

## **ANALISIS KAPASITAS DAN KINERJA JALAN DENGAN MODEL GREENSHIELD DAN MODEL UNDERWOOD (STUDI KASUS: JALAN TOL JAGORAWI KM 19+600)**

Endang W dan Miftahul Aziz  
Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Sains dan Teknologi Nasional  
Jl. Moch. Kahfi II, Bhumi Srengseng Indah P.O Box 7715 JKS LA  
Kelurahan Jagakarsa – Jakarta selatan 12620, Telp. 7888275  
Email: [mftahlaziz00@gmail.com](mailto:mftahlaziz00@gmail.com)

### **Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui model matematis hubungan arus – kecepatan – kepadatan pada ruas jalan Tol Jagorawi Km 19+600 berdasarkan Model *Greenshields* dan Model *Underwood*. Metode pengumpulan data kecepatan dan arus lalu lintas kepadatan didapatkan dari hubungan arus, kecepatan dan kepadatan melalui video CCTV pada periode pagi hari pukul 06.00 – 12.00. Hasil analisis model matematis hubungan kecepatan dan kepadatan arah Bogor – Jakarta yang terbaik adalah Model *Greenshield* adalah  $68,59 - 0,1163D$  sehingga diperoleh  $Q_{maks} = 10118$  smp/jam, dan  $U_m = 34,295$  km/jam, dan  $D_m = 295,018$  smp/km. Demikian juga arah Jakarta menuju Bogor menggunakan Model *Greenshield* diperoleh  $Q_{maks} = 9265$  smp/jam,  $U_m = 32,695$  km/jam, dan  $D_m = 283,385$  smp/km. Hasil analisis model matematis hubungan kecepatan dan kepadatan arah Jakarta – Bogor untuk Model *Greenshield* adalah  $67,39 - 0,1189D$  sehingga diperoleh  $Q_{maks} = 9.265$  smp/jam, dan  $U_m = 32,695$  km/jam, dan  $D_m = 283,385$  smp/km. Derajat kejenuhan arah Bogor – Jakarta tertinggi terjadi pada periode pukul 06.00 – 07.00 yaitu sebesar 0,97. Sedangkan untuk arah Jakarta – Bogor tertinggi terjadi pada periode pukul 11.00 – 12.00 yaitu sebesar 0,95.

Kata Kunci: Arus, Kecepatan, Kepadatan, Model *Greenshields*, Model *Underwood*

### *Abstract*

*This study aims to determine the mathematical model of the flow - speed - density relationship on the Jagorawi Toll Road Km 19 + 600 based on the Greenshields Model and the Underwood Model. The method of collecting data on traffic speed and density is obtained from the relationship between flow, speed and density through cctv video in the morning period at 06.00 - 12.00. The results of the analysis of the mathematical model of the relationship between speed and density in the direction of Bogor - Jakarta the best is the Greenshield Model is  $68.59 - 0.1163D$  so as to obtain  $Q_{max} = 10118$  smp / hour, and  $U_m = 34.295$  km / hour, and  $D_m = 295.018$  smp / km. Likewise, the direction of Jakarta to Bogor using the Greenshield Model obtained  $Q_{max} = 9265$  smp / hour,  $U_m = 32.695$  km / hour, and  $D_m = 283.385$  smp / km. The results of the mathematical model analysis of the speed and density relationship in the Jakarta - Bogor direction for the Greenshield Model are  $67.39 - 0.1189D$  so that  $Q_{max} = 9,265$  smp / hour, and  $U_m = 32.695$  km / hour, and  $D_m = 283.385$  smp / km. The highest degree of saturation of the Bogor - Jakarta direction occurred in the period 06.00 - 07.00 which amounted to 0.97. While for the direction of Jakarta - Bogor the highest occurred in the period at 11:00 - 12:00 which amounted to 0.95.*

