

# ANALISA GELOMBANG KEJUT DAN PENGARUHNYA TERHADAP ARUS LALU LINTAS DI JALAN SARAPUNG MANADO

**Natalia Diane Kasenda**

Alumni Pascasarjana S2 Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi

**James A. Timboeleng, Freddy Jansen**

Dosen Pascasarjana Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi

## ABSTRAK

*Hubungan antara volume, kepadatan dan kecepatan merupakan elemen yang paling penting dalam teori arus lalu lintas. Ada banyak model yang menyatakan hubungan antara ketiga elemen sebagai unsur-unsur utama lalu lintas. Tiga model yang paling umum digunakan dalam praktek rekayasa lalu lintas adalah Greenshields, Greenberg dan Underwood. Karakteristik arus lalu lintas akan diperoleh berdasarkan model yang dipilih untuk mewakili data lapangan, kemudian menggunakan informasi tersebut untuk membuat analisa skenario insiden gelombang kejut.*

*Penentuan model terpilih untuk perhitungan gelombang kejut didasarkan pada kriteria nilai uji  $R^2$  yang paling besar atau  $R^2 > 0,5$ . Hasil analisa regresi diperoleh menggunakan bantuan software SPSS maupun dihitung dengan cara manual. Hasil yang diperoleh yaitu model Grenshield = 0,899, model Greenberg = 0,871, dan model Underwood = 0,928. Namun, disamping  $R^2$  perlu juga melihat karakteristik yang ditawarkan berdasarkan pada kenyataan di lapangan. Hasil model harus benar secara logika dan statistik. Model Underwood tidak akan bekerja secara akurat ketika kondisi lalu lintas mengalami kemacetan. Oleh karena itu dipilih model Greenshields.*

*Dari analisa yang dilakukan diperoleh hasil nilai  $\Delta_{t3-t2}$ ,  $Q_M$  dan  $\Delta_{t4-t}$  yang dihitung tiap penambahan 5 menit (5, 10, 15, ..., 60 menit.). Panjang antrian yang dapat terjadi selama durasi 5 menit adalah 980 meter (0,98 km). Waktu yang diperlukan kendaraan ketika memasuki kondisi macet dari kondisi normal adalah 5,64 menit, sedangkan waktu yang diperlukan untuk kembali ke keadaan normal dari kondisi macet adalah 5.839 menit.*

*Kata Kunci :karakteristik lalu lintas, skenario insiden, gelombang kejut*

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Indonesia sebagai negara berkembang tidak terlepas dari permasalahan transportasi. Salah satu permasalahan transportasi yang sangat mengganggu adalah kemacetan lalu lintas, yang dapat menurunkan volume dan kecepatan kendaraan yang melalui suatu ruas jalan. Penyebab kemacetan dapat berupa aktivitas/hambatan samping seperti: pejalan kaki, angkutan umum dan kendaraan pribadi yang berhenti, kendaraan bermotor dan kendaraan tak bermotor yang masuk-keluar dari daerah parkir di samping jalan, kecelakaan, perbaikan jalan, maupun adanya lampu lalu lintas.

## LANDASAN TEORI

### Karakteristik Arus Lalu Lintas

Terdapat tiga variabel utama yang diperlukan dalam menganalisis karakteristik lalu lintas yaitu volume, kecepatan dan kepadatan.

Volume adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu segmen jalan selama selang waktu tertentu yang dapat diekspresikan dalam tahunan, harian, atau jam-an.

Kecepatan adalah jarak yang dapat ditempuh suatu kendaraan pada suatu ruas jalan per satuan waktu.

Kepadatan lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang jalan atau lajur.

