periode Sore | 116 |
| Gambar 4.79 | Grafik Hubungan V-D Segmen 5a Periode Pagi | 117 |
| Gambar 4.80 | Grafik Hubungan V-D Segmen 5a Periode Siang | 118 |
| Gambar 4.81 | Grafik Hubungan V-D Segmen 5a Periode Sore | 118 |
| Gambar 4.82 | Grafik Hubungan V-D Segmen 5b Periode Pagi | 119 |
| Gambar 4.83 | Grafik Hubungan V-D Segmen 5b Periode Siang | 119 |
| Gambar 4.84 | Grafik Hubungan V-D Segmen 5b Periode Sore | 120 |
| Gambar 4.85 | Grafik Hubungan V-D Segmen 6a Periode Pagi | 121 |
| Gambar 4.86 | Grafik Hubungan V-D Segmen 6a Periode Siang | 122 |
| Gambar 4.87 | Grafik Hubungan V-D Segmen 6a Periode Sore | 122 |
| Gambar 4.88 | Grafik Hubungan V-D Segmen 6b Periode Pagi | 123 |
| Gambar 4.89 | Grafik Hubungan V-D Segmen 6b Periode Siang | 123 |
| Gambar 4.90 | Grafik Hubungan V-D Segmen 6b Periode Sore | 124 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4.91 Grafik Hubungan S-V Segmen 1a Periode Pagi | 125 |
| Gambar 4.92 Grafik Hubungan S-V Segmen 1a Periode Siang | 126 |
| Gambar 4.93 Grafik Hubungan S-V Segmen 1a Periode Sore | 126 |
| Gambar 4.94 Grafik Hubungan S-V Segmen 1b Periode Pagi | 127 |
| Gambar 4.95 Grafik Hubungan S-V Segmen 1b Periode Siang | 127 |
| Gambar 4.96 Grafik Hubungan S-V Segmen 1b Periode Sore | 128 |
| Gambar 4.97 Grafik Hubungan V-S Segmen 2a Periode Pagi | 129 |
| Gambar 4.98 Grafik Hubungan V-S Segmen 2a Periode Siang | 130 |
| Gambar 4.99 Grafik Hubungan V-S Segmen 2a Periode Sore | 130 |
| Gambar 4.100 Grafik Hubungan V-S Segmen 2b Periode Pagi | 131 |
| Gambar 4.101 Grafik Hubungan V-S Segmen 2b Periode Siang | 131 |
| Gambar 4.102 Grafik Hubungan V-S Segmen 2b Periode Sore | 132 |
| Gambar 4.103 Grafik Hubungan S-V Segmen 3a Periode Pagi | 133 |
| Gambar 4.104 Grafik Hubungan S-V Segmen 3a Periode Siang | 134 |
| Gambar 4.105 Grafik Hubungan S-V Segmen 3a Periode Sore | 134 |
| Gambar 4.106 Grafik Hubungan S-V Segmen 3b Periode Pagi | 135 |
| Gambar 4.107 Grafik Hubungan S-V Segmen 3b Periode Siang | 135 |
| Gambar 4.108 Grafik Hubungan S-V Segmen 3b Periode Sore | 136 |
| Gambar 4.109 Grafik Hubungan V-S Segmen 4a Periode Pagi | 137 |
| Gambar 4.110 Grafik Hubungan V-S Segmen 4a Periode Siang | 138 |
| Gambar 4.111 Grafik Hubungan V-S Segmen 4a Periode Sore | 138 |
| Gambar 4.112 Grafik Hubungan V-S Segmen 4b Periode Pagi | 139 |
| Gambar 4.113 Grafik Hubungan V-S Segmen 4b Periode Siang | 139 |
| Gambar 4.114 Grafik Hubungan V-S Segmen 4b Periode Sore | 140 |
| Gambar 4.115 Grafik Hubungan V-S Segmen 5a Periode Pagi | 141 |
| Gambar 4.116 Grafik Hubungan V-S Segmen 5a Periode Siang | 141 |
| Gambar 4.117 Grafik Hubungan V-S Segmen 5a Periode Sore | 142 |
| Gambar 4.118 Grafik Hubungan V-S Segmen 5b Periode Pagi | 142 |
| Gambar 4.119 Grafik Hubungan V-S Segmen 5b Periode Siang | 143 |
| Gambar 4.120 Grafik Hubungan V-S Segmen 5b Periode Sore | 143 |
| Gambar 4.121 Grafik Hubungan V-S Segmen 6a Periode Pagi | 145 |
| Gambar 4.122 Grafik Hubungan V-S Segmen 6a Periode Siang | 145 |
| Gambar 4.123 Grafik Hubungan V-S Segmen 6a Periode Sore | 146 |
| Gambar 4.124 Grafik Hubungan V-S Segmen 6b Periode Pagi | 146 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4.125 Grafik Hubungan V-S Segmen 6b Periode Siang | 147 |
| Gambar 4.126 Grafik Hubungan V-S Segmen 6b Periode Sore | 147 |
| Gambar 4.127 Gelombang Kejut Segmen 1..... | 155 |
| Gambar 4.128 Gelombang Kejut Segmen 2..... | 156 |
| Gambar 4.129 Gelombang Kejut Segmen 3..... | 156 |
| Gambar 4.130 Gelombang Kejut Segmen 4..... | 157 |
| Gambar 4.131 Gelombang Kejut Segmen 5..... | 157 |
| Gambar 4.132 Gelombang Kejut Segmen 6..... | 158 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|-----|
| Tabel 2.1 Emp untuk jalan perkotaan | 11 |
| Tabel 2.2 Jenis aktivitas samping jalan..... | 28 |
| Tabel 2.3 kelas hambatan samping..... | 28 |
| Tabel 2.4 Faktor Penyesuaian Kapasitas Untuk Pengaruh Hambatan Samping dan lebar bahu (FCcf) pada jalan perkotaan dengan Kerb. | 28 |
| Tabel 3.1 Alat Survei dan Fungsinya | 54 |
| Tabel 3.2 Lokasi Survei Penelitian | 57 |
| Tabel 3.3 Lokasi Survei Penelitian | 57 |
| Tabel 4.1 Model Hubungan S-D Segmen 1a & 1b..... | 78 |
| Tabel 4.2 Model Hubungan S-D Segmen 2a & 2b..... | 82 |
| Tabel 4.3 Model Hubungan S-D Segmen 3a & 3b..... | 86 |
| Tabel 4.4 Model Hubungan S-D Segmen 4a & 4b..... | 89 |
| Tabel 4.5 Model Hubungan S-D Segmen 5a & 5b..... | 93 |
| Tabel 4.6 Model Hubungan S-D Jl. Segmen 6a & 6b | 97 |
| Tabel 4.7 Model Hubungan V-D Segmen 1a & 1b..... | 101 |
| Tabel 4.8 Model Hubungan V-D Segmen 2a & 2b..... | 104 |
| Tabel 4.9 Model Hubungan V-D Segmen 3a & 3b..... | 108 |
| Tabel 4.10 Model Hubungan V-D Segmen 4a & 4b..... | 112 |
| Tabel 4.11 Model Hubungan V-D Segmen 5a & 5b..... | 116 |
| Tabel 4.12 Model Hubungan V-D Segmen 6a & 6b..... | 120 |
| Tabel 4.13 Model Hubungan V-S Segmen 1a & 1b | 125 |
| Tabel 4.14 Model Hubungan V-S Segmen 2a & 2b | 128 |
| Tabel 4.15 Model Hubungan V-S Segmen 3a & 3b | 132 |
| Tabel 4.16 Model Hubungan V-S Segmen 4a & 4b | 136 |
| Tabel 4.17 Model Hubungan V-D Segmen 5a & 5b..... | 140 |
| Tabel 4.18 Model Hubungan V-S Segmen 6a & 6b | 144 |
| Tabel 4.19 Rekap Nilai R Model Greenshield, Greenberg, dan Underwood | 148 |
| Tabel 4.20 Rekapitulasi Nilai R^2 , F Hitung dan F Tabel | 149 |
| Tabel 4.21 Nilai Arus Maksimum Ruas Segmen 1a & 1b..... | 150 |
| Tabel 4.22 Nilai Arus Maksimum Ruas Segmen 2a & 2b..... | 151 |
| Tabel 4.23 Nilai Arus Maksimum Ruas Segmen 3a & 3b..... | 151 |
| Tabel 4.24 Nilai Arus Maksimum Ruas Segmen 4a & 4b..... | 152 |

| | |
|---|-----|
| Tabel 4.25 Nilai Arus Maksimum Ruas Segmen 5a & 5b..... | 152 |
| Tabel 4.26 Nilai Arus Maksimum Ruas Segmen 6a & 6b..... | 153 |
| Tabel 4.27 Rekap Nilai Arus Maksimum Metode Underwood | 153 |
| Tabel 4.28 Nilai Gelombang Kejut dan Panjang Antrian dan Jenis Gelombang Kejut | 154 |
| Tabel 4.29 Nilai Panjang Antrian | 154 |

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Permasalahan transportasi merupakan masalah yang selalu dihadapi oleh negara-negara yang telah maju dan juga negara yang berkembang Seperti Indonesia. Baik dibidang transportasi perkotaan (*Urban transportation*) maupun transportasi antar kota (*Rural transportation*). Sedangkan salah satu ciri kota modern ialah tersedianya sarana transportasi yang memadai bagi warga kota (*Abu Bakar dkk, 1995*).