*Keywords: Flow, Speed, Density, Greenshields Model, Underwood Model.*

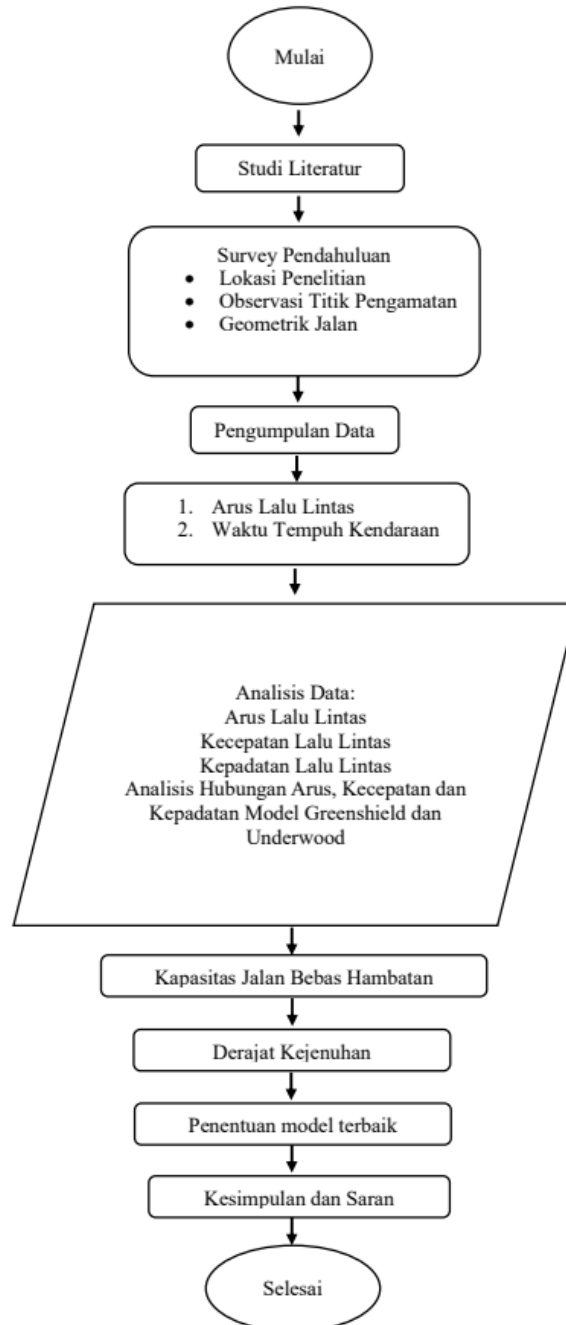
### **PENDAHULUAN**

Karakteristik arus lalu lintas adalah faktor-faktor yang digunakan untuk menggambarkan dan menganalisis aliran kendaraan di jalan raya. Arus lalu lintas mengacu pada jumlah kendaraan yang melewati suatu titik dalam jangka waktu tertentu. Model matematis digunakan untuk menggambarkan hubungan antara karakteristik arus lalu lintas. Model *greenshield* untuk mengasumsikan hubungan linier antara arus, kecepatan dan kepadatan lalu lintas. Model ini memperhitungkan adanya kecepatan maksimum yang dapat dicapai oleh kendaraan pada tingkat arus tertentu. Dan operasi jalan bertujuan memahami karakteristik arus lalu lintas, pihak berwenang dapat mengoptimalkan operasi jalan, seperti pengaturan lampu lalu lintas atau pengaturan kecepatan maksimum pada ruas jalan tertentu. Untuk merepresentasikan hubungan matematis antara arus, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas dengan Model *Greenshield* dan Model *Underwood*.

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Metode penelitian dalam penulisan penyusunan penulisan skripsi ini adalah menggunakan hasil observasi/pengamatan lapangan terkait dengan masalah yang ada, mengumpulkan data-data primer dengan melakukan pengamatan di lapangan dan pengumpulan data sekunder yang didapatkan pada

instansi terkait, setelah itu dilakukan pengolahan data dan analisis data dengan menggunakan metode analisis kuantitatif yaitu analisis arus, kecepatan dan kepadatan. Penelitian ini berlokasi di Jalan tol Jagorawi km 19+600 dengan panjang titik pengamatan 51 meter dan lebar jalan 3,75 meter per lajur. Untuk mempermudah pengamatan lokasi penelitian dilakukan pengukuran dengan acuan pohon cemara yang berada pada bahu Jalan Tol Bogor – Jakarta.



Gambar 1 *Flowchart* Metodologi Penelitian

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Kecepatan Lalu Lintas

Analisis kecepatan kendaraan dilakukan dengan jarak pengamatan 51 meter pada pukul 06.00 – 12.00 dengan periode 5 menit.

Kecepatan lalu lintas di dapatkan melalui waktu tempuh kendaraan yang melintasi titik awal dan titik akhir pengamatan.

