

Analisis Hubungan Volume, Kecepatan Dan Kepadatan Jalan Dengan Model Greenshields, Greenberg Dan Underwood

Muhammad Ridha¹, Mery Silviana², Amalia³, Muhammad Zardi⁴, Tety Sriana⁵, Muhammad Khalis⁶

¹²³⁴⁵⁶ Prodi Teknik Sipil Universitas Abulyatama, LAMPONG KEUDE-ACEH BESAR 23372

*Koresponden email: ridha_sipil@abulyatama.ac.id

Diterima: 28 Oktober 2024

Disetujui: 30 November 2024

Abstract

One of the roads that has a large traffic volume in Banda Aceh is T. Nyak Makam road which is at position 5°33'52.80"N and 95°20'36.19"E, every day it is used by the community to support various activities to get to work, business or school for students. For the data required for this research, a traffic observation survey was carried out in the field for 12 hours, namely 07.00-18.00 WIB which was carried out on Monday 7 October 2024. Apart from data on traffic volume on Jalan T. Nyak Makam, data on vehicle traffic speed was also taken. , this data was taken at a distance of 50 meters. To analyze the volume, speed and density of traffic, the Greenshields, Greenberg and Underwood liner models are used. For the Greenshields model velocity-density (S-D) $S = 30,74 - 0,15D$, volume-velocity $V = 205,15S - 6,67S^2$, volume-density $V = 30,74D - 0,15D^2$. Greenberg model, velocity-density (S-D) $S = 4,92\ln(5972,09/D)$, volume-velocity $V = 5972,091Se-s/4,92$, volume-density $V = 4,92D\ln5972,09/D$. Underwood model velocity-density (S-D) $S = 31,30e-D/166,6$, volume-velocity $V = 166,6S\ln31,3/S$, volume-density $V = 31,3De-D/166,6$. For the T. Nyak Makam road, the model that can be said to be the most suitable is Greenshield with the lowest traffic volume value, namely $V_m = 1,576.86$ Smp/Hour.

Keywords: *T. Nyak Makam Road, Greenshields, Greenberg, Underwood*

Abstrak

Salah satu jalan yang memiliki volume lalu lintas yang besar di Banda Aceh adalah jalan T.Nyak Makam yang berada pada posisi 5°33'52.80"N dan 95°20'36.19"E, setiap harinya digunakan oleh masyarakat untuk menunjang berbagai aktifitas kegiatan untuk menuju tempat bekerja, Usaha maupun kesekolah bagi pelajar. Untuk kebutuhan data pada penelitian ini maka dilakukan survey pengamatan lalu lintas dilapangan selama 12 jam yaitu jam 07.00-18.00 WIB yang dilaksanakan pada hari, senin tanggal 7 Oktober 2024. Selain data volume lalu lintas di jalan T. nyak makam, diambil juga data kecepatan lalu lintas kendaraan, data ini diambil pada jarak 50 meter. Untuk menganalisa volume, kecepatan dan kepadatan lalu lintas ini digunakan model liner Greenshields, Greenberg dan Underwood. Untuk model Greenshields kecepatan-kepadatan (S-D) $S = 30,74 - 0,15D$, volume-kecepatan $V = 205,15S - 6,67S^2$, volume-kepadatan $V = 30,74D - 0,15D^2$. Model Greenberg, kecepatan-kepadatan (S-D) $S = 4,92\ln(5972,09/D)$, volume-kecepatan $V = 5972,091Se-s/4,92$, volume-kepadatan $V = 4,92D\ln5972,09/D$. Model Underwood kecepatan-kepadatan (S-D) $S = 31,30e-D/166,6$, volume-kecepatan $V = 166,6S\ln31,3/S$, volume-kepadatan $V = 31,3De-D/166,6$. Untuk jalan T. Nyak Makam model yang dapat dikatakan paling sesuai adalah Greenshield dengan nilai volume lalu lintas paling rendah yaitu $V_m = 1.576,86$ Smp/Jam.

