

EVALUASI KINERJA JALAN TOL AKIBAT HAMBATAN DENGAN METODE SCHOCK WAVE (STUDI KASUS JALAN TOL SURABAYA – GRESIK)

Andi Syaiful Amal*

ABSTRAK

Jalan tol adalah jalan berkapasitas tinggi yang menghubungkan kota-kota yang mempunyai intensitas pergerakan tinggi sehingga harus dapat dijamin pergerakan lalu lintasnya selancar mungkin. Akan tetapi tidak dapat dihindari adanya hambatan yang dapat terjadi di jalan tol, misalnya kecelakaan yang mengharuskan ditutupnya sebagian atau seluruh lajur jalan. Gelombang kejut (*shock wave*) didefinisikan sebagai arus pergerakan yang timbul disebabkan adanya perbedaan kerapatan dan kecepatan lalu lintas di ruas jalan. Perbedaan kerapatan dan kecepatan tersebut disebabkan adanya penyempitan. Analisis gelombang kejut dapat dihitung dengan berapa panjang *antrian* yang terjadi dan berapa lama waktu yang dibutuhkan agar keadaan menjadi normal setelah hambatan ditiadakan, dengan mengumpulkan data di lapangan yaitu data arus lalu lintas, kecepatan sesaat kendaraan serta simulasi kecelakaan atau penutupan lajur. Kemudian dianalisis dengan menggunakan persamaan untuk kinerja lajur dan secara statistik hubungan antara panjang *antrian* dengan lama penutupan dan lama penutupan dengan gelombang kejut. Hasil analisis dari kinerja lajur, yaitu model *Greenshield* untuk volume-kecepatan, model *Greenberg* untuk kecepatan-kepadatan dan model *Underwood* untuk kepadatan-volume. Sedangkan untuk hasil dari persamaan hubungan panjang *antrian*-lama penutupan diperoleh persamaan regresi linier, yaitu $Y = 2.1534 X - 189.93$, dengan $R^2 = 0.982$ untuk penutupan 3.75 meter.

Kata kunci : gelombang kejut, panjang *antrian*

1. PENDAHULUAN

Jalan tol adalah jalan berkapasitas tinggi yang menghubungkan kota-kota yang mempunyai intensitas pergerakan tinggi, sehingga harus dapat dijamin pergerakan arus lalu lintasnya selancar mungkin. Akan tetapi tidak dapat dihindari adanya beberapa hambatan yang dapat terjadi di jalan tol, misalnya adanya kecelakaan yang mengharuskan ditutupnya sebagian atau seluruhnya lajur jalan. Keadaan semacam ini apabila terjadi pada jalan bebas hambatan akan menyebabkan permasalahan yang sangat serius. Selain itu, apabila hambatan ditiadakan dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk mencapai keadaan kembali normal. Arus lalu lintas yang melalui suatu ruas jalan dapat dianggap merupakan arus menerus. Gelombang kejut (*shock wave*) adalah arus pergerakan yang timbul karena adanya perbedaan kerapatan dan kecepatan lalu lintas pada suatu ruas jalan. Perbedaan kerapatan dan kecepatan tersebut dapat disebabkan

oleh adanya penyempitan. Pada keadaan arus bebas, arus kendaraan akan melaju dengan kecepatan tertentu. Tetapi, bila arus tersebut mendapat gangguan, maka akan terjadi pengurangan arus yang seterusnya akan mengakibatkan kecepatan yang semakin rendah bahkan akan terjadi *antrian*. Apabila arus dan kerapatan relatif tinggi, maka kendaraan harus mengurangi kecepatannya yang ditandai dengan penyalaan lampu rem, yang ternyata bahwa lampu rem bergerak ke arah datangnya lalu lintas. Gerakan lampu rem menyala terhadap jalan adalah gerakan gelombang kejut. Gelombang kejut dapat terjadi pada suatu ruas jalan yang mengalami hambatan.

Arus lalu lintas adalah jumlah kendaraan persatuan waktu pada titik tertentu, dinyatakan dalam satuan mobil penumpang per-jam (smp/jam). Variabel-variabel utama yang dipakai untuk menerangkan arus kendaraan pada suatu jalur gerak adalah volume, kecepatan dan kerapatan. Hubungan fundamental

* Andi Syaiful Amal, Staff Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Malang

antara volume-kecepatan dan kerapatan adalah : $Q = U_s \cdot D$, dengan : Q = volume lalu lintas yang melewati suatu titik (smp/jam), U_s = kecepatan rata-rata ruang (km/jam), D = kepadatan (smp/km). Arus lalu lintas di jalan akan selalu bertambah atau meningkat, hal ini disebabkan oleh : peningkatan populasi, berkembangnya perekonomian dan peningkatan pendapatan serta pergerakan orang dari luar kota ke dalam kota.