Contoh perhitungan kecepatan kendaraan pada lajur 1 arah Bogor – Jakarta adalah sebagai berikut:

Waktu kendaraan melintasi titik awal pengamatan: 06.00.08

Waktu kendaraan melintasi titik akhir pengamatan: 06.00.12

Waktu tempuh = 06:00:12 (titik akhir Pengamatan) – 06:00:08 (titik awal pengamatan)

Waktu tempuh = 4 detik

Kecepatan =  $\frac{\text{Jarak Pengamatan}(km)}{\text{Waktu tempuh}(jam)}$

Jarak pengamatan = 51 meter

Kecepatan dikonversi (1 m/s = 3,6 km/jam)

Kecepatan =  $\frac{51m}{(4detik)}$

Kecepatan = 12,75 m/s x 3,6 km/jam

Kecepatan = 45,90 km/jam

Perhitungan yang sama diterapkan pada setiap kendaraan yang melewati titik pengamatan.

Perhitungan kecepatan rata – rata dengan periode 06.00-06.05 (per 5 menit) untuk lajur 1 adalah sebagai berikut.

Kecepatan rata – rata =  $\frac{\text{Jumlah Kecepatan Kendaraan pada periode 5 menit}}{\text{Jumlah Kendaraan pada periode 5 menit}}$

Kecepatan rata – rata lajur 1 pada periode 06.00 – 06.05 =  $\frac{1483}{35}$

Kecepatan rata – rata lajur 1 pada periode 06.00 – 06.05 = 43 km/jam.

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk lajur 2, lajur 3 dan lajur 4. Kecepatan rata-rata periode pukul 06.00-06.05 adalah kecepatan rata-rata dari lajur 1, lajur2, lajur 3 dan lajur 4. Untuk seluruh hasil perhitungan kecepatan pada periode 5 menit pukul 06.00 – 12.00 arah Bogor – Jakarta.

### Arus Lalu Lintas

Arus lalu lintas diperoleh dengan cara menghitung jumlah kendaraan dan golongan kendaraan yang melintasi titik pengamatan pada pukul 06.00 – 12.00 dengan periode 5 menit. Dari hasil pengamatan tersebut diperoleh data arus lalu lintas Jalan Tol Jagorawi km 19+600. Berikut jumlah golongan kendaraan pada tiap lajur arah Bogor – Jakarta pukul 06.00 -07.00. Untuk jumlah kendaraan pada pukul 06 -12.00 arah Bogor – Jakarta dan Jakarta – Bogor terdapat pada Lampiran.

Tabel 1 Golongan kendaraan pada lajur 1 Pukul 06.00 – 07.00 arah Bogor Jakarta

| lajur 1    |     | lajur 2    |     | lajur 3    |      | lajur 4    |      | Jumlah |
|------------|-----|------------|-----|------------|------|------------|------|--------|
| Golongan 1 | 84  | Golongan 1 | 447 | Golongan 1 | 1922 | Golongan 1 | 2165 | 4618   |
| Golongan 2 | 801 | Golongan 2 | 663 | Golongan 2 | 189  | Golongan 2 | 35   | 1688   |
| Golongan 3 | 114 | Golongan 3 | 202 | Golongan 3 | 8    | Golongan 3 | 12   | 336    |
| Golongan 4 | 173 | Golongan 4 | 48  | Golongan 4 | 2    | Golongan 4 | 0    | 223    |
| Golongan 5 | 49  | Golongan 5 | 4   | Golongan 5 | 2    | Golongan 5 | 0    | 55     |

Kemudian dihitung total golongan kendaraan dari tabel di atas.

Total Kendaraan = Golongan 1 + Golongan 2 + Golongan 3 + Golongan 4 + Golongan 5

Total Kendaraan = 4618 + 1688 + 336 + 223 + 55

Total Kendaraan = 6920 kendaraan/jam

Jumlah golongan kendaraan untuk seluruh lajur pada pukul 06.00 – 12.00 arah Bogor – Jakarta disajikan pada tabel di bawah:

Tabel 2 Jumlah Kendaraan Pada Arah Bogor – Jakarta

| Waktu       | Golongan 1 | Golongan 2 | Golongan 3 | Golongan 4 | Golongan 5 | Jumlah Kendaraan |
|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------|
| 06.00-07.00 | 4618       | 1688       | 336        | 223        | 55         | 6920             |
| 07.00-08.00 | 4328       | 357        | 82         | 18         | 6          | 4791             |
| 08.00-09.00 | 3700       | 502        | 104        | 4          | 13         | 4323             |
| 09.00-10.00 | 4267       | 911        | 191        | 65         | 17         | 5451             |
| 10.00-11.00 | 3646       | 774        | 180        | 46         | 21         | 4667             |
| 11.00-12.00 | 4295       | 939        | 63         | 13         | 0          | 5310             |

Ekuivalen mobil penumpang (EMP) ditentukan oleh jumlah kendaraan per arah per jam. Dari tabel di atas jumlah kendaraan perjam pada periode pukul 06.00 – 12.00 > 3250 kendaraan/jam baik untuk arah Bogor – Jakarta maupun arah Jakarta – Bogor.