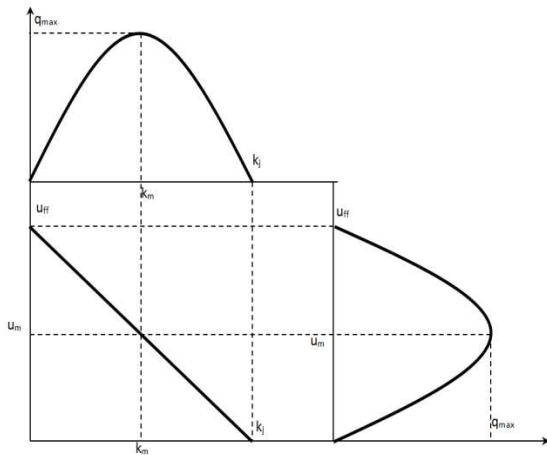
**Hubungan Kecepatan, Volume dan Kepadatan**

Hubungan antara kecepatan, volume dan kepadatan dapat direpresentasikan sebagai berikut:

$$q = u \cdot k \tag{1}$$

dimana :  $q$  = Volume (kend/jam)  
 $u$  = Kecepatan (km/jam)  
 $k$  = Kepadatan (kend/km)

Hubungan ini dapat juga digambarkan dengan Gambar 1. yang menunjukkan hubungan umum antara kecepatan-kepadatan ( $u$ - $k$ ), volume-kepadatan ( $q$ - $k$ ) dan volume-kecepatan ( $q$ - $u$ ).



Gambar 1. Diagram Fundamental  
 Sumber : Tamin (2003)

Data volume dan kecepatan yang diperoleh diamati dari lapangan, dengan melakukan survey lalu lintas. Dalam penelitian ini ada 3 jenis model arus lalu lintas yang digunakan untuk mewakili hubungan matematis antara kecepatan, volume, dan kepadatan yaitu *Greenshields*, *Greenberg* dan *Underwood*.

**Greenshield, Greenberg, dan Underwood**

Greenshield merumuskan bahwa hubungan matematis antara kecepatan dan kepadatan diasumsikan sebagai fungsi linear, seperti yang ditunjukkan dalam Pers. (2) :

$$u = u_{ff} - \frac{u_{ff}}{k_j} k \tag{2}$$

Greenberg mengasumsikan bahwa hubungan matematis antara kecepatan dan

kepadatan sebagai fungsi eksponensial (bukan fungsi linear). Persamaan model *Greenberg* dinyatakan melalui Pers. (3).

$$u = c \ln \left( \frac{k_j}{k} \right) \tag{3}$$

Underwood mengasumsikan bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan sebagai fungsi eksponensial. Rumus dasar untuk model Underwood dapat dinyatakan oleh Pers. (4):

$$u = u_{ff} \cdot e^{-\frac{k}{k_m}} \tag{4}$$

**Penentuan Model Terpilih**

Penentuan model terpilih untuk mendapatkan hubungan matematis antara arus-kepadatan-kecepatan diperlukan beberapa tahapan yang dianggap mewakili kondisi di lapangan. Kriteria tersebut berupa uji statistik berdasarkan nilai  $R^2$  tertinggi maupun hasil model harus benar secara logika dan statistik.

Selain pertimbangan tersebut perlu pula dikaji beberapa kondisi khusus yang dimiliki masing-masing model, yaitu :

1. Nilai kecepatan arus bebas, hanya dapat dihitung melalui metode Greenshield dan Underwood, sedangkan Greenberg tidak memberikan nilai yang jelas karena grafik memotong sumbu kecepatan pada nilai tak terhingga ( $\infty$ ).
2. Nilai kepadatan pada kondisi macet total hanya dapat dicari dengan menggunakan metode Greenshield dan Greenberg, sedangkan metode Underwood akan memberikan nilai kepadatan tak terhingga.