Kata kunci: *Jalan T. Nyak Makam, Greenshields, Greenberg, Underwood*

1. Pendahuluan

Sebagai ibukota provinsi, Banda Aceh memiliki peranan penting dalam menunjang berbagai sektor kehidupan masyarakat, terutama dalam kegiatan ekonomi sehari-hari. Jalan sebagai salah satu infrastruktur penunjang tersebut memiliki peranan sangat besar kehidupan masyarakat setiap hari. Salah satu jalan yang memiliki volume lalu lintas yang besar di Banda Aceh adalah jalan T.Nyak Makam yang berada pada posisi 5°33'52.80"N dan 95°20'36.19"E, setiap harinya digunakan oleh masyarakat untuk menunjang berbagai aktifitas kegiatan untuk menuju tempat bekerja, Usaha maupun kesekolah bagi

pelajar. Tingginya arus volume lalu lintas di jalan tersebut mendasari keinginan dari peneliti untuk melihat pergerakan volume lalu lintas masyarakat yang menggunakan jalan T. Nyak Makan tersebut dan ingin menganalisa volume, kecepatan dan kepadatan lalu lintas pada ruas jalan ini, yang diharapkan dapat menjadi masukan untuk penanganan pada daerah kawasan ini. Untuk kebutuhan data pada penelitian ini maka dilakukan survey pengamatan lalu lintas di lapangan selama 12 jam yaitu jam 07.00-18.00 WIB yang hanya dilaksanakan pada hari, Senin tanggal 7 Oktober 2024. Diambilnya hari ini karena dianggap bahwa aktivitas masyarakat paling sibuk terjadi pada hari ini dan juga permulaan aktivitas kerja masyarakat. Selain data volume lalu lintas di jalan T. Nyak Makan, diambil juga data kecepatan lalu lintas kendaraan, data ini diambil pada jarak 50 meter. Pengambilan data ini dilakukan oleh dua orang yang berada pada titik nol dan seorang lagi berada pada titik 50 meter, dengan mengangkat bendera dan mencatat waktu dengan stopwatch.

Data yang telah diambil tersebut kemudian dimasukkan ke MS Excel dan dianalisis berdasarkan model Linear Greenshields, model Logitmik Greenberg dan Model Exponential Underwood. Selanjutnya diambil hubungan antara kecepatan, kepadatan dan volume lalu lintas [1].

2. Landasan Teori

Untuk melayani lalu lintas orang, kendaraan, atau barang, pembangunan jalan merupakan tujuan utama yang dilaksanakan. Istilah “jalan” secara umum dipahami sebagai prasarana transportasi darat termasuk bangunan penunjangnya yang terletak di permukaan bumi. Tiga variabel utama yang digunakan untuk menentukan karakteristik arus lalu lintas adalah kecepatan, volume, dan kepadatan [2].

2.1 Volume (*flow*)

Volume lalu lintas didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu di jalan dalam waktu tertentu. Umumnya satuan yang digunakan untuk mengukurnya adalah kendaraan perhari atau kendaraan per jam. Volume dapat dirumuskan sebagai berikut : $V = n/t$, dengan n adalah jumlah kendaraan dan t = waktu tempuh.

2.2 Kecepatan (*speed*)

Jarak yang dapat ditempuh kendaraan dalam waktu tertentu di sebuah jalan disebut kecepatan. Satuan yang umum digunakan untuk mengukurnya adalah kilometer per jam atau meter per detik. Kecepatan dapat digambarkan dalam rumusan berikut :

$$S = \text{Jarak/Waktu}$$

2.3 Kepadatan (*density*)

Jumlah kendaraan per satuan panjang jalan pada waktu tertentu disebut kendaraan per kilometer. Satuan ini sering digunakan untuk mengukur lalu lintas di suatu area.