Permasalahan ini tidak hanya terbatas pada jalan raya saja. Pertumbuhan ekonomi menyebabkan mobilitas seseorang meningkat sehingga kebutuhan pergerakannya pun meningkat melebihi kapasitas sistem prasarana transportasi yang ada (*Tamin et al, 1997*). Pada umumnya permasalahan transportasi terletak pada ketidakseimbangan antara kebutuhan sarana, prasarana, dan fasilitas transportasi, serta pertumbuhan penduduk dan juga perkembangan ekonomi suatu daerah atau wilayah.

Menurut *Indrajaya, Jupiter (2003)* Salah satu permasalahan yang turut memperburuk kondisi lalu lintas adalah masalah penyempitan jalan (*Bottleneck*) pada ruas jalan yang padat arus lalu lintasnya. Penyempitan ruas jalan adalah suatu segmen sebagai bagian dari ruas jalan yang ditutup pada sebagian lebar jalannya. Penyempitan ruas jalan dapat disebabkan oleh beberapa aktivitas yang terjadi di jalan, misalnya adanya

pekerjaan di jalan, di jembatan, terjadinya kecelakaan dan insiden. Penyempitan ruas jalan akan menimbulkan hambatan dalam lalu lintas, yaitu terjadinya penurunan kecepatan dan timbulnya antrian kendaraan (*Endang Widjajanti, 2009*)

Pengaruh penyempitan jalan ini tidak berpengaruh sama sekali apabila arus lalu lintas (Demand) lebih kecil daripada daya tampung atau kapasitas jalan (Supply) pada daerah penyempitan sehingga arus lalu lintas dapat terlewatkan dengan mudah tanpa ada hambatan. Dari kejadian tersebut perilaku kendaraan seolah-olah terjadinya suatu gelombang yang disebut gelombang kejut .

Arus lalu lintas yang melalui suatu ruas jalan dapat dianggap merupakan arus menerus. Gelombang kejut (shock wave) didefinisikan sebagai arus pergerakan yang timbul disebabkan karena adanya perbedaan kepadatan dan kecepatan lalu lintas pada suatu ruas jalan oleh suatu hambatan, maka akan terjadi pengurangan arus yang melewati lokasi hambatan tersebut (Tamin, 2003). Sedangkan *Lighthill dan Whitham* seperti dikutip dari *Wohl dan Martin (1967)* menjelaskan bahwa gelombang kejut terbentuk ketika pada sebuah ruas jalan terdapat arus dengan kepadatan rendah yang diikuti oleh arus dengan kepadatan tinggi, dimana kondisi ini mungkin diakibatkan oleh kecelakaan, pengurangan jumlah lajur, atau jalur masuk ramp. Titik pada saat kendaraan harus mengurangi kecepatannya ditandai dengan adanya nyala lampu rem, dan titik tersebut akan bergerak ke arah datangnya lalu lintas. Gerakan lampu

rem tersebut menyala relatif terhadap jalan, sebenarnya merupakan gerakan gelombang kejut. Sebagai contoh adalah perilaku lalu lintas pada suatu jalur lalu lintas yang menyempit misalnya perilaku lalu lintas sepanjang jalan pada saat jam sibuk dimana kapasitas jalur yang menyempit konstan sepanjang waktu. Selama jam sibuk, arus lalu lintas meningkat menyebabkan arus yang lewat akan melebihi kapasitas jalan sehingga terjadi antrian, antrian ini akan berangsur angsur normal kembali setelah jam sibuk.

Suatu peningkatan dalam volume lalu lintas akan menyebabkan berubahnya perilaku lalu lintas. Menurut *C. Jotin Khisty dan B. Kent Lall (2005)* dalam Novrizal Harahap terdapat tiga variabel utama digunakan untuk menjelaskan arus lalu lintas dan karakteristik lalu lintas yaitu adalah kecepatan, volume, dan kepadatan.

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 terjadi kemacetan pada jalur jalan tersebut.

Banyaknya aktifitas samping jalan sering menimbulkan berbagai konflik yang sangat besar pengaruhnya terhadap kelancaran lalu lintas yaitu parkir pada badan jalan (hambatan samping) (*Bina Marga 1997*). Meningkatnya jumlah kendaraan bukanlah satu-satunya faktor yang

menjadi penyebab terjadinya kemacetan. Hambatan samping digambarkan sebagai adanya pengaruh dari aktivitas samping jalan seperti pejalan kaki yang berjalan di sepanjang jalan, angkutan kota pemberhentian bus untuk naik dan turun penumpang, kendaraan yang masuk dan keluar dari sisi jalan kendaraan lambat (becak, gerobak, dll) dan ruang parkir dibadan jalan (*Agus, 2016*).

Antrian kendaraan seringkali dijumpai pada suatu persimpangan jalan saat kondisi tertentu, misalnya pada jam-jam sibuk, hari libur atau hari raya, pada akhir pekan dan kondisi khusus lainnya (*Salter, 1980*). Antrian bisa berupa antrian yang bergerak (*moving queue*) atau antrian yang berhenti (*stopped queue*). Pada dasarnya kelebihan kendaraan disimpan pada daerah *upstream* dari *bottleneck* atau daerah pelayanan, dan kedatangannya ditunda selama periode waktu berikutnya (*Rahim Yasir, 2017*)

Panjang antrian ("*queue length*") merupakan jumlah kendaraan yang antri pada suatu pendekatan. Panjang antrian dapat dinyatakan dalam dua satuan yaitu dalam satuan meter (m) dan satuan mobil penumpang (smp) (*MKJI, 1997*). Panjang antrian kendaraan ini dapat berdampak hingga ke ruas jalan yang lain. Untuk itu, adanya perilaku yang tidak disiplin dari pengguna jalan dalam kota merupakan masalah yang harusnya mendapat perhatian serius.

Kota Makassar sebagai gerbang Kawasan Indonesia Timur (KTI) merupakan ibukota Provinsi Sulawesi Selatan dengan jumlah penduduk

1.526.677 jiwa (*Kota Makassar Dalam Angka, 2020*). Dari besarnya perbedaan kepadatan 3 penduduk yang tinggi tersebut dapat dilihat bahwa persebaran penduduk di Kota Makassar tidak merata, sehingga membawa implikasi terkumpulnya pusat-pusat aktivitas warga di daerah-daerah tertentu. Secara tidak langsung diikuti oleh kebutuhan Masyarakat akan transportasi juga meningkat.

Beberapa ruas jalan nasional di Kota Makassar memiliki volume lalu lintas yang cukup tinggi seperti pada ruas Jalan Urip Sumoharjo. Jumlah volume kendaraan di Kota Makassar telah mencapai 2,1 juta unit kendaraan, dengan pertumbuhan kendaraan roda dua meningkat sebesar 14% per tahun dan roda empat meningkat sebesar 10% per tahun, sementara pertumbuhan jalan hanya 0,001 persen per tahun (*Fachrizal, Meiske 2021*). Kemacetan yang selalu terjadi di Makassar, khususnya pada pagi dan sore hari disebabkan volume kendaraan yang tinggi, semakin banyak mobil murah dan terlalu gampangya pembelian sepeda motor dan pemerintah tidak bisa membatasi pertumbuhan kendaraan (*Kurniawan, 2017*). Oleh karena itu ruas jalan harus mampu beroperasi secara maksimal. Jalan Urip Sumoharjo dengan kondisi lingkungan *mixed landuse* dimana terdapat pusat perkantoran, sekolah, niaga, permukiman, dan fasilitas umum/social lainnya mengakibatkan meningkatnya konflik yang timbul sehingga menyebabkan menurunnya kecepatan arus lalu lintas dan menurunnya kapasitas arus lalu lintas yang dilewatkan oleh jalan tersebut

Berdasarkan uraian diatas, penulis mencoba mengkaji lebih lanjut permasalahan yang ada pada karakteristik lalu lintas ruas jalan urip sumoharjo. Maka penulis mencoba mengangkat sebuah tugas akhir dengan Judul **“ANALISIS PANJANG ANTRIAN AKIBAT HAMBATAN SAMPING DENGAN METODE GELOMBANG KEJUT”**

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan sebelumnya, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana hubungan arus (flow), kecepatan (speed), dan kerapatan (density) lalu lintas Jalan Urip Sumoharjo?
2. Berapa nilai arus maksimum pada ruas Jalan Urip Sumoharjo?
3. Berapa nilai panjang antrian akibat hambatan samping berdasarkan gelombang kejut pada ruas Jalan Urip Sumoharjo?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dilakukannya penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis hubungan arus (flow), kecepatan (speed), dan kerapatan (density) lalu lintas Jalan Urip Sumoharjo
2. Untuk menganalisis nilai arus maksimum pada ruas Jalan Urip Sumoharjo
3. Untuk menganalisis panjang antrian akibat hambatan samping berdasarkan gelombang kejut pada ruas Jalan Urip Sumoharjo

D. Batasan Masalah

Mengingat kompleksnya permasalahan yang akan timbul pada penulisan ini, maka dalam penulisan tugas akhir ini hanya membahas pada masalah-masalah sebagai berikut:

1. Pembatasan studi ini hanya pada lokasi ruas Jl. Urip Sumoharjo.
2. Data yang digunakan berupa data Primer yang diperoleh dari hasil survei lapangan.
3. Analisa dilakukan terhadap aspek supply dan demand pada lokasi tersebut
4. Pengambilan data Primer dilakukan selama dua hari yaitu dua hari kerja pada jam sibuk (Pukul 07.00 – 09.00 WITA, pukul 12.00 – 14.00 WITA, dan pukul 16.00 – 18.00 WITA.)
5. Dalam Menganalisis model hubungan karakteristik lalu lintas digunakan perangkat lunak *Microsoft Excell*.