**Gelombang Kejut**

Gambar 2. memperlihatkan diagram gelombang kejut akibat penutupan jalan. Keadaan arus lalu lintas pada kondisi A merupakan arus lalu lintas ketika akan memasuki kondisi B yang merupakan kondisi arus lalu lintas yang sedang mengalami hambatan (hanya 1 lajur yang terhambat). Kondisi C adalah arus lalu lintas maksimum yang melalui ruas tinjauan, yang

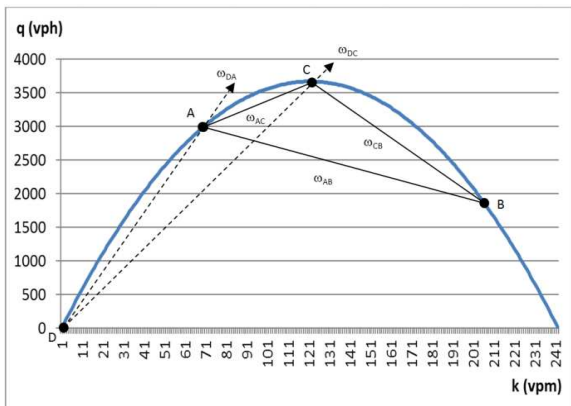
diperoleh sesuai dengan grafik volume-kepadatan.

Ada 3 gelombang kejut yang bisa terjadi dalam kasus diatas (Gambar 2), sehingga dapat dihitung sebagai berikut:

$$\omega_{AB} = \frac{q_B - q_A}{k_B - k_A} \quad (5)$$

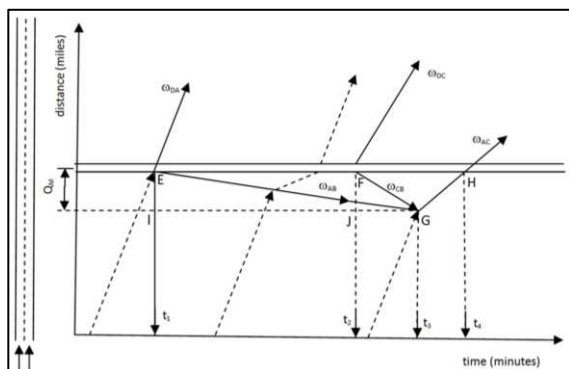
$$\omega_{CB} = \frac{q_B - q_C}{k_B - k_C} \quad (6)$$

$$\omega_{AC} = \frac{q_C - q_A}{k_C - k_A} \quad (7)$$



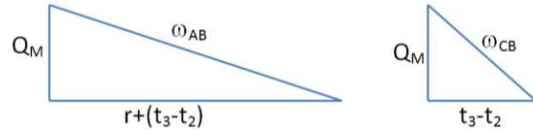
Gambar 2. Gelombang Kejut Saat Penutupan 1 Lajur  
Sumber : Traffic Flow Model, 2011

Dengan diagram gelombang kejut, hubungan antara waktu-jarak yang terjadi dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 3.  $t_2-t_1$  menunjukkan durasi kejadian,  $t_3-t_2$  dikaitkan dengan total waktu dari jalur pembukaan kondisi normal ke waktu kendaraan terakhir yang masuk ke kondisi macet,  $t_4-t_2$  adalah waktu total dari jalur pembukaan macet ke kondisi normal.  $Q_M$  adalah panjang antrian.



Gambar 3. Diagram Waktu dan Jarak Akibat Gelombang Kejut  
Sumber: Tamin (2003)

Total waktu diperoleh dari pembukaan lajur ke waktu kendaraan terakhir masuk antrian. Jika  $r$  = durasi efektif jalur penutupan ( $t_2-t_1$ ), ( $t_3-t_2$ ) dapat dihitung sebagai berikut (lihat  $\Delta EGI$  dan  $\Delta FGJ$ ),



$$\omega_{CB} = \frac{Q_M}{t_3 - t_2} ; \omega_{AB} = \frac{Q_M}{r + (t_3 - t_2)}$$

$$Q_M = \omega_{CB}(t_3 - t_2) ; Q_M = \omega_{AB}(r + (t_3 - t_2))$$

$$Q_M = Q_M \quad (8)$$

$$\omega_{CB}(t_3 - t_2) = \omega_{AB}(r + (t_3 - t_2)) \quad (9)$$

$$\omega_{CB}(t_3 - t_2) = \omega_{AB} \cdot r + \omega_{AB}(t_3 - t_2) \quad (10)$$