2.4 Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kepadatan

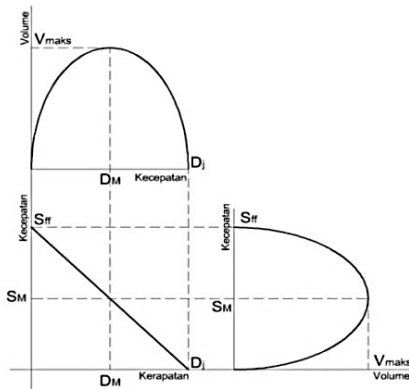
Hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan dapat diilustrasikan melalui persamaan matematika. Berikut ini adalah beberapa hubungan di antara ketiga faktor tersebut: $V = D \cdot S$

$$\text{Dengan : } V = \text{Volume (Kend/Jam)}$$

$$D = \text{Kepadatan (Kend/Km)}$$

$$S = \text{Kecepatan (Km/Jam)}$$

Hubungan antara volume dan kecepatan menunjukkan bahwa ketika volume lalu lintas meningkat, kecepatan rata-rata akan menurun hingga mencapai kepadatan kritis, yaitu volume maksimum. Setelah kepadatan kritis ini tercapai, kecepatan rata-rata dan volume akan terus menurun. Ada hubungan matematis yang menunjukkan bahwa apabila kepadatan lalu lintas bertambah, maka kecepatan akan berkurang [3]. Kepadatan didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang berada di sepanjang satuan panjang jalan tertentu. Ukuran kepadatan ini dapat dinyatakan dalam satuan kendaraan per kilometer atau kendaraan per meter. Kecepatan dapat diartikan sebagai seberapa cepat kendaraan bergerak, yang diukur berdasarkan jarak yang ditempuh dalam waktu tertentu [4].



Gambar 1. Grafik Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kepadatan

Keterangan :

V_m = Volume maksimum

S_m = Kecepatan saat volume lalu lintas maksimum

D_m = Kepadatan saat volume lalu lintas maksimum

S_{ff} = Kecepatan saat volume lalu lintas rendah

D_j = Kepadatan saat volume lalu lintas macet

2.5 Model Linier Greenshields

Pada tahun 1934, Greenshields melakukan penelitian di jalur jalan luar kota Ohio. Penelitian ini dilakukan dalam kondisi arus lalu lintas yang stabil, yaitu tanpa gangguan dan kendaraan bergerak secara bebas (steady state condition) [5]. Model yang dihasilkan dari penelitian ini adalah yang paling awal dalam mengamati perilaku lalu lintas.

Greenshields menemukan bahwa hubungan antara kecepatan dan kelajuan bersifat linier. Hubungan linier ini banyak digunakan untuk mengamati arus lalu lintas karena dianggap sebagai cara paling sederhana dan mudah untuk menganalisis hubungan antara volume lalu lintas, kecepatan, dan kepadatan.

Untuk Persamaan Regresi Hubungan Kecepatan dan Kepadatan model ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S = S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} D \tag{1}$$

Hubungan Volume dan Kepadatan Greenshields memberikan hubungan persamaan :

$$V = DS_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} D^2 \tag{2}$$

Greenshields menyajikan model untuk menggambarkan hubungan antara volume lalu lintas dan kecepatan sebagai berikut:

$$V = D_j S - \frac{D_j}{S_{ff}} S^2 \tag{3}$$

Model liner Greenshields menunjukkan hubungan antara kepadatan, kecepatan, dan volume maksimum sebagai berikut:

$$D_m = \frac{D_j}{2} \tag{4}$$

$$m = \frac{S_{ff}}{2} \tag{5}$$

$$V_m = \frac{D_j S_{ff}}{4} \tag{6}$$

2.6 Model Logaritmik Greenberg

Pada tahun 1959, Greenberg melakukan penelitian di terowongan Lincoln. Ia menganalisis hubungan antara kecepatan dan kepadatan lalu lintas dengan menganggap bahwa arus lalu lintas mirip dengan aliran fluida.