Pendekatan model-model alternatif yang digunakan dalam analisis model hubungan karakteristik arus lalu lintas adalah model *Greenshield*, model *Greenberg* dan model *Underwood*.

E. Manfaat Penelitian

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diharapkan manfaat yang akan diperoleh sebagai berikut:

1. Memberikan informasi bagi para penelitian di bidang rekayasa transportasi khususnya rekayasa lalu lintas mengenai model

hubungan karakteristik lalu lintas pada ruas jalan Urip Sumoharjo di Kota Makassar.

2. Dapat dijadikan data dasar mengenai karakteristik arus lalu lintas dalam melakukan tindakan pengelolaan/penanggulangan permasalahan lalu lintas di Kota Makassar.

F. Sistematika Penulisan

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis mencoba mengikuti aturan penulisan karya ilmiah yang benar, dan mencoba membagi isi dari tugas akhir ini dalam bentuk bab-bab yang merupakan pokok-pokok uraian masalah penelitian yang disusun secara sistematis. Isi per-bab secara garis besar sebagai berikut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori yang berasal dari buku-buku maupun dari tulisan-tulisan lain yang mendukung pencapaian tujuan penelitian dan teori yang mendukung penemuan jawaban dari rumusan masalah.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan secara rinci tentang metode, bahan penelitian, peralatan penelitian, dan cara pengujian yang dilakukan.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan hasil penelitian dan pengolahan data serta pembahasannya.

BAB 5. PENUTUP

Bab ini memberikan kesimpulan dari hasil penelitian secara singkat dan jelas sebagai jawaban dari masalah yang diangkat dalam penelitian serta memberikan saran-saran sehubungan dengan analisis yang telah dilakukan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Karakteristik Lalu Lintas

Arus lalu lintas terbentuk dari pergerakan individu pengendara yang melakukan interaksi antara yang satu dengan yang lainnya pada suatu ruas jalan dan lingkungannya. Karena persepsi dan kemampuan individu pengemudi mempunyai sifat yang berbeda maka perilaku kendaraan arus lalu lintas tidak dapat diseragamkan lebih lanjut, arus lalu lintas akan mengalami perbedaan karakteristik akibat dari perilaku pengemudi yang berbeda dikarenakan oleh karakteristik local dan kebiasaan pengemudi. Arus lalu lintas pada suatu ruas jalan karakteristiknya local dan kebiasaan pengemudi. Arus lalu lintas pada suatu ruas jalan karakteristiknya akan bervariasi baik berdasar waktunya. Oleh karena itu perilaku pengemudi akan berpengaruh terhadap perilaku arus lalu lintas. Dalam menggambarkan arus lalu lintas secara kuantitatif dalam rangka untuk mengerti tentang keragaman karakteristiknya dan rentang kondisi perilakunya, maka perlu suatu parameter. Parameter tersebut harus dapat didefinisikan dan diukur oleh insinyur lalu lintas dalam menganalisis, mengevaluasi, dan melakukan perbaikan fasilitas lalu lintas berdasarkan parameter dan pengetahuan pelakunya.

Karakteristik arus lalulintas suatu daerah tergantung dari beberapa faktor yang berhubungan dengan daerah tersebut. Besaran ini bervariasi pada tiap jam dalam sehari, tiap hari dalam sepekan dan tiap tahun dalam setahun. Dalam penentuan karakteristik arus lalulintas perkotaan,

beberapa jenis kendaraan yang berbeda akan disamakan satuannya dengan melihat faktor ekivalensi mobil penumpang (emp) dari kendaraan tersebut. Ekivalensi mobil penumpang (emp) untuk beberapa kondisi ruas jalan perkotaan disajikan secara visual dalam table dibawah ini:

Tabel 2.1 Emp untuk jalan perkotaan

| Tipe Jalan: Jalan Satu Arah dan Jalan Terbagi | Arus Lalu-lintas per Lajur (Kend/Jam) | Emp | |
|--|---|------------|--------------|
| | | HV | MC |
| Dua-lajur satu-arah (2/1) dan Empat-lajur terbagi (4/2D) | 0 ≥ 1050 | 1,3 1,2 | 0,40 0,25 |
| Tiga-lajur satu-arah (3/1) dan Enam-lajur terbagi (6/2D) | 0 ≥ 1100 | 1,3 1,2 | 0,40 0,25 |

(Sumber: MKJI 1997)

A.1. Karakteristik Makro Lalu Lintas

Lalu lintas secara makro mempelajari operasional dari keseluruhan sistem yang ada pada lalu lintas yang mempengaruhi arus kendaraan, kecepatan, serta kepadatan yang mempengaruhi kapasitas prasarana lalu lintas secara umum. Untuk mendefinisikan makro lalu lintas secara lengkap perlu diketahui beberapa parameter yang terkait secara langsung dengan sistem lalu lintas.

a. Volume lalu lintas

Volume Kendaraan merupakan banyaknya kendaraan yang melintas pada suatu titik tertentu yang dengan kuantitas arus lalu lintas yang selalu berubah – berubah pada tiap – tiap periode tertentu dan dinyatakan dalam satuan kendaraan/jam atau smp/jam. Arus lalu lintas

terbentuk dari pergerakan individu pengendara dan kendaraan yang melakukan interaksi antara yang satu dengan yang lainnya pada ruas jalan dan lingkungannya.

Pergerakan kendaraan yang terjadi terdiri dari berbagai jenis dan berdasarkan faktor koreksi kendaraan PCU (Passenger Car Unit) atau SMP (satuan mobil penumpang), maka dilakukan pengelompokan jenis kendaraan, meliputi (MKJI, 1997):

- Kendaraan ringan (LV), yaitu kendaraan bermotor ber as dua dengan 4 roda da jarak as 2-3 meter (meliputi :mobil penumpang, oplet, minibus, pick-up dan truk kecil sesuai klasifikasi Bina Marga)
- Kendaraan Berat (HV), yaitu kendaraan bermotor dengan 4 atau lebih roda (meliputi : bis, truk 2 as, truk 3 as,dan truk kombinasi sesuai klasifikasi Bina Marga)
- Sepeda motor (MC), yaitu kendaraan bermotor dengan 2 atau 3 roda (meliputi: sepeda motor dengan kendaraan roda 3 sesuai klasifikasi Bina Marga)
- Kendaraan tak bermotor (UM), yaitu : kendaraan dengan roda yang digerakkan oleh orang atau hewan (meliputi : sepeda, becak, kereta kuda dan kereta sesuai klasifikasi Bina Marga).

Volume (arus) lalu lintas dinyatakan dengan notasi V adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu dalam suatu ruas jalan dalam satuan waktu tertentu. Berdasarkan penyusaian kendaraan

terhadap satuan mobil (SMP), volume lalu lintas dapat dihitung dengan rumus (E.K. Marlock, 1991):

$$q = \frac{n}{t} \quad (1)$$

Dimana:

q = Volume lalu lintas (SMP/Jam)

n = Jumlah kendaraan yang melewati titik dalam interval waktu

pengamatan

t = Interval waktu pengamatan

b. Kecepatan Lalu lintas

Kecepatan didefinisikan sebagai laju dari suatu pergerakan kendaraan dihitung dalam jarak per satuan waktu.

Dalam pergerakan arus lalu lintas, tiap kendaraan berjalan pada jalan 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.

MKJI 1997 menggunakan kecepatan tempuh sebagai ukuran utama kinerja segmen jalan, karena mudah dimengerti dan diukur dan merupakan masukan yang penting untuk biaya pemakai jalan dalam analisa ekonomi. Kecepatan tempuh didefinisikan dalam MKJI 1997 sebagai kecepatan rata – rata ruang dari kendaraan ringan

(LV) sepanjang segmen jalan. Persamaan untuk menentukan kecepatan (MKJI, 1997):

$$V = \frac{L}{TT} \quad (2)$$

Dimana:

V = Kecepatan tempuh yaitu kecepatan rata – rata (km/jam) arus lalu lintas dihitung dari panjang jalan dibagi waktu tempuh rata -rata kendaraan yang melalui segmen jalan

L = Panjang jalan yang diamati,

TT = Waktu tempuh yaitu waktu rata – rata yang digunakan kendaraan menempuh segmen jalan dengan panjang tertentu (detik).

c. Kepadatan Lalu lintas

Kepadatan lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang lewat pada suatu bagian tertentu dari sebuah jalur jalan dalam satu atau dua arah selama jangka waktu tertentu, keadaan jalan serta lalu lintas tertentu pula.