$$\omega_{CB} = \frac{\omega_{AB}(r)}{(t_3 - t_2)} + \omega_{AB} \quad (11)$$

$$\omega_{CB} - \omega_{AB} = \frac{\omega_{AB} \cdot r}{t_3 - t_2} \quad (12)$$

$$t_3 - t_2 = \frac{\omega_{AB} \cdot r}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \quad (13)$$

$$t_3 - t_2 = \frac{r}{60} \frac{|\omega_{AB}|}{|\omega_{CB}| - |\omega_{AB}|} * 60 \quad (14)$$

## METODOLOGI PENELITIAN

### Lokasi Studi

Lokasi Studi adalah ruas jalan Sarapung sepanjang 200 meter. Lokasi ini dipilih dengan pertimbangan pada lokasi tersebut sering terjadi kemacetan.



Gambar 4. Foto Lokasi Penelitian  
Sumber: Google Maps (2013)

**Pengumpulan Data**

Data yang dikumpulkan dalam proses survei terdiri atas volume arus lalu lintas dan waktu tempuh. Data waktu tempuh dipakai untuk mengestimasi kecepatan kendaraan yang melewati segmen jalan pengamatan. Volume lalu lintas yang lewat dicatat oleh pengamat dengan membagi tipe kendaraan berupa kendaraan berat, kendaraan ringan, dan sepeda motor.

Pada pengambilan data kecepatan kendaraan dilakukan di dua tempat terpisah dengan cara *Spotspeed*. Pengamat dilengkapi dengan formulir isian dan alat pencatat waktu berupa *stopwatch*.

Dua pengamat ditempatkan terpisah pada jarak 200 m mengapit simetris titik pengamatan. Pengamat pertama memberi tanda kepada pengamat kedua untuk mengaktifkan *stopwatch* saat kendaraan melewati pengamat pertama. Pengamat kedua mematikan *stopwatch* saat kendaraan melewati pengamat kedua. Kecepatan dihitung dengan membagi jarak (200 m) dibagi waktu tempuh antara posisi pengamat pertama dan kedua dianggap sebagai kecepatan sesaat dan mencatat hasilnya ke dalam formulir yang telah disediakan. Pengamatan ini dilakukan sebanyak 10 kendaraan/15 menit .

Waktu pengamatan dilakukan mulai dari pukul 06.00-18.00 wita selama 7 hari (Senin, 18 Maret 2013 – Minggu, 24 Maret 2013).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan**

*Contoh Perhitungan:*

Perhitungan pada hari Rabu, 20 Maret 2013 pada pukul 06.00 – 06.15 WITA.

Diketahui : Data Volume (q) = 597 smp/jam

Data Kecepatan (u) = 40 km/jam

Dihitung : Nilai Kepadatan (k)

Untuk mencari nilai kepadatan digunakan

Persamaan (1):  $q = u \cdot k$

Kepadatan,  $k = \frac{q}{u}$

$$= \frac{597}{40} = 15,086 \text{ smp/km}$$

**Analisa Regresi**

Model yang dipilih diputuskan dengan melihat koefisien determinasi ( $R^2$ ) dari masing-masing model.

Seperti terlihat pada Tabel 2. nilai  $R^2$  tertinggi adalah model Underwood. Namun, disamping  $R^2$  perlu juga melihat karakteristik yang ditawarkan didasarkan pada kenyataan di lapangan. Model ini tidak akan bekerja secara akurat ketika ada kondisi kemacetan lalu lintas, karena kurva u-k pernah bersinggungan dengan sumbu x yang adalah densitas, sehingga kepadatan saat macet total (k) tidak akan pernah diidentifikasi. Oleh karena itu, dengan pertimbangan ini model yang dipilih dalam hal ini adalah model Greenshields.