Kecepatan adalah nilai pergerakan suatu kendaraan dalam jarak persatuan waktu, dinyatakan dalam kilometer per-jam (km/jam). Di samping itu, kecepatan juga merupakan salah satu variabel utama dari suatu aliran lalu lintas yang digunakan untuk mengukur kinerja lalu lintas (*traffic performance*). Kerapatan adalah jumlah kendaraan yang melewati satu satuan panjang dari suatu ruas jalan, dinyatakan dalam satuan kendaraan/km.

Hubungan antara kecepatan, arus dan kerapatan lalu lintas dalam keadaan jalan dan lalu lintas yang ideal. Hubungan tersebut mengikuti definisi dari kriteria tingkat pelayanan dan didasarkan pada faktor penyesuaian untuk kendaraan yang tidak sejenis. Hubungan antara kecepatan, arus dan kerapatan diberikan dengan beberapa metode berikut ini:

a. Metode *Greenshields*

Greenshields merumuskan bahwa hubungan antara kecepatan dan kerapatan adalah linier. Oleh karena itu pada cara ini hubungan antara kecepatan, arus dan kerapatan digambarkan sebagai berikut ini.

b. Metode *Greenberg*

Greenberg merumuskan bahwa hubungan antara kecepatan dan kerapatan bukan merupakan hubungan linier, melainkan merupakan fungsi eksponensial.

c. Metode *Underwood*

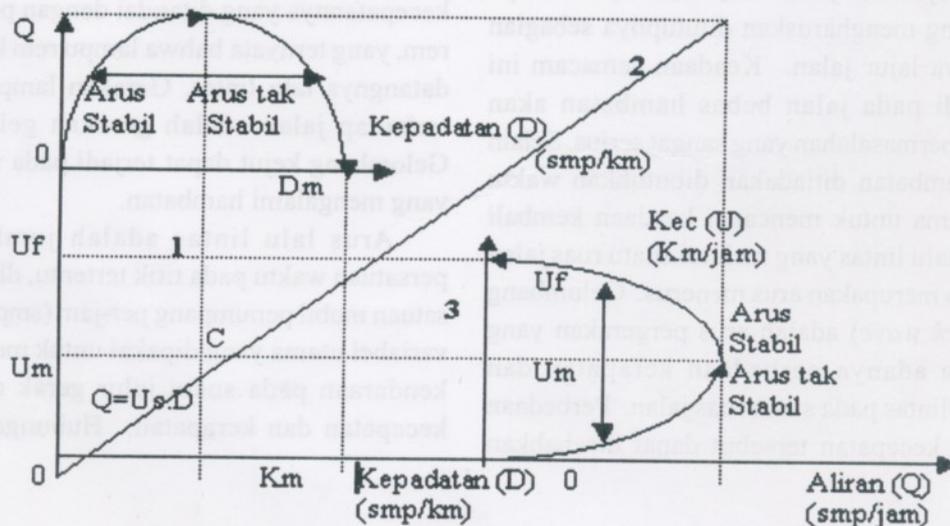
Underwood mengembangkan bahwa hubungan antara kecepatan dan kerapatan adalah merupakan fungsi logaritmik.

Gelombang kejut dapat digambarkan sebagai gerakan pada arus lalu lintas akibat adanya perubahan nilai kerapatan dan arus lalu lintas. Sebagai contoh adalah kelakuan lalu lintas pada saat memasuki jalan menyempit, sehingga akan memblok ruas jalan pada daerah penyempitan atau sampai suatu panjang tertentu kearah datangnya lalu lintas. Pada daerah penyempitan, kendaraan dipaksa untuk mengurangi kecepatannya.