Untuk menghitung kepadatan lalu lintas digunakan persamaan (E.K. Marlock, 1991):

$$k = \frac{q}{u} \quad \dots(3)$$

Dimana:

K = kepadatan lalu lintas (SMP/Km)

q = volume lalu lintas (SMP/Jam)

u = kecepatan rata-rata lalu lintas (Km/Jam)

B. Metode Survei Lalu Lintas

Teknik lalu lintas telah berkembang sesuai dengan kemajuan teknologi, demikian pula halnya dengan pengumpulan data-data lalu lintas. Data mengenai lalu lintas diperlukan untuk berbagai kebutuhan perencanaan transportasi. Untuk dapat melakukan survei secara efisien maka maksud dan tujuan survei haruslah jelas dan biasanya metode survei ditetapkan sesuai dengan tujuan, waktu, dana dan peralatan yang tersedia.

Survei lalu lintas dilakukan dengan cara menghitung jumlah lalu lintas kendaraan yang lewat di depan suatu pos survei pada ruas jalan yang ditetapkan. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara manual (mencatat dengan tangan) dan dapat juga menggunakan berbagai peralatan otomatis seperti alat penghitung lalu lintas (traffic counting), detektor, atau peralatan listrik lain yang kesemuanya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Objek yang disurvei dalam perhitungan lalu lintas meliputi :

- a. Jumlah kendaraan yang lewat (volume) dalam satuan waktu (menit, jam, hari dan seterusnya)
- b. Kecepatan kendaraan baik kecepatan sesaat (spot speed) atau kecepatan perjalanan, kecepatan gerak atau kecepatan rata-rata.
- c. Kepadatan arus lalu lintas (traffic density)
- d. Waktu antara (headway), waktu ruang dan waktu rata-rata.

Pengambilan data lapangan dalam analisis penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan data jumlah/volume dan waktu tempuh kendaraan. Pengambilan data jumlah volume dilakukan pada jam sibuk (peak hour) pada hari-hari yang mewakili volume lalu lintas dalam seminggu. Sedangkan untuk data waktu tempuh kendaraan di lapangan dilakukan dengan metode kecepatan setempat dengan mengukur waktu perjalanan bergerak. Metode kecepatan setempat dimaksudkan untuk pengukuran karakteristik kecepatan pada lokasi tertentu pada lalu lintas. Jenis kendaraan dilakukan sebanyak mungkin sehingga dapat menggambarkan keadaan sebenarnya di lapangan.

B.1 Metode Survei Jumlah Kendaraan

Survei jumlah kendaraan dilakukan dengan mencatat jumlah kendaraan yang melalui suatu titik tinjau dalam interval waktu tertentu di jalan untuk masing-masing jenis kendaraan. Metode survei kendaraan dapat dilakukan dengan metode :

1 Manual count

Manual count adalah pencatatan jumlah kendaraan yang paling sederhana dengan menggunakan tenaga manusia. Pencatatan dilakukan pada kertas formulir, tiap kali sebuah kendaraan lewat dicatat pada kertas formulir. Pencatatan juga dapat dilakukan dengan alat counter.

2 Detector

Detector adalah alat yang dapat mendeteksi adanya kendaraan yang lewat dan memberi isyarat dalam bentuk tertentu. Detector biasanya bekerja dengan sentuhan dari gilasan roda kendaraan, induksi pada gulungan kabel yang ditanam di jalan menyebabkan pemutusan sinar dalam waktu sesaat/sebentar. Keuntungan metode ini adalah setiap kali kendaraan yang melewati alat dapat dicatat.

3 *Automatic count*

Automatic count adalah peralatan perhitungan secara otomatis yang dapat dilakukan selama 12 atau 24 jam.

B.2 Metode Survei Waktu Tempuh Kendaraan

Dalam survei waktu tempuh kendaraan dikenal 3 (tiga) jenis kecepatan yaitu kecepatan seketika/sesaat (spot speed), kecepatan rata-rata kendaraan selama bergerak (running speed) dan kecepatan rata-rata kendaraan yang dihitung dari jarak tempuh dibagi dengan waktu tempuh (journey speed) jadi termasuk waktu kendaraan berhenti (misalnya berhenti pada lampu lalu lintas). Perhitungan kecepatan kendaraan dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain :

1. Manual count

Manual count merupakan pencatatan waktu tempuh kendaraan contoh yang melewati segmen/penggal jalan pengamatan. Pencatatan waktu tempuh ini dilakukan dengan menghidupkan stopwatch saat roda depan kendaraan contoh melewati garis injak

pertama, seterusnya mengikuti lajur kendaraan, dan stopwatch dimatikan tepat pada saat roda kendaraan tersebut melewati garis injak kedua.

2. Enescope

Enescope adalah kotak cermin yang berbentuk L yang diletakkan di pinggir jalan untuk membelokkan garis pandangan ke arah tegak lurus jalan. Dalam pengukuran waktu tempuh digunakan stopwatch yang dimulai pada saat kendaraan melewati pengamat dan dihentikan pada saat kendaraan melewati enescope.

3. Radar meter

Radar meter bekerja menurut prinsip efek Doppler, yang mana kecepatan pergerakan proporsional dengan perubahan frekuensi di antara dua radio transmisi target dan radio pemantul. Peralatan ini mengukur perbedaan dan mengubah pembacaan langsung menjadi mph.

4. Pemotretan

Dalam metode ini, kamera foto mengambil gambar pada interval waktu yang ditetapkan. Gambar-gambar yang diperoleh dari hasil survei diproyeksikan dengan menggunakan alat proyektor ke suatu layar yang sudah mempunyai pembagian skala, dengan demikian perpindahan kendaraan dapat dihitung.

C. 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 di depan jalannya mengalami penyempitan atau bahkan ditutup sama sekali.

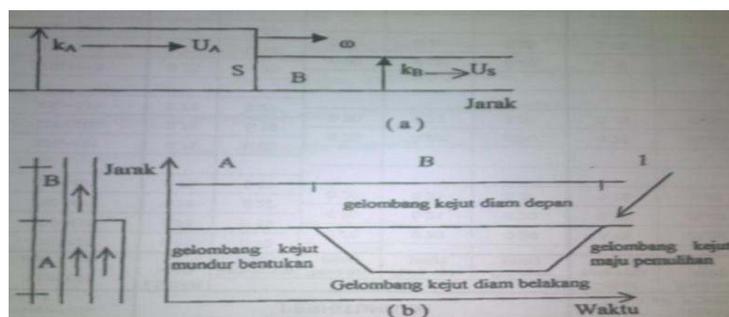
Gelombang kejut terjadi sebagai akibat terjadinya perubahan kerapatan lalu lintas sebagai akibat terjadinya halangan pada arus lalu lintas bebas. Kondisi ini bisa terjadi pada arus lalu lintas bebas. Kondisi ini bisa terjadi pada ruas jalan karena suatu halangan tertentu seperti misalnya terjadi suatu kecelakaan, perbaikan badan jalan dan lainnya yang bersifat insidental ataupun sebagai akibat terjadinya penyempitan lajur jalan yang bersifat permanen.

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.

C.1 Gelombang kejut akibat hambatan samping

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

Apabila titik pada saat kendaraan harus mengurangi kecepatannya ditandai dengan nyala lampu rem, relative terhadap jalan merupakan gerakan dari gelombang kejut.



Gambar 2.1 visualisasi gerakan gelombang kejut pada jalur menyempit

C.2 Klasifikasi Gelombang Kejut

Gelombang kejut dapat diklasifikasikan menjadi 6 kelas:

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

Gelombang kejut diam depan, dimana istilah depan mempunyai implikasi bahwa ini adalah bagian terdepan (pinggir kearah 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.

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

Apabila arus lalu lintas 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 denganm 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 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. Sedangkan istilah pemulihan berarti bahwa dengan bertambahnya waktu terjadi pemulihan kemacetan menuju arus bebas (*free flow*) hingga tercapainya titik yang menandakan akhir dari periode macet.

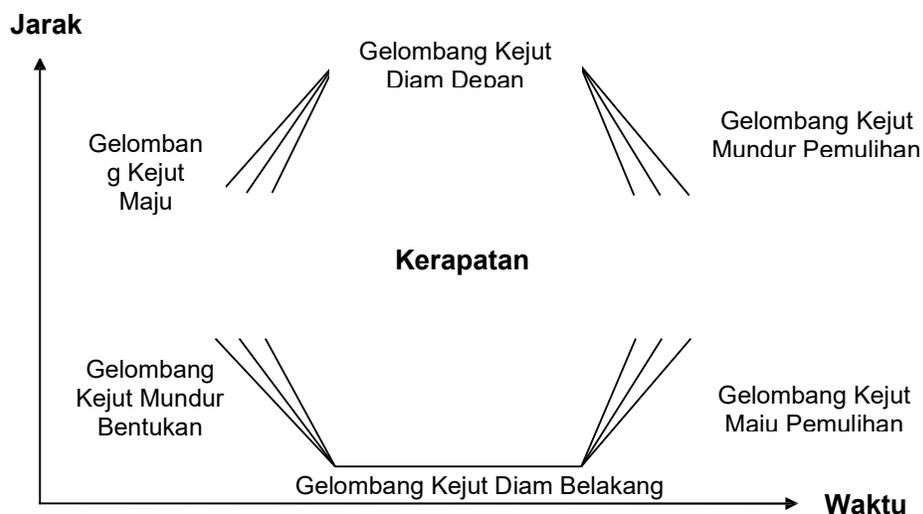
5. Gelombang kejut mundur pemulihan (*backward recovery shock wave*)

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



Gambar 2.2 Klasifikasi Gelombang Kejut

C.3 Nilai Gelombang Kejut

Nilai gelombang kejut merupakan perbandingan antara perubahan arus dengan perubahan kerapatan. Pembahasan didasarkan pada hubungan arus dengan kerapatan suatu jalan bebas hambatan (uninterrupted traffic). Pada gambar memperlihatkan hubungan tersebut. Untuk beberapa saat digambarkan terdapat suatu keadaan arus bebas yang tetap, misal arus dalam keadaan A. Arus, kecepatan, dan kerapatan di 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 di beri notasi : q_B , k_B , dan u_B . Pada keadaan B ini kecepatan kendaraan lebih tinggi dari keadaan A pada ruang waktu dan waktu yang berbeda.