Dengan menggunakan asumsi persamaan kontinuitas dalam gerak cair, Greenberg menemukan hubungan antara kecepatan dan kepadatan yang dinyatakan dalam bentuk logaritma. Kecepatan dan Kepadatan model logaritmik dari Greenberg adalah :

$$S = S_m \text{Ln}\left(\frac{D_j}{D}\right) \quad (7)$$

Greenberg menyajikan hubungan antara volume dan kepadatan lalu lintas yang mengikuti pola logaritmik yang sebelumnya telah diteliti adalah sebagai berikut :

$$V = S_m D \text{Ln}(D_j/D) \quad (8)$$

hubungan volume dan kecepatan lalu lintas Greenberg memberikan model sebagai berikut:

$$V = S D_j e^{-S/S_m} \quad (9)$$

Kepadatan, kecepatan dan volume maksimum model liner Greenberg adalah :

$$D_m = e^{-\frac{S_{ff}}{S_m}} \quad (10)$$

$$S_m = -\frac{1}{b} \quad (11)$$

$$V_m = \frac{D_j S_m}{4} \quad (12)$$

Dari model Greenberg diatas, kecepatan cenderung menurun ketika kepadatan meningkat, dan volume maksimum dapat dihitung pada titik tertentu dalam hubungan antara kepadatan dan kecepatan. Kecepatan aliran bebas dan kepadatan maksimum adalah dua faktor penting untuk menentukan volume maksimum. Volume maksimum biasanya terjadi pada kepadatan optimal, dimana sistem masih dapat berfungsi dengan baik.

2.7 Model Eksponensial Underwood

Underwood mengajukan hipotesis bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan dapat dijelaskan oleh fungsi eksponensial, yang direpresentasikan oleh persamaan berikut :

$$S = S_{ff} e^{-D/D_m} \quad (13)$$

Underwood menyajikan persamaan yang menggambarkan hubungan antara volume dan kepadatan lalu lintas sebagai berikut :

$$V = S D_M \text{Ln} \frac{S_{ff}}{S} \quad (14)$$

hubungan volume dan kecepatan lalu lintas Underwood mendefinikan :

$$V = D S_{ff} e^{-D/D_m} \quad (15)$$

Kepadatan, kecepatan dan volume maksimum untuk model Eksponensial Underwood adalah sebagai berikut :

$$D_m = -\frac{1}{b} \quad (16)$$

$$S_m = \frac{S_{ff}}{e} \quad (17)$$

$$V_m = D_m \frac{S_{ff}}{e} \quad (18)$$

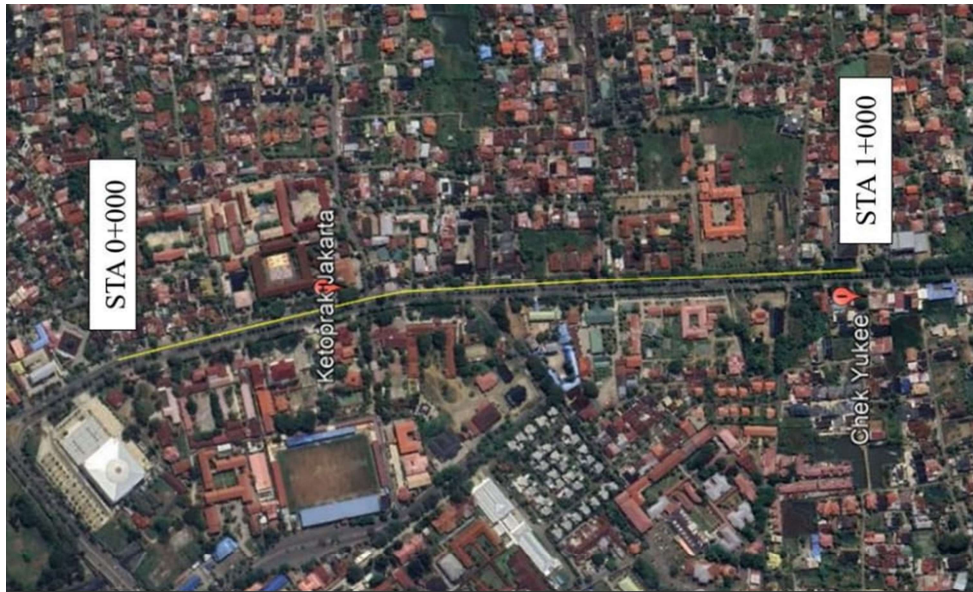
3. Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini, perlu merancang metode yang akan memudahkan langkah-langkah kerja saat mengumpulkan data di lapangan. Dengan cara ini, data yang diperoleh dapat memberikan pemahaman yang jelas mengenai hubungan antara volume, kecepatan, dan kondisi pada jalan yang diteliti. Berikut adalah langkah-langkah yang akan diambil dalam metode penelitian ini.