Konversi arus lalu lintas dalam satuan kendaraan ke satuan mobil penumpang (smp)

Emp Golongan 1 = 1,0

Emp Golongan 2 = 2,0

Emp Golongan 3 = 3,3

Emp Golongan 4 = 3,3

Emp Golongan 5 = 3,3

Arus lalu lintas pada lajur 1 periode pukul 06.00-06.05 adalah 67,8 smp/5 menit. Konversi arus lalu lintas menjadi satuan smp/jam adalah sebagai berikut:

$$\text{Arus lalu lintas} = \text{Total EMP} \frac{60 \text{ menit}}{5 \text{ menit}}$$

$$\text{Arus lalu lintas} = 67,8 \times 12$$

$$\text{Arus lalu lintas} = 814 \text{ smp/jam}$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk lajur 2, lajur 3 dan lajur 4 pada periode 06.00 – 06.05 sehingga didapat Q total = 4928 smp/jam.

### Kepadatan Lalu Lintas

Hasil analisis perhitungan kepadatan lalu lintas pada ruas Jalan Tol Jagorawi km 19+600 diperoleh dari hasil pembagian arus lalu dengan kecepatan kendaraan. Sebagai contoh perhitungan kepadatan periode 5 menit pada pukul 06.00 – 06.05 arah Bogor – Jakarta:

$$D = \frac{Q \text{ Arus Kendaraan Periode 5 menit}}{U \text{ Kecepatan Kendaraan Periode 5 menit}}$$

$$D = \frac{4928}{53}$$

$$D = 93 \text{ smp/kam (perhitungan kepadatan periode waktu 06.00 – 06.05)}$$

Dimana.

D = Kepadatan kendaraan

Q = Arus kendaraan

U = Kecepatan Kendaraan

### Hubungan Arus – Kecepatan – Kepadatan

Hasil pemilahan terhadap data yang menyimpang (*outlier*) hanya 24 data yang dapat digunakan untuk masing-masing arah seperti disajikan pada Tabel di bawah.

Tabel 3 Hasil Pemilahan Terhadap Data yang Menyimpang (*Outlier*)

| Data Arus, Kecepatan dan Kepadatan Arah Bogor – Jakarta |                  |                      |                      | Data Arus Kecepatan dan Kepadatan Arah Jakarta – Bogor |                  |                      |                      |
|---|------------------|----------------------|----------------------|--|------------------|----------------------|----------------------|
| No  | Arus (Q) smp/jam | Kepadatan (D) smp/km | Kecepatan (U) km/jam | No   | Arus (Q) smp/jam | Kepadatan (D) smp/km | Kecepatan (U) km/jam |
| 1   | 4435             | 71                   | 62                   | 1  | 4667             | 80                   | 58                   |
| 2   | 4432             | 75                   | 59                   | 2  | 4691             | 80                   | 58                   |
| 3   | 4703             | 80                   | 58                   | 3  | 4793             | 83                   | 58                   |
| 4   | 4902             | 81                   | 61                   | 4  | 4808             | 83                   | 58                   |
| 5   | 4936             | 85                   | 58                   | 5  | 4756             | 83                   | 57                   |
| 6   | 5076             | 88                   | 58                   | 6  | 4768             | 84                   | 57                   |
| 7   | 5231             | 92                   | 57                   | 7  | 4768             | 84                   | 57                   |
| 8   | 5405             | 93                   | 58                   | 8  | 4992             | 86                   | 58                   |
| 9   | 5620             | 96                   | 58                   | 9  | 4921             | 86                   | 57                   |
| 10  | 5465             | 97                   | 56                   | 10   | 5078             | 87                   | 58                   |
| 11  | 5626             | 98                   | 57                   | 11   | 5112             | 89                   | 58                   |
| 12  | 5704             | 99                   | 57                   | 12   | 5094             | 91                   | 56                   |
| 13  | 6157             | 107                  | 58                   | 13   | 5298             | 93                   | 57                   |
| 14  | 5944             | 111                  | 53                   | 14   | 5170             | 93                   | 56                   |
| 15  | 6499             | 114                  | 57                   | 15   | 5513             | 98                   | 56                   |
| 16  | 6754             | 119                  | 57                   | 16   | 5573             | 99                   | 56                   |
| 17  | 6725             | 121                  | 55                   | 17   | 5612             | 100                  | 56                   |
| 18  | 7091             | 129                  | 55                   | 18   | 5635             | 103                  | 55                   |
| 19  | 6535             | 129                  | 51                   | 19   | 5881             | 110                  | 53                   |
| 20  | 6583             | 130                  | 51                   | 20   | 5968             | 112                  | 53                   |
| 21  | 6607             | 131                  | 51                   | 21   | 5968             | 113                  | 53                   |
| 22  | 7922             | 148                  | 54                   | 22   | 6535             | 113                  | 51                   |
| 23  | 7835             | 154                  | 51                   | 23   | 7835             | 154                  | 51                   |
| 24  | 8568             | 173                  | 50                   | 24   | 9377             | 154                  | 50                   |
| Σ   | 144752           | 2623                 | 1341                 | Σ  | 132811           | 2359,74              | 1337                 |