Tabel.2 Hasil Analisa Regresi berdasarkan SPSS

	$R^2$	A	B
Linear	0.899	41.788	-0.275
Logarithmic	0.871	83.964	-14.525
Exponential	0.928	3.908	-0.012

Sumber: Hasil Kajian

Tabel. 3 Hasil Analisa Regresi

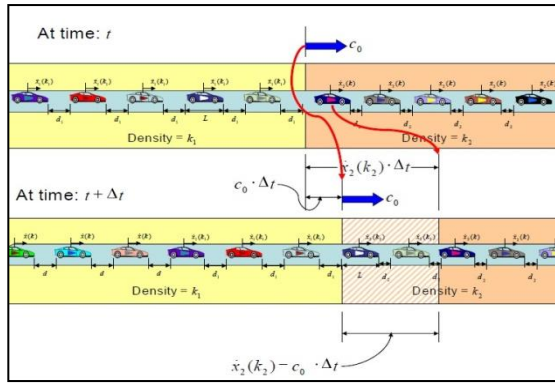
	Greenshields	Greenberg	Underwood
Kecepatan-Kepadatan	$u=41.788-0.275k$	$u=83.964-14.525k$	$u=3.908-0.012k$
Volume-Kepadatan	$q=41.788k-0.275k^2$	$q=83.964k-14.525k^2$	$q=3.908 * e^{-(0.012k)}$
Volume-Kecepatan	$q=152.091u-3.640u^2$	$q=323.971u * e^{-(0.069u)}$	$q=83.333u-3.908ulnu$
Kapasitas (kend/jam)	1588	1732	119.8061

Sumber: Hasil Kajian

**Skenario Insiden**

Gelombang kejut dalam penelitian ini dianalisis dengan menggunakan skenario sebagai berikut, diperkirakan insiden terjadi pada saat kapasitas/arus 1500 kend/jam. Lajur yang ditutup pada saat insiden adalah 1, 2 dan 3 lajur (dari 4). Variasi durasi insiden yang dilihat yaitu 10 menit, 15, menit, ..., 60 menit.

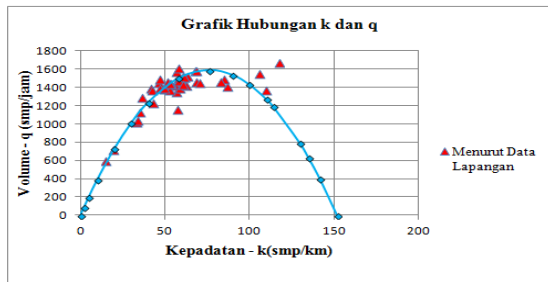
Kapasitas maksimum yang didapat berdasarkan analisa Greenshield adalah 1588 kend/jam dan diperkirakan jika 1 lajur ditutup maka kapasitas yang tersisa adalah 1190 kend/jam, 2 lajur = 794 kend/jam, dan 3 lajur = 397 kend/jam.



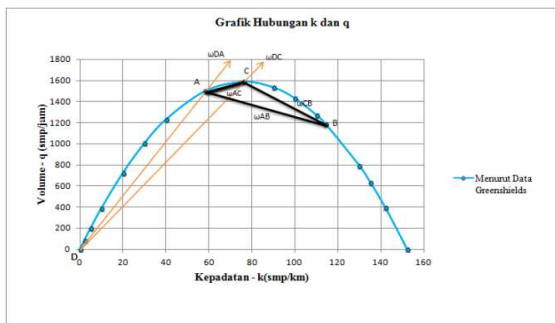
Gambar 5. Perubahan kecepatan, volume dan kepadatan lalu lintas  
Sumber: Pline (2001)