1. Pengumpulan data volume kendaraan dilakukan pada hari Senin, 7 Oktober 2024. Tanggal tersebut dipilih karena merupakan hari kerja pertama dalam seminggu. Pengumpulan data dilakukan mulai pukul 07.00 hingga 18.00 WIB. Kendaraan yang dihitung meliputi kendaraan ringan (LV), sepeda motor (MC), dan kendaraan tidak bermotor (UM). Data yang terkumpul kemudian dimasukkan ke dalam tabel yang telah disiapkan. Setiap jenis kendaraan dikalikan dengan nilai Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP), dengan LV ditetapkan sebesar 1, HV sebesar 1,2, MC sebesar 0,25, dan UM sebesar 0,8.
2. Pengambilan data kecepatan kendaraan dilakukan menggunakan metode bendera dengan dua orang pengamat. Jarak pengambilan data adalah 50 meter untuk setiap kendaraan, seperti yang dijelaskan sebelumnya. Setelah data terkumpul, data tersebut dimasukkan ke dalam tabel dan dikalikan dengan 3,6 untuk mengubah satuan meter per detik menjadi kilometer per jam. Kemudian, total dari semua data tersebut dihitung dan dibagi dengan jumlah jenis kendaraan yang ada, serta dijumlahkan untuk setiap waktu pengambilan.
3. Setelah didapatkan dua data yaitu volume dan kecepatan, kemudian dicari data kepadatan dengan terlebih dahulu data dari volume kendaraan dikalikan dengan 4, karena pengambilan data dari volume kendaraan per lima belas menit. Data volume kendaraan dibagikan dengan kecepatan rata-rata kendaraan pada jam waktu pengambilan data tersebut. Data kepadatan memiliki satuan smp/km.
4. Data tersebut dianalisis menggunakan model Greenshields, Greenberg, dan Underwood untuk mengkaji hubungan antara kecepatan dan kepadatan, volume dan kecepatan, serta volume dan kepadatan.

4. Subjek dan Objek Perencanaan

Subjek tinjauan pada penelitian ini adalah Analisis Hubungan Volume, Kecepatan dan Kepadatan Jalan dengan Model Greenshields, Greenberg dan Underwood. Sedangkan objek perencanaan adalah jalan T. Nyak Makam seperti diperlihatkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2. Lokasi Penelitian, Jl. T. Nyak Makam

Sumber : Google Maps

Sumber data dari penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh langsung oleh peneliti dari mencatat dan mengukur dilapangan, sedangkan data sekunder adalah data yang diperoleh dari pihak kedua.

1. Data Primer

Data primer adalah data yang dapat diperoleh dari hasil survey di lapangan. Data primer yang diambil oleh peneliti dilapangan adalah :

1. Data volume kendaraan ringan, berat dan sepeda motor yang diambil dari pukul 07:00 s/d 18:00 dengan cara mencatat sesuai dengan jenis kendaraan.
2. Data kecepatan kendaraan diperoleh dengan mencatat kecepatan setiap jenis kendaraan yang melewati jarak tinjauan sepanjang 50 meter dengan stopwatch.