Melukiskan keadaan arus diagram waktu-jarak. Skala jarak dan waktu

yang di pilih sedemikian sehingga arah grafik yang mewakili kecepatan dalam diagram jarak- waktu sejajar dengan grafik yang mewakili kecepatan pada grafik kerapatan- arus.

Teori 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 relative terhadap kecepatan gelombang kejut ($u_B - \omega_{AB}$). Sedang kecepatan kendaraan dalam arus kondisi A merupakan batas hilir dari gelombang kejut relative terhadap kecepatan gelombang kejut ($u_A - \omega_{AB}$).

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

$$N_B = q_B \cdot t = (u_B - \omega_{AB})k_B \cdot t \quad \dots\dots(2.3)$$

$$N_B = q_A \cdot t = (u_A - \omega_{AB})k_A \cdot t \quad \dots\dots(2.4)$$

Karena : $N_B = N_A$ maka :

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

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

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

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

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

sedangkan jumlah kendaraan dalam antrian di hitung dengan rumus:

$$N = (q_A - q_B) + (\omega \times k_1) \dots\dots\dots(2.5)$$

Sementara panjang antrian dapat dihitung dengan rumus:

$$L = \frac{N}{K_2} \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

ω = nilai gelombang kejut (km/jam)

q_A = arus dari bagian upstream (smp/jam)

q_B = arus maximum yang bisa terlewatkan pada penyempitan jalan (smp/jam)

N = jumlah kendaraan dalam antrian(smp)

L = panjang antrian (km)

Dengan kecepatan maka 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.

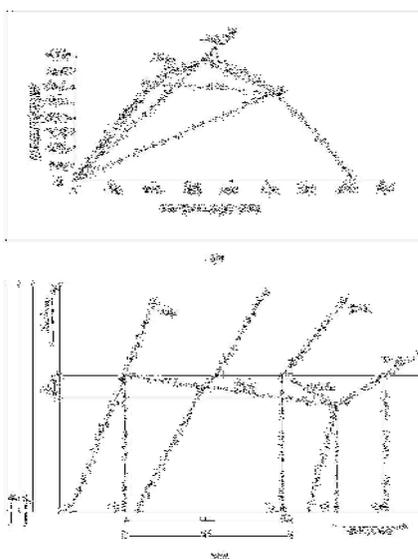
Gelombang kejut dapat digambarkan sebagai hubungan antara arus dan kerapatan seperti pada gambar a. dengan garis hubung antara titik A dan B melukiskan hubungan arus pada kondisi A dan B.

Apabila $q_A > q_B$ dan $k_A > k_B$ maka nilai gelombang kejut adalah positif.

Seperti diperlihatkan pada gambar 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*).

Keadaan arus lalu lintas pada kondisi A merupakan arus lalu lintas ketika akan memasuki kondisi B yang merupakan kondisi yang sedang mengalami hambatan (hanya 1 lajur yang terhambat). Kondisi C adalah arus lalu lintas maksimum yang melalui arus tinjauan, yang diperoleh sesuai dengan kurva arus-kepadatan. Gambar 2.3b merupakan diagram jarak-waktu dimana kemiringan garis mewakili kecepatan kendaraan yang sesuai dengan Gambar 2.3a.



Gambar 2.3 Kurva Gelombang Kejut

D. Hambatan samping (*side friction*)

Aktivitas hambatan 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 di bawah ini:

Tabel 2.2 Jenis aktivitas samping jalan

| Jenis Aktivitas samping jalan | Simbol | Faktor bobot |
|--------------------------------------|---------------|---------------------|
| Pejalan kaki | PED | 0.5 |
| Parker, kendaraan berhenti | PSV | 1.0 |
| Kendaraan masuk + keluar | EEV | 0.7 |
| Kendaraan lambat | SMV | 0.4 |

Sumber : MKJI 1997

Tabel 2.3 kelas hambatan samping

| Frekuensi berbobot kejadian | Kondisi khusus | Kelas Hambatan Samping | |
|------------------------------------|--|-------------------------------|----|
| <100 | Pedalaman, Pertanian atau tidak berkembang, tanpa kegiatan | Sangat rendah | VL |
| 100 - 229 | Pedalaman, beberapa bangunan dan kegiatan disamping jalan | Rendah | L |
| 300 - 449 | Desa, kegiatan dan angkutan local | Sedang | M |
| 500 - 889 | Desa, beberapa kegiatan pasar. | Tinggi | H |
| >900 | Hampir perkotaan, pasar/kegiatan perdagangan. | Sangat tinggi | VH |

Sumber : MKJI 199

Tabel 2.4 Faktor Penyesuaian Kapasitas Untuk Pengaruh Hambatan Samping dan lebar bahu (FCcf) 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 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 |
| | Rendah | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 1.00 |
| | Sedang | 0.93 | 0.95 | 0.97 | 0.99 |
| | Tinggi | 0.87 | 0.90 | 0.93 | 0.96 |
| | Sangat tinggi | 0.81 | 0.85 | 0.88 | 0.92 |
| Empat – lajur terbagi 4/2 UD | Sangat rendah | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 |
| | Rendah | 0.96 | 0.98 | 0.99 | 1.00 |
| | Sedang | 0.91 | 0.93 | 0.96 | 0.98 |
| | Tinggi | 0.84 | 0.87 | 0.90 | 0.94 |
| | Sangat tinggi | 0.77 | 0.81 | 0.85 | 0.90 |
| 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 | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 |
| | Rendah | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 1.00 |
| | Sedang | 0.93 | 0.95 | 0.97 | 0.99 |
| | Tinggi | 0.87 | 0.90 | 0.93 | 0.96 |
| | Sangat tinggi | 0.81 | 0.85 | 0.88 | 0.92 |
| Empat – lajur terbagi 4/2 UD | Sangat rendah | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.02 |
| | Rendah | 0.96 | 0.98 | 0.99 | 1.00 |
| | Sedang | 0.91 | 0.93 | 0.96 | 0.98 |

| | | | | | |
|--|---------------|------|------|------|------|
| | Tinggi | 0.84 | 0.87 | 0.90 | 0.94 |
| | Sangat tinggi | 0.77 | 0.81 | 0.85 | 0.90 |

Sumber : MKJI 1997

E. Penyempitan dalam Sistem Transportasi

Transportasi di suatu wilayah mempengaruhi efisiensi ekonomi dan sosial daerah tersebut, dan hampir setiap orang menggunakan transportasi. Oleh sebab itu, sistem transportasi merupakan salah satu topik utama di dalam perkembangan wilayah. Masalah dalam pergerakan lalu lintas, khususnya pada jam jam sibuk, yang mengakibatkan pengguna transportasi mengalami keterlambatan jutaan jam akibat terjadinya kemacetan. Kemacetan lalu lintas akan selalu mengakibatkan dampak negatif, baik terhadap pengemudinya sendiri maupun ditinjau dari segi ekonomi dan lingkungan. Bagi pengemudi kendaraan, kemacetan akan menimbulkan ketegangan (*stress*). Selain itu juga akan menimbulkan kerugian berupa kehilangan waktu karena waktu perjalanan yang lama serta bertambahnya biaya operasi kendaraan karena seringnya kendaraan berhenti. Selain itu timbul pula dampak negatif terhadap lingkungan berupa peningkatan polusi udara serta peningkatan gangguan suara kendaraan (kebisingan) (**Munawar, 2005**).

Kemacetan menjadi salah satu permasalahan yang rumit yang terjadi di jaringan lalu lintas. Secara teori, kemacetan disebabkan oleh tingkat kebutuhan perjalanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kapasitas yang

tersedia. Hal lain yang juga dapat menyebabkan kemacetan adalah masalah penyempitan jalan (*Bottleneck*) akibat hambatan samping. Kapasitas yang sebelumnya proporsional dengan jaringan jalan, akibat terjadinya penyempitan jalan maka jaringan tidak dapat lagi menampung jumlah kendaraan yang ada. Akibatnya terjadi kepadatan/penumpukan kendaraan yang berujung terhadap kemacetan lalu lintas.

Bottleneck merupakan suatu kondisi dimana jalan mengalami penyempitan sehingga kapasitas jalan menjadi lebih kecil dari bagian sebelum (*upstream*) dan sesudahnya (*downstream*) (**Budiarto, Jurnal**). Kondisi jalan yang mengalami penyempitan dapat terjadi misalnya, pada saat memasuki jembatan, terjadinya suatu kecelakaan yang menyebabkan sebagian jalan ditutup, pada saat terjadi perbaikan jalan, perubahan/peralihan struktur jalan dari dalam kota menuju luar kota dan kondisi lainnya. Kondisi tersebut akan menyebabkan perubahan perjalanan kendaraan dari arus bebas menjadi terganggu, 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 melewati dengan mudah tanpa ada hambatan.