### Hubungan Kecepatan – Kepadatan

#### a. Model Greenshield

Persamaan model kecepatan dan kepadatan yang dikembangkan oleh *Greenshield* adalah sebagai berikut:

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

Dimana:

U = Kecepatan (km/jam)

U<sub>f</sub> = kecepatan *free flow* (maksimum) (km/jam)

D<sub>j</sub> = Kepadatan pada kondisi arus macet total (smp/km)

D = Kepadatan (smp/km)

Memperhatikan rumus di atas, hubungan kecepatan kepadatan merupakan suatu persamaan linear  $Y = a + bX$ , di mana  $Y = U$ ,  $a = U_f$ ,  $b = (U_f/D_j)$ ,  $X = D$ .

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{\sum Y - b(\sum X)}{n}$$

Nilai a dan b pada ruas Jalan Tol Jagorawi km 19+600 arah Bogor – Jakarta dapat dihitung menggunakan rumus.

$$b = \frac{24.144752,2 - 2623.1341}{24.302667 - 6881302}$$

$$b = -0,1163$$

$$a = \frac{1341 - (-0,1163).2623}{24}$$

$$a = 68,59$$

Nilai koefisien korelasi (r) dan determinasi ( $r^2$ ) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2] \cdot [n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

$$r = \frac{24.144752,20 - 2623.1341}{\sqrt{[24.302667 - (2623)^2] \cdot [24.75240 - (1341)^2]}}$$

$$r = -0,81$$

Maka korelasi -0,81 menunjukkan bahwa kepadatan dan kecepatan berkorelasi linear negatif dan sangat tinggi, hal ini mengindikasikan bahwa kedua variabel memiliki hubungan yang sangat erat.

$$r^2 = 0,65$$

Maka determinasi 0,65 menunjukkan bahwa sebesar 65% variasi total nilai kecepatan yang dapat dijelaskan oleh nilai kepadatan melalui hubungan linear.

Persamaan hubungan antara kecepatan – kepadatan sebagai berikut arah Bogor – Jakarta:

$$U = a + b.D$$

$$U = 68,59 - 0,1163D$$

Maka diperoleh Qmaks:

$$a = Uf = 68,59 \text{ km/jam}$$

$$U_m = Uf/2$$

$$U_m = 68,59/2$$

$$U_m = 34,295 \text{ km/jam}$$

$$D_j = -\frac{Uf}{D} = 589,76 \text{ smp/km}$$

$$D_j = -\frac{68,59}{-0,1163} = 590,036 \text{ smp/km}$$

$$D_m = D_j/2$$

$$D_m = 295,018 \text{ smp/km}$$

$$Q_{maks} (\text{Kapasitas}) = U_m \cdot D_m$$

$$Q_{maks} (\text{Kapasitas}) = 10.118 \text{ smp/jam (arah Bogor – Jakarta)}$$

Nilai a dan b pada ruas Jalan Tol Jagorawi km 19+600 arah Jakarta – Bogor dapat dihitung menggunakan rumus.