Pada kenyataan arus lalu lintas tidak selalu sama setiap saat. Variasi terjadi dalam waktu satu jam yang dinyatakan srbagai factor jam puncak atau *Peak Hour Faktor* (PHF). PHF (*Peak Hour Faktor*) adalah rasio antara volume kendaraan selama satu jam terhadap volume kendaraan selama 15 menit tersibuk dalam jam tersebut.

$$PHF = \frac{V}{(4.V_{15})}$$

Di mana, PHF = Faktor jam puncak, V = Volume selama 1 jam (kend./jam), V_{15} = Volume 15 menit (kend./15 menit)



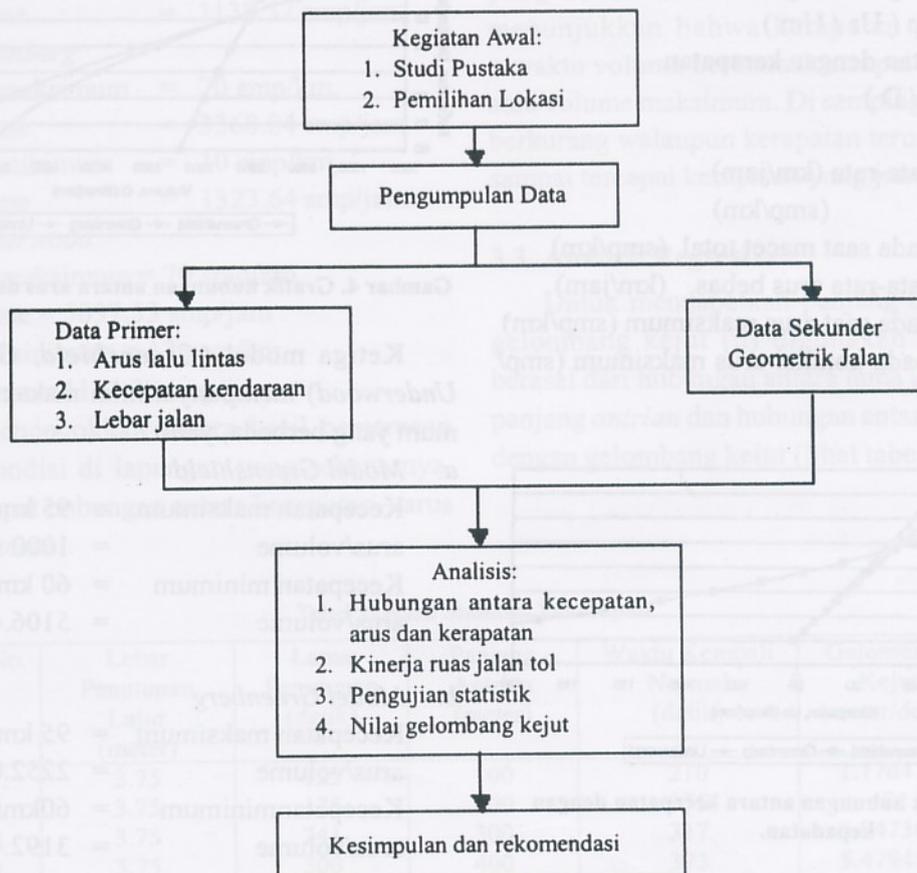
Gambar 1. Hubungan antar kecepatan, arus, dan kerapatan

Konsep korelasi adalah menelaah keeratan hubungan antara 2 variabel atau lebih. Bila variable yang terlibat hanya dua, maka analisa korelasi dikenal dengan korelasi sederhana. Sebaliknya bila variabel yang terlibat lebih dari dua maka korelasinya berganda. Secara garis besar sifat-sifat koefisien korelasi adalah nilai koefisien korelasi berkisar dari -1 sampai dengan 1 atau $-1 \leq r \leq 1$, bila $r = 0$ atau mendekati nol berarti antara dua variabel yang di observasi tidak terdapat hubungan atau hubungan lemah.

Pelitian ini bertujuan untuk : (1) menghitung nilai gelombang kejut pada jalan tol akibat terjadinya penyempitan sebagian atau seluruh jalur jalan, (2) membandingkan hubungan antara kecepatan, arus, kerapatan lalu lintas dalam model *Greenshields*, *Greenberg* dan *Underwood*. (3) menghitung nilai gelombang kejut yang berupa kecepatan dan panjang antrian yang terjadi akibat hambatan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mendapatkan data-data dalam menyelesaikan penelitian ini adalah dengan: (1) metode studi pustaka, yaitu mempelajari teori-teori yang berkaitan dengan materi sistem transportasi, dan (2) metode observasi, yaitu mengadakan penelitian atau pengamatan secara langsung di daerah jalan tol. Data primer yang diambil di lapangan meliputi data kecepatan kendaraan, data arus lalu lintas dan data spesifikasi jalan, lebar jalan, median dan lain-lain. Jenis kendaraan yang diamati dan diambil datanya sebagai bahan penelitian adalah kendaraan penumpang baik umum maupun pribadi dan kendaraan berat (bus dan truk). Penelitian dilakukan pada saat cuaca cerah. Langkah-langkah atau tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alur sebagai berikut :