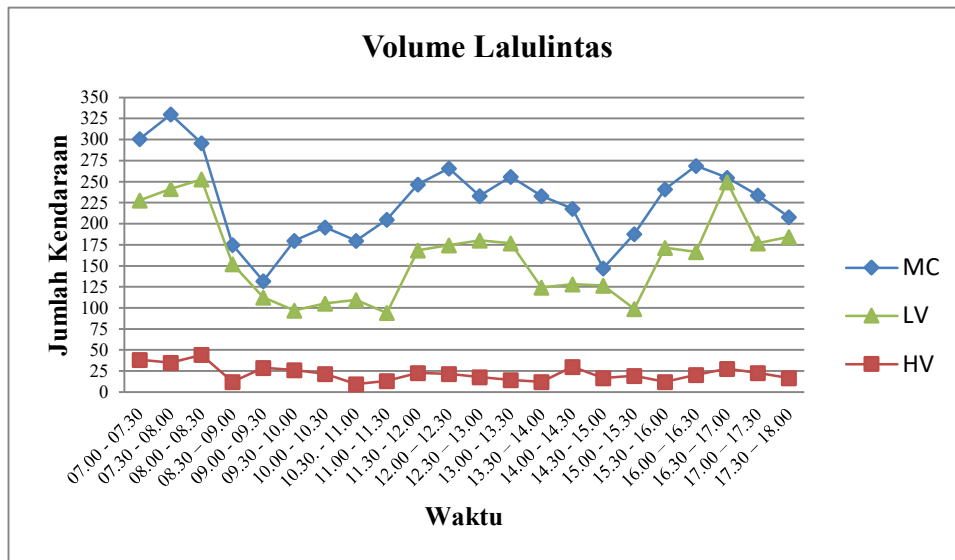
2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari selain pengukuran dan pencatatan langsung oleh peneliti dilapangan. Data ini didapatkan dari sumber kedua :

1. Formula Greenshields, Greenberg dan underwood
2. Gambar grafik hubungan volume, kecepatan dan kepadatan
3. Peta lokasi penelitian

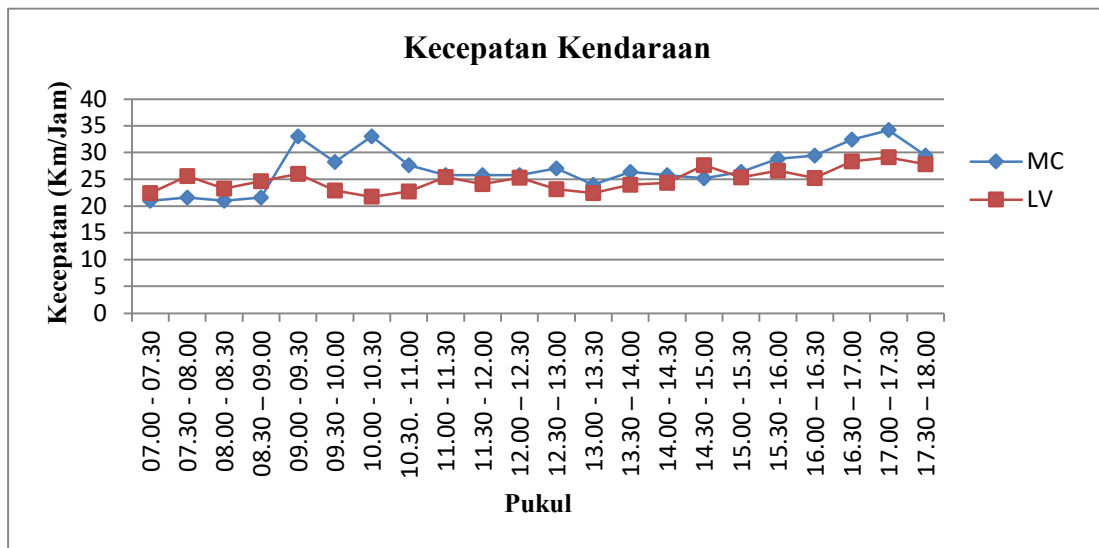
5. Hasil dan Pembahasan

Setelah mengumpulkan data di lapangan, setiap jenis kendaraan yang dicatat akan dikalikan dengan nilai Ekuivalen Mobil Penumpang (EMP) pada hari-hari yang telah ditentukan. Kemudian, hasilnya akan dibagi dengan rata-rata. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada gambar grafik di bawah ini :



Gambar 3. Grafik Volume Lalulintas untuk MC, LV dan HV

Kecepatan kendaraan diukur dengan jarak pantauan 50 meter untuk setiap jenis kendaraan. Dengan jarak ini, waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk menempuh jarak 50 meter terhitung dalam detik. Pengambilan data dilakukan oleh dua orang yang masing-masing memegang bendera sebagai tanda.