$$b = \frac{24.130305 - 2360.1337}{24.241526 - 5568365,9}$$

$$b = -0,1189$$

$$a = \frac{1337 - (-0,1189).2360}{24}$$

$$a = 67,39$$

Nilai koefisien korelasi (r) dan determinasi ( $r^2$ ) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2] \cdot [n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

$$r = \frac{24 \times 130304,805 - 2359,739 \times 1336,77}{\sqrt{[24 \times 241526 - (2359,739)^2] \cdot [24 \times 74616 - (1336,77)^2]}}$$

$$r = -0,92$$

Maka korelasi  $-0,92$  menunjukkan bahwa kepadatan dan kecepatan berkorelasi linear negatif dan sangat tinggi, hal ini mengindikasikan bahwa kedua variabel memiliki hubungan yang sangat erat.

$$r^2 = 0,85$$

Maka determinasi  $0,85$  menunjukkan bahwa sebesar  $85\%$  variasi total nilai kecepatan yang dapat dijelaskan oleh nilai kepadatan melalui hubungan linear.

Persamaan hubungan antara kecepatan – kepadatan sebagai berikut arah Jakarta – Bogor:

$$U = a + b.D$$

$$U = 67,39 - 0,1189D$$

Maka diperoleh  $Q_{maks}$ :

$$a = U_f = 67,39 \text{ km/jam}$$

$$U_m = U_f/2$$

$$U_m = 67,39/2$$

$$U_m = 32,695 \text{ km/jam}$$

$$D_j = -\frac{U_f}{D}$$

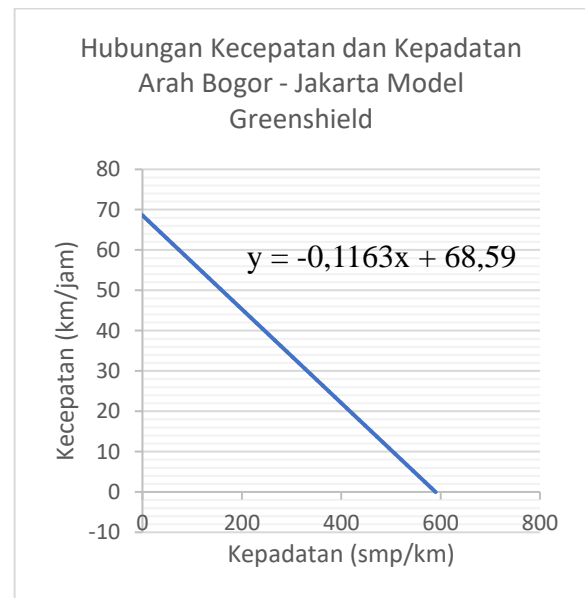
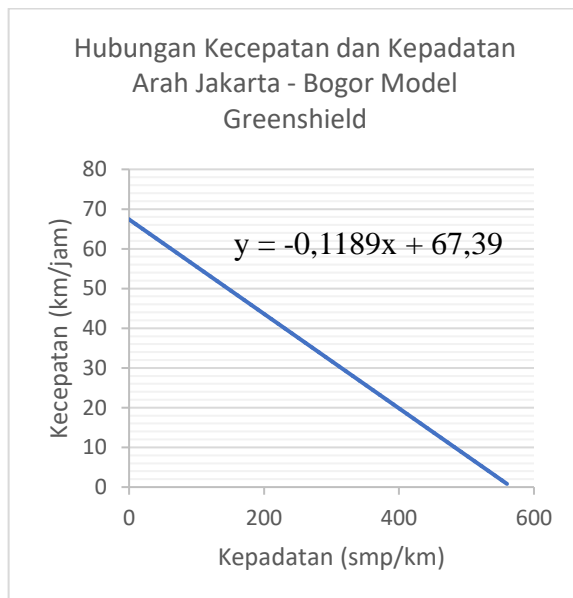
$$D_j = -\frac{67,39}{-0,1189} = 566,77 \text{ smp/km}$$

$$D_m = D_j/2$$

$$D_m = 283,385 \text{ smp/km}$$

$$Q_{maks} (\text{Kapasitas}) = U_m.D_m$$

$$Q_{maks} (\text{Kapasitas}) = 9265 \text{ smp/jam (arah Jakarta – Bogor)}$$



b. Model *Underwood*

Persamaan model kecepatan dan kepadatan yang dikembangkan oleh *Underwood* adalah sebagai berikut:

$$\ln U = Uf \cdot \exp^{-D/Dm}$$

Untuk mendapatkan konstanta  $Uf$  dan  $Dm$ , persamaan rumus diatas diubah menjadi persamaan linier.