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hubungan Antara Kecepatan, Kerapatan dan Arus Lalu lintas

Hubungan antara kecepatan, kerapatan dan arus lalu lintas dianalisis dengan menggunakan persamaan-persamaan yang ada pada masing-masing model, yaitu model *Greenshield*, *Greenberg* dan *Underwood*.

3.1.1. Model Greenshield

Hubungan arus dengan kerapatan

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

Hubungan arus dengan kecepatan

$$Q = D_j \cdot U_s - (D_j / U_f) U_s^2$$

Hubungan kecepatan dengan kerapatan

$$U_s = U_f - (U_f / D_j) D$$

3.1.2. Model Greenberg

Hubungan arus dengan kerapatan

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

Hubungan arus dengan kecepatan

$$Q = U_s \cdot D_j \cdot \exp(U_s / U_m)$$

Hubungan kecepatan dengan kerapatan

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

di mana :

U_s = kecepatan rata-rata (km/jam)

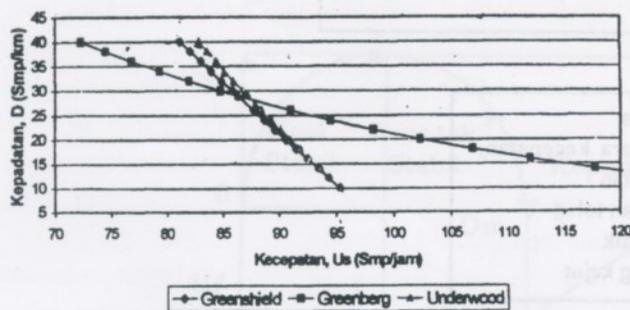
D = kerapatan (smp/km)

D_j = kerapatan pada saat macet total (smp/km)

U_f = kecepatan rata-rata arus bebas (km/jam)

D_m = kerapatan pada saat arus maksimum (smp/km)

U_m = kecepatan pada kondisi arus maksimum (smp/jam)



Gambar 3. Grafik hubungan antara kecepatan dengan kepadatan.

Ketiga model (*Greenshield*, *Greenberg* dan *Underwood*) mempunyai nilai maksimum dan minimum yang berbeda, yaitu :

a. Model Greenshield

Kecepatan maksimum = 93.2 km/jam,

kerapatan = 5 smp/km

Kecepatan minimum = 80.2 km/jam,

kerapatan = 40 smp/km

b. Model Greenberg

Kecepatan maksimum = 90.23 km/jam,

kerapatan = 19 smp/km

Kecepatan minimum = 82,86 km/jam,

kerapatan = 40 smp/km

c. Model Underwood

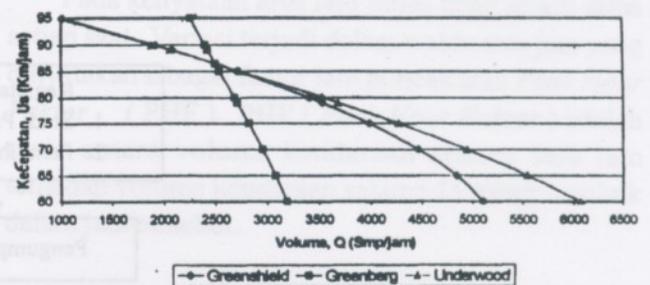
Kecepatan maksimum = 97.2 km/jam,

kerapatan = 6 smp/km

Kecepatan minimum = 82.86 km/jam,

kerapatan = 40 smp/km

Dengan mencocokkan antara hasil persamaan dengan data kondisi di lapangan yang sebenarnya, maka akan didapat hubungan antara kecepatan - kerapatan yang sesuai.



Gambar 4. Grafik hubungan antara arus dengan kecepatan.