**Analisa Gelombang Kejut**

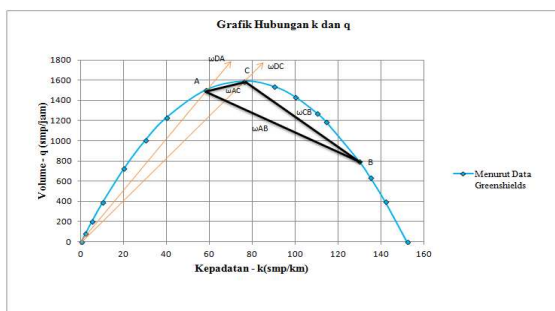
Gambar 6, 7, dan 8, menunjukkan diagram gelombang kejut sebagai akibat dari penutupan lajur.



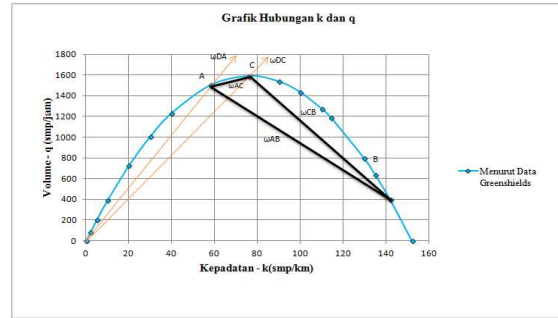
Gambar 5. Hubungan k-q menurut data lapangan  
Sumber: Hasil Kajian



Gambar 6. Hubungan k-q ketika 1 lajur ditutup  
Sumber: Hasil Kajian



Gambar 7. Hubungan k-q ketika 2 lajur ditutup  
Sumber: Hasil Kajian



Gambar 8. Hubungan k-q ketika 3 lajur ditutup  
Sumber : Hasil Kajian

Titik A menunjukkan volume dan kepadatan pada saat peristiwa itu terjadi, karena insiden penurunan volume ke salah satu kapasitas lajur (titik B). Titik C menunjukkan aliran dan kepadatan pada kapasitas maksimum (1588 kend/jam).

**Hasil Analisa Gelombang Kejut**

Dari hasil analisa yang dilakukan dapat dilihat bahwa  $\Delta_{t3-t2}$  (waktu yang dibutuhkan kendaraan dari kondisi normal memasuki keadaan macet.),  $Q_M$  (panjang antrian.) dan  $\Delta_{t4-t2}$  (waktu yang dibutuhkan kendaraan dari keadaan macet ke kondisi normal), akan meningkat setiap penambahan 5 menit dari durasi insiden.

Tabel 4. Hasil Analisa Gelombang Kejut

Jumlah lajur yang ditutup	t3 - t2 menit	$Q_M$ km	t4 - t2 menit
1	5.64	0.98	5.839
2	10.026	2.47	10.528
3	13.402	4.04	14.223

**KESIMPULAN**

Analisa gelombang kejut dilakukan dengan menggunakan hasil kalibrasi yang diperoleh dari model Greenshield karena memiliki nilai  $r^2 > 0,5$  yaitu,  $r^2 = 0,899$  dan dapat mewakili data lapangan seperti situasi kemacetan lalu lintas. Analisis yang dilakukan ini menunjukkan bahwa panjang antrian dan waktu yang dibutuhkan kendaraan dari kondisi normal memasuki keadaan antrian maupun waktu yang dibutuhkan kendaraan dari keadaan macet ke kondisi normal meningkat secara linear dengan peningkatan durasi insiden.

### DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum dan PT Bina Karya, 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*, Jakarta.
- Hobbs, F. D., 1995. *Perencanaan dan Teknik Lalu Lintas*, Edisi kedua, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Pline, James L., 2001. *Traffic Engineering Handbook*, Fourth Edition, Institute of Transportation Engineering, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Tamin, Ofyar Z., 1991. *Hubungan Volume, Kecepatan dan Kepadatan Lalulintas*, Jurnal Teknik Sipil, Penerbit ITB, Bandung.
- Tamin, Ofyar Z., 2003. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, Penerbit ITB, Bandung.