Berdasarkan teori tersebut, maka solusi yang mungkin adalah mengurangi jumlah kendaraan yang lewat, atau meningkatkan kapasitas, baik kapasitas ruas/jaringan jalan maupun kapasitas persimpangan.

Permasalahannya kemudian, apabila secara teorinya begitu mudah, mengapa pelaksanaannya begitu sulit, mengapa sampai saat ini kemacetan lalu lintas tidak dapat diatasi. Persoalan- persoalan yang terkait ternyata sangat banyak, seperti disiplin lalu lintas, penegakan hukum, sosial ekonomi, tenaga kerja, dan lain sebagainya, sehingga persoalannya menjadi kompleks dan tidak ada satupun solusi tunggal yang dapat diterapkan untuk mengatasi persoalan kemacetan lalu lintas.

Contoh keterkaitan dengan aspek-aspek yang lain adalah pedagang kaki lima, keberadaan pedagang kaki lima otomatis mengurangi kebebasan samping dan bahkan kadang-kadang mengurangi lebar lajur lalu lintas, sehingga dapat mengurangi kapasitas jalan yang pada tingkat tertentu berdampak pada kemacetan lalu lintas. Namun demikian, kalau dilakukan penertiban terhadap pedagang kaki lima, yang terjadi tentu bukan persoalan lalu lintas, tetapi akan merembet ke persoalan sosial dan ekonomi.

Demikian pula dengan keberadaan angkot, mikrolet dan sejenisnya. Dari banyak teori yang ditelaah oleh penulis, ada begitu banyak solusi yang bisa ditawarkan untuk menyelesaikan masalah kemacetan di dalam perkotaan. Secara bertahap penanganan kemacetan lalu lintas dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Penataan struktur tata ruang untuk mengatur pola perjalanan penduduk.
2. Perbaikan manajemen lalu lintas untuk mengoptimalkan pelayanan jaringan jalan yang ada.

3. Pembangunan infrastruktur untuk meningkatkan ruang jalan dan sekaligus memperbaiki struktur jaringan jalan dan jaringan sistem transportasi.
4. Peningkatan kapasitas angkutan umum, termasuk penerapan moda angkutan umum massal.
5. Pemanfaatan alur rute terpendek untuk mencegah adanya penumpukan kendaraan pada satu ruas jalan saja, sehingga mencegah kemacetan (*Frazilla, 2002*)

F. HUBUNGAN ANTARA VOLUME, KECEPATAN DAN KERAPATAN

Volume, kecepatan dan kerapatan merupakan 3 (tiga) variabel/parameter utama (makroskopis) dalam aliran lalu lintas yang digunakan untuk mengetahui karakteristik arus lalu lintas.

1. Volume (*flow*), merupakan jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu pada suatu ruas jalan per satuan waktu tertentu yang dinyatakan dalam kendaraan/jam.
2. Kecepatan (*speed*), adalah tingkat gerakan di dalam suatu jarak tertentu dalam satu satuan waktu yang dinyatakan dengan kilometer/jam.
3. Kerapatan (*density*), merupakan jumlah kendaraan yang menempati suatu ruas/segmen jalan tertentu yang dinyatakan dalam kendaraan/kilometer.

Hubungan antara ketiga parameter di atas selanjutnya dapat

dinyatakan dalam hubungan matematis sebagai berikut:

$$q = k \cdot U_s \dots (2.7)$$

dimana : q = volume (kendaraan/jam)

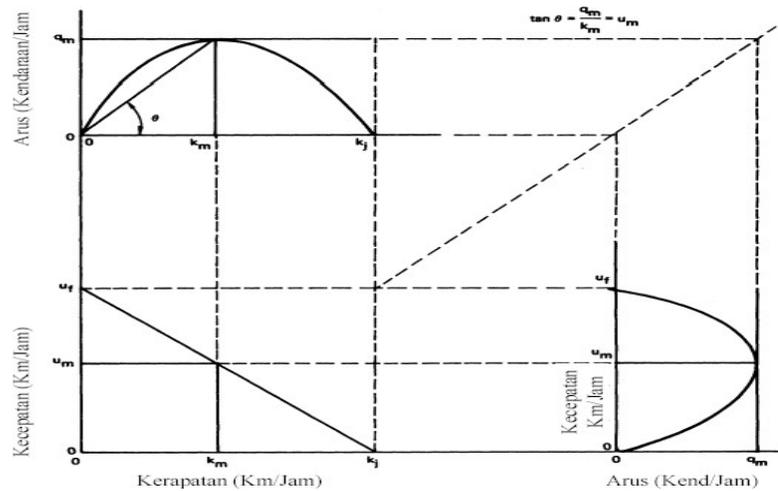
U_s = kecepatan (km/jam)

k = kerapatan (kendaraan/km)

Persamaan di atas hanya berlaku untuk arus lalu lintas tak terganggu, dimana setiap arus bergerak secara bebas tidak ada pengaruh dari luar. Contoh aliran ini dapat dilihat pada arus lalu lintas jalan utama dari jalan bebas hambatan.

Hubungan antara ketiga parameter tersebut menggambarkan tentang aliran lalu lintas tak terinterupsi (*uninterrupted traffic stream*) dimana volume merupakan hasil dari kecepatan dan kerapatan. Sementara itu hubungan tersebut untuk lalu lintas yang stabil, kombinasi variabel yang menghasilkan hubungan dua dimensi.

Gambar 2.4 di bawah mengilustrasikan tentang bentuk umum hubungan tersebut



Gambar 2.4 Hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan

Keterangan :

q_m = kapasitas, arus maksimum (kendaraan/jam)

u_m = kecepatan kritis, kecepatan pada saat mencapai kapasitas (km/jam)

k_m = kerapatan kritis, kerapatan pada saat mencapai kapasitas (kend/jam)

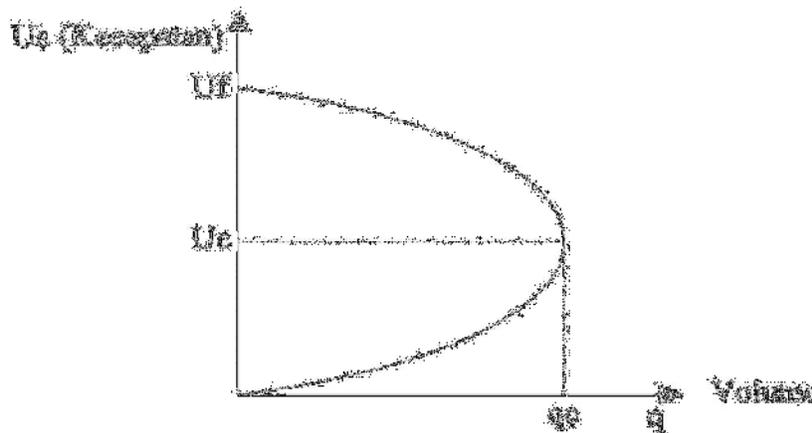
k_j = kerapatan macet, keadaan untuk semua kendaraan berhenti (kend/jam)

u_f = kecepatan teoritis untuk lalu lintas ketika kerapatannya nol (km/jam)

Perlu diketahui arus "nol" (tidak ada arus) terjadi dalam 2 (dua) kondisi. Ketika tidak ada kendaraan di jalan raya berarti kepadatannya nol, dimana kecepatan teoritis didasarkan pada "kecepatan arus bebas" (*free flow speed*) yang merupakan kecepatan tertinggi bagi kendaraan yang sendirian. Namun

demikian arus “ nol” juga terjadi ketika kepadatan begitu tinggi sehingga kendaraan yang akan bergerak harus berhenti sehingga terjadi kemacetan lalu lintas yang disebut dengan istilah *traffic jam*. Pada kondisi ini semua kendaraan berhenti sehingga tidak ada kendaraan yang lewat pada suatu ruas jalan tersebut.

F.1 Hubungan antara Volume (q) – Kecepatan(U)

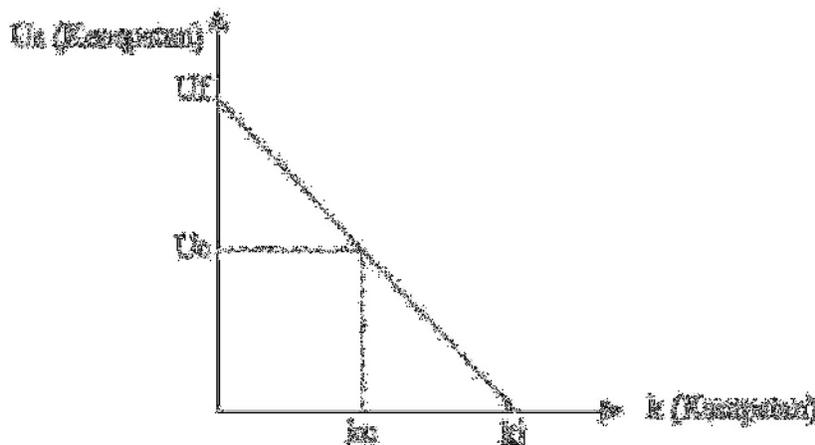


Gambar 2.5 Hubungan Kecepatan (U_s) – Volume (q)

Dari kurva terlihat bahwa hubungan mendasar antara volume dan kecepatan adalah dengan bertambahnya volume lalu lintas maka kecepatan rata-rata ruangnya akan berkurang sampai kepadatan kritis (volume maksimum) tercapai. Setelah kepadatan kritis tercapai maka kecepatan rata-rata ruang dan volume akan berkurang. Jadi kurva ini menggambarkan dua kondisi yang berbeda dimana lengan atas untuk stabil sedangkan lengan bawah menunjukkan kondisi lalu lintas yang padat.