Ketiga model (*Greenshield*, *Greenberg* dan *Underwood*) mempunyai nilai maksimum dan minimum yang berbeda, yaitu :

a. Model Greenshield

Kecepatan maksimum = 95 km/jam,

arus/volume = 1000 smp/jam

Kecepatan minimum = 60 km/jam,

arus/volume = 5106.48 smp/jam

b. Model Greenberg

Kecepatan maksimum = 95 km/jam,

arus/volume = 2252.03 smp/jam

Kecepatan minimum = 60 km/jam,

arus/volume = 3192.40 smp/jam

c. Model Underwood

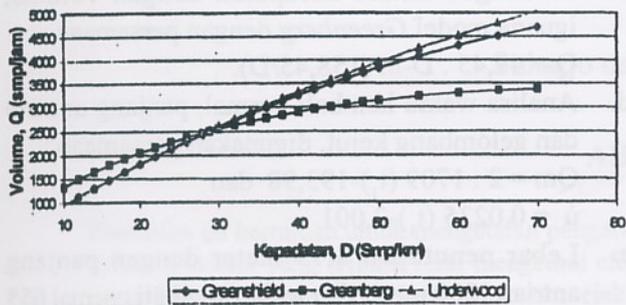
Kecepatan maksimum = 95 km/jam,

arus / volume = 964.48 smp/jam

Kecepatan minimum = 60 km/jam,

arus / volume = 6066.46 smp/jam

Dengan mencocokkan antara hasil persamaan dengan data kondisi di lapangan yang sebenarnya, maka akan didapat hubungan antara kecepatan-arus / volume yang sesuai.



Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Kerapatan – Arus / Volume

a. Model Greenshield

- Kerapatan maksimum = 70 smp/km,
- arus / volume = 4697 smp/jam
- Kerapatan minimum = 12 smp/km,
- arus / volume = 1132.32 smp/jam

b. Model Greenberg

- Kerapatan maksimum = 70 smp/km,
- arus / volume = 3368.84 smp/jam
- Kerapatan minimum = 10 smp/km,
- arus / volume = 1323.64 smp/jam

c. Model Underwood

- Kerapatan maksimum = 70 smp/km,
- arus / volume = 5037.53 smp/jam
- Kerapatan minimum = 12 smp/km,
- arus / volume = 1134.20 smp/jam

Dengan mencocokkan antara hasil persamaan dengan data kondisi di lapangan yang sebenarnya, maka akan didapat hubungan antara kecepatan – arus / volume yang sesuai.

3.2. Penentuan Model Terpilih

Dari pengujian statistik tampak bahwa semua model layak digunakan, namun gelombang kejut yang terjadi hanya akan dipilih satu model yang paling sesuai dengan kondisi jalan tol Surabaya-Gresik. Ternyata model yang cocok dengan data di lapangan adalah model *Greenberg* untuk hubungan antara kecepatan dengan kerapatan. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan yang mengalami peningkatan secara bertahap sampai mengalami penurunan kerapatan, apabila kerapatan meningkat maka kecepatan akan turun. Sedangkan hubungan antara arus/volume dengan kecepatan, model yang cocok adalah model *Greenshield*. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan akan turun bersamaan dengan meningkatnya arus/volume sampai tercapai aliran kapasitas yang maksimum, sehingga mengalami macet total pada saat arus maksimum dan kecepatan menjadi menurun. Untuk hubungan antara kerapatan dengan arus/volume, model yang cocok adalah model *Greenberg*. Hal ini menunjukkan bahwa kerapatan akan bertambah sewaktu volume bertambah sampai dengan kapasitas atau volume maksimum. Di samping itu, volume akan berkurang walaupun kerapatan terus akan bertambah sampai tercapai kerapatan yang jenuh.

3.3. Analisis Regresi

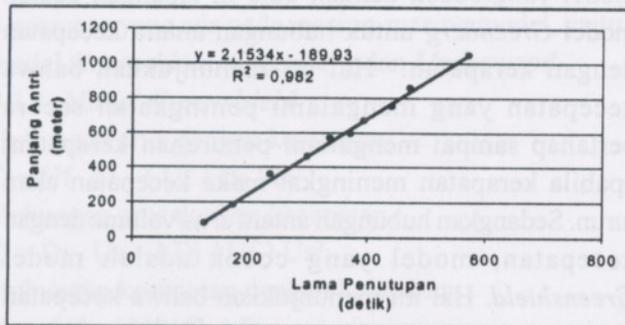
Untuk mendapatkan panjang antrian (Q_m) dan gelombang kejut (\dot{u}) digunakan persamaan yang berasal dari hubungan antara lama penutupan dengan panjang antrian dan hubungan antara lama penutupan dengan gelombang kejut (lihat tabel).