Gambar 4. Grafik Kecepatan Kendaraan untuk MC dan LV

5.1 Model Regresi Liner Greenshields

Berdasarkan data volume, kepadatan dan kecepatan kendaraan yang telah didapatkan, kemudian di analisis dengan regresi linier, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Model Regresi Linier Model Greenshields

No	Model	Hubungan
1	$S = 30,74 - 0,15D$	Kecepatan dan Kepadatan
2	$V = 205,15S - 6,67S^2$	Volume dan Kecepatan
3	$V = 30,74D - 0,15D^2$	Volume dan Kepadatan

5.2 Model Logaritmik Greenberg

Berdasarkan data volume, kepadatan dan kecepatan kendaraan yang telah didapatkan, kemudian di analisis dengan regresi Logaritmik, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Model Logaritmik Model Greenberg

No	Model	Hubungan
1	$S = 4,92Ln(\frac{5.972,09}{D})$	Kecepatan dan Kepadatan
2	$V = 5972,09Se^{-S/4,92}$	Volume dan Kecepatan
3	$V = 4,29DLn(\frac{5.972,09}{D})$	Volume dan Kepadatan

5.3 Model Eksponensial Underwood

Berdasarkan data volume, kepadatan dan kecepatan kendaraan yang telah didapatkan, kemudian di analisis dengan regresi Eksponensial, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Model Eksponensial Model Underwood

No	Model	Hubungan
1	$S = 31,30e^{-D/166,6}$	Kecepatan dan Kepadatan
2	$V = 166,6SLn31,3/S$	Volume dan Kecepatan
3	$V = 31,3De^{-D/166,6}$	Volume dan Kepadatan

5.4 Nilai Maksimum dari ketiga model

Berdasarkan data volume, kepadatan dan kecepatan kendaraan yang telah didapatkan dari ketiga model diatas dapat diambil suatu nilai maksimum, nilai ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. Hasil Nilai Maksimum dari Ketiga Model

Variabel	Satuan	Model		
		Greenshield	Greenberg	Underwood
Volume Maksimum (Vm)	Smp/Jam	1.576,86	10.819,26	1.918,50
Kecepatan Bebas (Sff)	Km/Jam	30,74	42,82	31,30
Kecepatan Maksimum (Sm)	Km/Jam	15,37	4,92	11,52
Kepadatan Maksimum (Dm)	Smp/Km	102,58	5.972,09	166,60

6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah didapatkan dan dianalisis, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan dari penelitian ini yaitu :

1. Untuk jalan T. Nyak makam model yang dapat dikatakan paling sesuai adalah Greenshield dengan nilai volume lalu lintas paling rendah yaitu $V_m = 1576,86$ Smp/Jam, jika dibandingkan dengan model Greenberg dan Underwood. Model ini sudah sesuai dengan kondisi arus lalu lintas pada jalan dalam kota.
2. Kondisi volume lalu lintas maksimum didapat dengan model Greenberg dengan $V_m = 10.819,26$ Smp/Km, kecepatan maksimumnya $S_m = 4,92$ Km/Jam.
3. Model persamaan yang dipilih adalah Greenshield memiliki hubungan antara kecepatan-kepadatan (S-D) adalah $S = 30,74 - 0,15D$, hubungan antara volume-kecepatan (V-S) adalah $V = V = 205,15S - 6,67S^2$ dan hubungan antara kecepatan-kepadatan (V-D) adalah $V = 30,74D - 0,15D^2$.