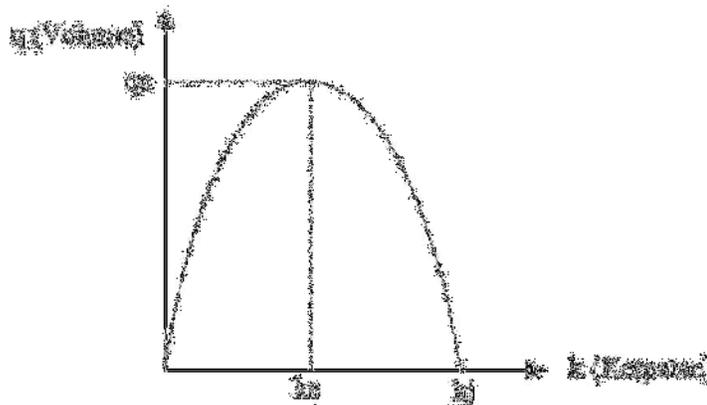
F.2 Hubungan antara Kecepatan (U) – Kerapatan (k)

Gambar 2.6 Hubungan Kecepatan (s) – Kerapatan (k)



Kurva ini merupakan diagram yang menjadi dasar penggambaran *performance* aliran lalu lintas, sebagaimana dinyatakan dalam persamaan (2.10). dari kurva terlihat bahwa kecepatan akan menurun apabila kerapatan bertambah. Kecepatan arus bebas (U_f) akan terjadi apabila kerapatan sama dengan nol sedangkan pada saat kecepatan sama dengan nol maka terjadi kemacetan (*jam density*).

F.3 Hubungan antara Volume (q) – Kerapatan (k)



Gambar 2.7 Hubungan Volume (q) – Kerapatan (k)

Dari kurva akan terlihat bahwa kerapatan akan bertambah apabila volumenya juga bertambah. Volume maksimum (q_c) terjadi pada saat kerapatan mencapai titik k_c

(kapasitas) jalur jalan sudah tercapai Setelah mencapai titik ini volume akan menurun walaupun kerapatan bertambah sampai terjadi kemacetan di titik k .

G. PERHITUNGAN VOLUME, KECEPATAN DAN KERAPATAN

1. Perhitungan Volume

Volume kendaraan adalah parameter yang menjelaskan keadaan arus lalu lintas di jalan. Kendaraan yang melewati suatu ruas jalan dijumlahkan dengan mengalikan faktor konversi kendaraan yang telah ditetapkan sehingga nantinya diperoleh jumlah kendaraan yang lewat pada ruas jalan tersebut. Nilai tersebut kemudian dikonversikan ke dalam smp/jam untuk mendapatkan nilai volume kendaraan yang lewat setiap jamnya.

2. Perhitungan Kecepatan

Kecepatan merupakan laju pergerakan yang ditandai dengan besaran yang menunjukkan jarak yang ditempuh kendaraan dibagi dengan waktu tempuh. Kecepatan dapat didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut ;

$$U = \frac{x}{t} \dots\dots(2.8)$$

Dimana :

U = kecepatan (km/jam)

x = jarak tempuh kendaraan (km)

t = waktu tempuh kendaraan (jam)

kecepatan kendaraan pada suatu bagian jalan, akan berubah-ubah menurut waktu dan besarnya lalu lintas. Ada 2 (dua) hal penting yang perlu diperhatikan dalam menilai hasil studi kecepatan yaitu :

Dalam perhitungan, 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.

$$\bar{U}_t = \frac{L}{n} \left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} + \frac{1}{t_3} \dots \dots \right) \quad \dots(2.9)$$

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

Keterangan :

L= panjang penggal jalan (m)

N= jumlah sampel kendaraan

ti= waktu tempuh kendaraan

Kedua jenis kecepatan di atas sangat berguna dalam studi mengenai hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan.

Penggunaan rumus di atas dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Disebabkan karena sampel data yang diambil adalah terbatas pada periode waktu tertentu pada suatu titik dan harus mengikutsertakan beberapa kendaraan yang berjalan cepat,), menyatakan kecepatan rata-rata kendaraan yang melewati suatu titik dalam interval waktu tertentu yang dinyatakan dalam km/jam.

Akan tetapi pada saat pengambilan data dilaksanakan kendaraan yang berjalan lambat juga harus diikutsertakan. Oleh karena itu, pendekatan antara kecepatan setempat dan dan kecepatan rata-rata ruang digunakan persamaan berikut :

$$\bar{u}_s = U_t - \sigma^2 / U_t \dots (2.10)$$

Dimana :

Σt = deviasi standar dari kecepatan setempat.

Kerapatan merupakan parameter yang menjelaskan keadaan lalu lintas dimana terdapat banyaknya jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang ruas tertentu.

Nilai kerapatan dapat dihitung jika nilai volume dan kecepatan kederaan telah diperoleh sebelumnya.

H. PEMODELAN HUBUNGAN ANTARA VOLUME, KECEPATAN DAN KERAPATAN

Analisis untuk suatu ruas jalan didasarkan pada hubungan antara ketiga variabel parameter di atas, yaitu volume, kecepatan dan kerapatan lalu lintas dalam keadaan jalan lalu lintas yang ideal. Hubungan tersebut mengikuti defenisi dari kriteria tingkat pelayanan didasarkan pada faktor penyesuaian untuk

kendaraan yang tidak sejenis. Terdapat 3 (tiga) pemodelan yang sering digunakan untuk menyatakan keterkaitan ketiga parameter tersebut yaitu model Greenshields, Greenberg dan Underwood. Greenberg dan Underwood.

H.1 Model Linier Greenshields

Pemodelan ini merupakan model paling awal yang tercatat dalam usaha mengamati perilaku lalu lintas. Greenshields mengadakan studi pada jalur jalan di kota Ohio, dimana kondisi lalu lintas memenuhi syarat karena tanpa gangguan dan bergerak secara bebas (steady state condition). Greenshields mendapat hasil bahwa hubungan antara kecepatan dan kerapatan bersifat linier. Berdasarkan penelitian-penelitian selanjutnya terdapat hubungan yang erat antara model linier dengan keadaan data di lapangan. Hubungan linier antara kecepatan dan kerapatan ini menjadi hubungan yang paling populer dalam tinjauan 3.

Pada perinsipnya, pemakaian model Greenshield ini memerlukan pengetahuan tentang parameter parameter kecepatan arus bebas (S_f) dan kerapatan macet (D_j) dalam menyelesaikan secara numeric hubungan kecepatan dan kerapatan. Kecepatan arus bebas relative mudah diestimasi dilapangan dan umumnya bernilai antara kecepatan. batas dengan kecepatan rencana.

Perhitungan Kerapatan pergerakan lalu lintas, mengingat fungsi hubungannya adalah yang paling sederhana sehingga mudah diterapkan. Adapaun persamaan umum hubungan antara kecepatan dan kerapatan dengan cara regresi linier adalah :

Dengan nilai:

$$Y = Ax + B \quad \dots (2.11)$$

$$A = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad \dots (2.12)$$

$$B = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum y^2}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad \dots (2.13)$$

Dengan diperolehnya persamaan $Y = Ax + B$ maka hubungan antara kecepatan dan kerapatan dapat dirumuskan. Garis hasil persamaan ini akan memotong skala kecepatan pada f dan memotong skala kerapatan pada k_j . Oleh karena itu, persamaan garis yang didapat tersebut adalah sebagai berikut:

$$U_s = U_f - \frac{U_f}{K_j} \cdot k \quad \dots(2.14)$$

$$U_s = B - A.k \quad (\text{Hubungan antaran kecepatan dan kerapatan})$$

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

$$U_s = U_f - \frac{U_f}{K_j} \cdot \frac{q}{U_s}$$

$$q \frac{U_f}{K_j U_s} = U_f - U_s$$

$$q = U_f - U_s \left(\frac{U_f}{K_j U_s} \right)$$

$$q = Kj \cdot U - U_s \frac{Kj}{Uf} U_s^2$$

$$q = A/B \cdot U_s - 1/A \cdot U_s^2$$

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

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

$$q = U_f \cdot k - \frac{U_f k^2}{Kj}$$

$$q - Rk - Ak^2 \quad (\text{Hubungan antara volume dan kerapatan}) \dots (2.16)$$

H.2 Model Logaritmik Greenberg

Hubungan ini dibuat dengan mengasumsikan bahwa arus lalu lintas mempunyai kesamaan dengan arus fluida. Pada tahun 1959 Greenberg menyelidiki aliran arus lalu lintas yang dilakukan pada bagian utara terowongan Lincoln di kota New York dan menganalisa hubungan antara kecepatan dan kerapatan dengan mempergunakan asumsi kontinuitas dari persamaan gerakan benda cair .