Tabel 1. Hasil Simulasi Penutupan

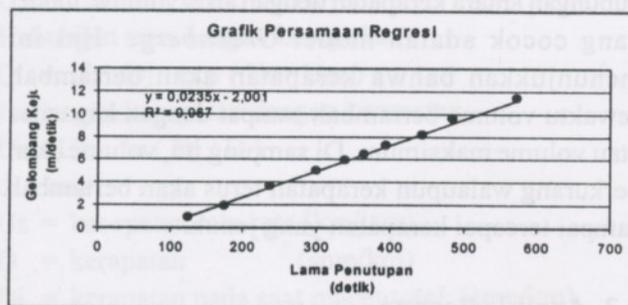
No.	Lebar Penutupan Lajur (meter)	Lama Penutupan (detik)	Panjang Antrian (meter)	Waktu Kembali Normal (detik)	Gelombang Kejut (meter/detik)
1.	3.75	125	100	210	1.176471
2.	3.75	175	200	275	2
3.	3.75	241	300	317	3.947368
4.	3.75	300	400	373	5.479452
5.	3.75	339	500	425	5.813953
6.	3.75	361	600	458	6.185567
7.	3.75	395	700	494	7.070707
8.	3.75	434	800	552	6.779661
9.	3.75	485	900	575	10
10.	3.75	572	1000	655	12.04819

Sumber : Analisis hasil survei

- a. Hasil persamaan regresi panjang antrian (Q_m) = $2.1709 (t_1) - 193.98$
- b. Hasil persamaan nilai gelombang kejut (\dot{u}) = $0.0235 (t_1) - 2.001$



Gambar 6. Grafik persamaan regresi untuk mencari panjang antrian.



Gambar 7. Grafik persamaan regresi untuk mencari nilai gelombang kejut

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisis dan pembahasan dalam penelitian hubungan antara kecepatan, arus/volume dan kerapatan lalu lintas dengan persamaan pada masing-masing model, dihasilkan persamaan yang sesuai dengan kondisi lapangan yaitu :

- a. Hubungan antara kecepatan dengan kerapatan, digunakan model *Greenberg* dengan persamaan:

$$U_s = 49,45 \cdot \ln (158,45/D)$$

- b. Hubungan antara volume dengan kecepatan, iguana model *Greenshields* dengan persamaan : $Q = 158,45 \cdot U_s - \ln (158,45/100) U_s^2$
- c. Hubungan antara kerapatan dengan volume, iguana model *Greenberg* dengan persamaan : $Q = 49,45 \cdot D - \ln (158,45/D)$.
- d. Analisa waktu kembali normal, panjang antrian dan gelombang kejut, digunakan persamaan : $Q_m = 2 \cdot 1709 (t_1) - 193,98$ dan $\dot{u} = 0,0235 (t_1) - 2,001$
- e. Lebar penutupan 3,75 meter dengan panjang antrian 1000 meter dan waktu kembali normal 655 detik, dengan kondisi arus 1068,5 smp/jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim., 1997. Manual Kapasitas Jalan Indonesia. Dirjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Algifari., 2000. Analisis Regresi Teori, Kasus, dan Solusi Edisi 2. BPFE Yogyakarta.
- C.S. Papacostas and P.D. Prevedouros., 1993. Transportation Engineering and Planning, Second Edition. University of Hawaii at Manoa Honolulu. Hawaii.
- Hobbs, F.D., 1995. Perencanaan dan Teknik Lalulintas. Gajah Mada University Press, Edisi Kedua. Yogyakarta.
- Sudjana., 1996. Metode Statistika. Edisi ke-VI. Tarsito. Bandung.
- Sugiono DR., 2000. Statistika Untuk Penelitian. Edisi Ketiga. Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI) Alfabeta. Bandung.
- Tamin Z Ofyar., 2000. Perencanaan dan Permodelan Transportasi. Institut Teknologi Bandung. Edisi Kedua. Bandung.
- Wohl Martin and Martin V. Brian., 1967. Traffic System Analisis For Engineering Planner. McGraw Hill Book Company. New York.