7. Daftar Pustaka

- [1] A. Ariadi, M. Isya, I. Caesarina. 2016, "Analisis Hubungan Antara Volume, Kecepatan Dan Kepadatan Lalu Lintas (Studi Kasus : Jembatan Lamnyong, Jalan Teuku Nyak Arief Banda Aceh)." *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 5, No. 3, 279–290.
- [2] A. Juanda, M. Isya, N. Fadhly. 2019, "Hubungan Volume, Kecepatan Dan Kepadatan Dengan Model Greenshields, Greenberg, Dan Underwood Pada Ruas Jalan Luar Kota Kawasan Gunung Geurutee." *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*. Vol. 2, No. 4, 287–293.
- [3] A. M. Stephen. 2023, *Analisa Kapasitas Dan Kinerja Ruas Jalan Berdasarkan Pemodelan Greenshield, Greenberg Dan Underwood Pada Ruas Jalan Gatot Subroto Kota Medan*. <https://Repository.Unisma.Ac.Id/Handle/123456789/7006>
- [4] B. D. Putra, E. Ngii, L. O. M. Magribi. 2019, "Analisis Hubungan Volume Kecepatan Kepadatan Pada Segmen Ruas Jalan Z.A Sugianto Yang Mengalami Penyempitan Jalan Di Jembatan Sungai Wanggu I." *Jurnal Manajemen Rekayasa (Journal Of Engineering Management)*. Vol. 1, No. 2.
- [5] B. Saputra, D. Savitri. 2021, "Analisis Hubungan Antara Volume, Kecepatan Dan Kepadatan Lalu-Lintas Berdasarkan Model Greenshield, Greenberg Dan Underwood." *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*. Vol. 5, No. 1.
- [6] G. S. J. Timpal, T. K. Sendow, A. L. E. Rumayar. 2018, "Analisa Kapasitas Berdasarkan Pemodelan Greenshield, Greenberg Dan Underwood Dan Analisa Kinerja Jalan Pada Ruas Jalan Sam Ratulangi Manado." *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 6, No. 8.
- [7] Gn Abdi, S. Priyanto, And S. Malkamah, "Hubungan Volume, Kecepatan Dan Kepadatan Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Padjajaran (Ring Road Utara), Sleman", *Teknisia*, Vol. 24, Hlm. 55–64, Mei 2019.
- [8] H. Shofiana, S. Sumina, S. Handoyo. 2024, "Analisis Hubungan Volume, Kecepatan Dan Kepadatan Lalu Lintas Di Ruas Jalan Slamet Riyadi Kartasura." *Sultra Civil Engineering Journal*. Vol. 5, No. 2, 308–321.
- [9] L. T. Pribadi. 2004, "Studi Hubungan Volume, Kecepatan Dan Kerapatan Pada Ruas Jalan Gatot Subroto Kota Cimahi." *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknik*. Vol. 3, No. 1, 233–239.
- [10] M. Irwansyah, C. A. Siringoringo. 2022, "Analisis Hubungan Antara Volume, Kecepatan, Dan Kerapatan Lalu Lintas Dengan Model Greenshield, Greenberg, Dan Underwood Pada Ruas Jalan Gereja Kota Tanjungbalai." *Jurnal Vorteks*. Vol. 3, No. 2, 229–237.
- [11] M. Lubis, H. Batubara, M. F. Athaya. 2022, "Analisa Karakteristik Arus Lalu Lintas Dengan Model Metode Greenshields Greenberg Underwood Pada Ruas Jalan A. H. Nasution Medan Johor Sta 3+350 S/D 3+." *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 1, No. 2, 217–223.
- [12] R. Gamran, F. Jansen, M. J. Paransa. 2015, "Analisa Perbandingan Perhitungan Kapasitas Menggunakan Metode Greenshields, Greenberg, Dan Underwood Terhadap Perhitungan Kapasitas Menggunakan Metode Mkji 1997." *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 3, No. 7.
- [13] Sultan, M. Lubis, H. Batubara. 2024, "Analisa Kapasitas Berdasarkan Pemodelan Greenshield, Greenberg, Dan Underwood Pada Ruas Jalan Jalan Tgk Muhammad Luddin Kota Blangkejeren." *Jurnal Ilmiah Teknik Unida*. Vol. 5, No. 1, 12–20.
- [14] Suwardo Dkk,(2016). *Perencanaan Geometrik Jalan*, Gajah Mada University Press.
Tamim O.Z., 2000. *Perencanaan Dan Permodelan Transportasi*, Edisi Kedua Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

- [15] W. Kriswardhana, M. S. Widanar, S. Arifin, S. Sulistyono. 2020, "Model Hubungan Arus, Kecepatan, Dan Kepadatan Di Jalan Empat Lajur Dua Arah." Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil. Vol. 10, No. 1, 89–99.