Pada prinsipnya, pemakaian model Greenberg ini memerlukan pengetahuan tentang parameter parameter kecepatan optimum dan kerapatan macet. Kerapatan macet sangat sulit diamati di lapangan dan estimasi terhadap kecepatan optimum lebih sulit diperkirakan dari pada kecepatan arus bebas.

Estimasi kasar untuk menentukan kecepatan optimum adalah kurang lebih setengah dari kecepatan rencana. Kelemahan dari model Greenberg ini adalah kecepatan arus bebas tidak terbatas. Greenberg merumuskan bahwa hubungan antara U_s dan k bukan merupakan hubungan linier, melainkan fungsi Logaritmik Dasar rumusan Greenberg adalah sebagai berikut :

$$k = c \cdot e^{b \cdot U_s}$$

c dan b merupakan nilai konstan.

Apabila kedua ruas nilai dinyatakan dalam bentuk logaritma naturalis, maka akan diperoleh :

$$\ln(k) = \ln(k = c \cdot e^{b \cdot U_s})$$

$$\ln(k) = \ln c + b \cdot U_s$$

$$\ln k - \ln c = b \cdot U_s$$

$$U_s = \frac{1}{b} \ln k - \frac{1}{b} \ln c \quad \dots (2.18)$$

Fungsi tersebut di atas analog dengan fungsi linier antara U_s dengan $\ln k$, sehingga apabila nilai $y = U_s$ dan $x = \ln k$ maka $Y = Ax + B$, dengan $A = \frac{1}{b}$ dan

$B = \frac{1}{b} \ln c$, maka $c = e^{\frac{-b}{a}}$ karena itu hubungan antara U_s dan k ialah:

$$U_s = \frac{1}{b} \ln K - \frac{1}{b} \ln c$$

$$U_s = A \ln k - B \quad (\text{Hubungan antara kecepatan dan kerapatan}) \dots (2.19)$$

Selanjutnya hubungan antara q dan U_s didapat dari persamaan dasar $k = c \cdot e^{b \cdot U_s}$ dengan mensubstitusikan nilai maka diperoleh persamaan: $k = q/U_s$

maka $c \cdot e^{b \cdot U_s}$ diperoleh persamaan:

$$c \cdot e^{b \cdot U_s}$$

$$q = U_s e^{-B/A} \cdot e^{U_s/A}$$

$$q = U_s e^{(U_s - B)/A} \text{ (Hubungan antara volume dan kecepatan)... (2.20)}$$

Persamaan selanjutnya adalah hubungan antara q dan k didapat dari persamaan dasar $k = c \cdot e^{b \cdot U_s}$ dengan substitusi $k = q/U_s$, didapat $k = q/U_s$. Selanjutnya apabila kedua ruas dinyatakan dalam fungsi logaritma naturalis, maka diperoleh persamaan :

$$\ln k = b(q/k) + \ln c$$

$$\frac{b \cdot q}{k} = \ln k - \ln c$$

$$q = \frac{k}{b} (\ln k - \ln c)$$

$$q = A \cdot k (\ln k - \ln e^{-B/A})$$

$$q = A \cdot k \cdot \ln k - B \cdot k \text{ (Hubungan antara volume dan kerapatan) ... (2.21)}$$

H.3 Model Eksponensial Underwood

Underwood mengemukakan suatu hipotesa bahwa hubungan antara kecepatan dan kerapatan adalah merupakan hubungan eksponensial. Dimana model ini memerlukan pengetahuan tentang kecepatan arus bebas, yang mana agak mudah diamati dan bervariasi tergantung pada lingkungan jalan. Kekurangan lain dari model ini adalah kecepatan yang tidak pernah mencapai nol dan kerapatan macet (jam density) yang tidak terbatas.

Persamaan dasar yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$U_s = U_f \cdot e^{-k/kc} \text{ (Hubungan antara kecepatan dan kerapatan) } \dots(2.22)$$

Apabila kedua ruas dinyatakan dalam fungsi logaritma naturalis, maka diperoleh persamaan :

$$\ln(U_s) = \ln(U_f \cdot e^{-k/kc})$$

$$\ln(U_s) = \frac{1}{kc} K + \ln(U_f)$$

$$\ln(U_s) = A \cdot K + B \quad \dots(2.23)$$

Persamaan ini analog dengan persamaan linier $y = Ax + B$ dengan $y = \ln(U_s)$ dan $x = k$, maka $A = -1/kc$ atau $kc = -1/A$ dan $B = \ln(U_f)$ atau $U_f = e^B$ hubungan antara q dan k didapat dari persamaan dasar $U_s = U_f \cdot e^{-k/kc}$ dengan substitusi sehingga diperoleh :

$U_s = q/k$ sehingga diperoleh:

Selanjutnya dengan substitusi $U_f = e^B$ dan $kc = -1/A$ diperoleh :

$$q = k \cdot e^{B+Ak} \text{ (Hubungan antara volume dan kerapatan) } \dots(2.24)$$

Hubungan antara q dan U_s didapat dari persamaan dasar $U_s = U_f \cdot e^{-k/kc}$ dengan substitusi $k = q/U_s$

$$U_s = U_f \cdot e^{-q/U_skc} \quad \dots(2.25)$$

Apabila kedua ruas dinyatakan dalam fungsi logaritma naturalis, maka diperoleh persamaan:

$$\ln U_s = \ln(U_f \cdot e^{-q/U_skc})$$

$$\ln(U_s) = \frac{q}{U_s \cdot kc} + \ln U_f$$

$$q = -(U_s)kc \cdot \ln(U_s) + U_s kc \cdot \ln(U_f)$$

Dengan substitusi $kc = -1/A$ dan $\ln(U_f) = B$ didapat persamaan :

$$q = U_s/A \ln U_s - B/A (U_s) \text{ (Hubungan antara volume dan kecepatan) } \dots(2.26)$$

I. ANALISIS REGRESI LINIER

Pemodelan volume lalu lintas yang umum digunakan untuk menentukan karakteristik kecepatan dan kerapatan adalah regresi linier. Analisa ini dilakukan dengan meminimalkan total nilai perbedaan kuadratis antara observasi dan nilai perkiraan dari variabel yang tidak bebas (dependent). Bila variabel tidak bebas linier terhadap variabel bebas, maka hubungan dari kedua variabel itu dikenal dengan analisa regresi linier.

Bila variabel tidak bebas y dan variabel bebas x mempunyai hubungan linier, maka fungsi regresinya :

$$Y = Ax + B \quad \dots(2.27)$$

Besarnya konstanta A dan B dapat dicari dengan persamaan-persamaan di bawah ini :

$$B = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad \dots(2.28)$$

$$A = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad \dots(2.28)$$

Dimana :

A = konstanta regresi

B = konstanta regresi

x = variabel bebas

y = variabel tidak bebas

n = jumlah sampel

J. ANALISIS KORELASI

Analisis korelasi digunakan untuk menentukan kuatnya hubungan antara peubah bebas dan tidak bebas yang dinyatakan dengan nilai koefisien korelasi r . Nilai koefisien korelasi bervariasi antara -1 sampai $+1$ ($-1 < r < +1$). Apabila nilai koefisien sama dengan 0 (nol), maka dikatakan tidak terdapat korelasi antara peubah bebas dan peubah tidak bebas, sedangkan apabila nilai koefisien korelasi sama dengan 1 (satu) dikatakan mempunyai hubungan yang sempurna, nilai koefisien korelasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2] [n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad \dots(2.30)$$

Sebagai koefisien penentu digunakan koefisien determinasi (r^2) yang dihitung dengan mengkuadratkan nilai koefisien korelasi. Koefisien korelasi r ini perlu memenuhi syarat-syarat :

- a. Koefisien korelasi harus besar apabila kadar hubungan tinggi atau kuat dan harus kecil apabila kadar hubungan itu kecil atau lemah.
- b. Koefisien korelasi harus bebas dari satuan yang digunakan untuk mengukur variable-variabel, baik prediktor maupun respon.

K. PENGUJIAN SIGNIFIKASI

Pengujian ini digunakan untuk menentukan linier tidaknya hubungan antara peubah bebas dan peubah tidak bebas. Yang biasa digunakan istilah uji F (variance ratio/the F test).

Pengujian nilai F adalah untuk memilih model yang paling baik diantara model yang didapat dan menentukan apakah suatu model layak

digunakan, dimana varians itu sendiri merupakan kuadrat dari simpangan baku dari data-data yang ada dalam variable. Nilai F dikatakan memenuhi syarat apabila nilai dari hasil perhitungan lebih besar dari nilai F tabel untuk taraf signifikansi yang dipilih. Nilai F diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$F = \frac{\frac{r^2}{i}}{\frac{(1-r^2)}{(n-i-1)}} \quad \dots(2.32)$$

Dimana :

F = test F

n = jumlah pengamatan

i = jumlah variabel

r^2 = koefisien determinasi

Hasil uji signifikansi selanjutnya dibandingkan dengan nilai yang terdapat di dalam tabel, yaitu dengan menetapkan taraf signifikasinya.