$$Y = a + bX$$

Dimana  $Y = \ln U$ ,  $a = \ln Uf$ ,  $b = -1/Dm$ ,  $X = D$

Nilai  $a$  dan  $b$  dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{\sum Y - b(\sum X)}{n}$$

Nilai  $a$  dan  $b$  pada ruas Jalan Tol Jagorawi km 19+600 arah Bogor – Jakarta dapat dihitung menggunakan rumus.

$$b = \frac{24.10516 - 2623.22.96,515}{24.302667 - 6881301}$$

$$b = -0,0021$$

$$a = \frac{96,515 - (-0,0021).2623,22}{24}$$

$$a = 4,252$$

Nilai koefisien korelasi ( $r$ ) dan determinasi ( $r^2$ ) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2] \cdot [n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

$$r = \frac{24 \times 10516 - 2623 \times 96,515}{\sqrt{[24 \times 302667 - (2623)^2] \cdot [24 \times 388,223 - (96,515)^2]}}$$

$$r = -0,84$$

Maka korelasi  $-0,84$  menunjukkan bahwa kepadatan dan kecepatan berkorelasi linear negatif dan sangat tinggi, hal ini mengindikasikan bahwa kedua variabel memiliki hubungan yang sangat erat.

$$r^2 = 0,70$$

Maka determinasi  $0,70$  menunjukkan bahwa sebesar  $70\%$  variasi total nilai kecepatan yang dapat dijelaskan oleh nilai kepadatan melalui hubungan linear.

Persamaan hubungan antara kecepatan – kepadatan sebagai berikut arah Bogor – Jakarta:

$$U = Uf \cdot e^{-\frac{D}{Dm}}$$

Dengan menggunakan nilai  $a = 4,252$  dan  $b = -0,0021$  dihasilkan nilai  $Dm = \frac{1}{0,0021} = 476,19$  smp/km dan  $Uf = e^{4,252} = 70,25$  km/jam.

Persamaan hubungan kecepatan – kepadatan menurut *underwood* menjadi

$$U = 70,25 e^{-D/476,19}$$

Maka diperoleh  $Q_{maks}$ :

$$Q_{maks} \text{ kapasitas} = Dm \cdot Uf / e^{-1}$$

$$Q_{maks} \text{ kapasitas} = 476,19 \cdot 70,25 / e^{-1}$$

$$Q_{maks} \text{ kapasitas} = 12306 \text{ smp/jam (arah Bogor – Jakarta)}$$

Nilai  $a$  dan  $b$  pada ruas Jalan Tol Jagorawi km 19+600 arah Jakarta – Bogor dapat dihitung menggunakan rumus.

$$b = \frac{24.9659 - 2410.1337}{24.257136 - 5807521}$$





Selanjutnya, hubungan matematis antara arus dengan kecepatan dapat diturunkan menggunakan persamaan dasar  $Q = D \cdot \bar{U}s$ , dan dengan memasukkan persamaan  $D = Q/\bar{U}s$  maka bisa didapatkan persamaan berikut arah Bogor – Jakarta:

$$Q = Dj \cdot U - \frac{Dj}{Uf} \cdot U^2 \text{ (Hubungan antara arus -kecepatan)}$$

$$Q = U (589,76 - 8,598 U)$$

$$Q = 589,76U - 8,598U^2 \text{ (Hubungan antara arus -kecepatan)}$$

Hubungan arus kecepatan arah Jakarta – Bogor dihasilkan:

$$a = Uf = 67,39 \text{ km/jam}$$

$$Dj = -\frac{Uf}{D}$$

$$Dj = -\frac{67,39}{-0,1189} = 566,77 \text{ smp/km.}$$

Selanjutnya, hubungan matematis antara arus dengan kecepatan dapat diturunkan menggunakan persamaan dasar  $Q = D \cdot \bar{U}s$ , dan dengan memasukkan persamaan  $D = Q/\bar{U}s$  maka bisa didapatkan persamaan berikut arah Bogor – Jakarta:

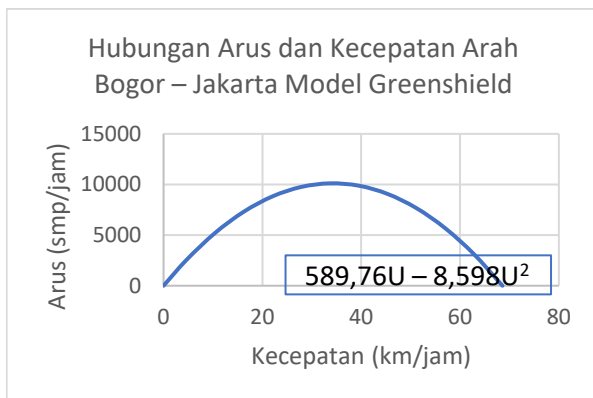
$$Q = Dj \cdot U - \frac{Dj}{Uf} \cdot U^2 \text{ (Hubungan antara arus -kecepatan)}$$

$$Q = U (566,77 - 8,598 U)$$

$$Q = 566,77U - 8,598U^2$$

Hubungan arus dan Kecepatan arah Jakarta – Bogor.

$$Q = 566,77U - 8,410U^2$$



#### b. Model Underwood

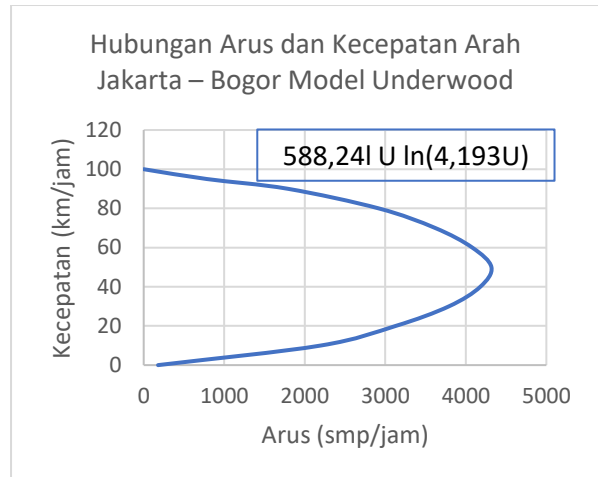
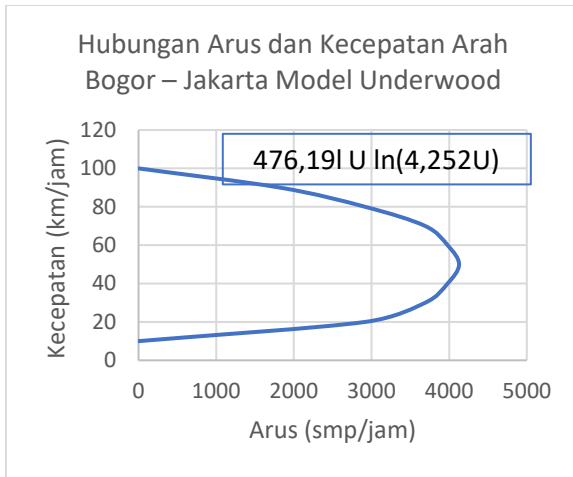
Dengan menggunakan nilai  $a = 4,252$  dan  $b = -0,0021$  dihasilkan nilai  $Dm = \frac{1}{0,0021} = 476,19 \text{ smp/km}$  dan  $Uf = e^{4,252} = 70,25 \text{ km/jam}$ . Selanjutnya, hubungan matematis antara arus dengan kecepatan dapat diturunkan menggunakan persamaan dasar  $Q = D \cdot \bar{U}s$ , dan dengan memasukkan persamaan  $D = Q/\bar{U}s$  maka bisa didapatkan persamaan berikut arah Bogor – Jakarta:

$$Q = Dm \cdot \bar{U}s \cdot (\ln Uf - \ln \bar{U}s) \text{ (Hubungan antara arus -kecepatan)}$$

$$Q = 476,191 U \ln(4,252U)$$

Dengan menggunakan nilai  $a = 4,252$  dan  $b = -0,0021$  dihasilkan nilai  $Dm = \frac{1}{0,0017} = 588,23 \text{ smp/km}$  dan  $Uf = e^{4,193} = 66,22 \text{ km/jam}$ . Selanjutnya, hubungan matematis antara arus dengan kecepatan dapat diturunkan menggunakan persamaan dasar  $Q = D \cdot \bar{U}s$ , dan dengan memasukkan persamaan  $D = Q/\bar{U}s$  maka bisa didapatkan persamaan berikut arah Jakarta – Bogor.

$$Q = 588,241 U \ln(4,193U)$$



### Hubungan Arus – Kepadatan

#### a. Model Greenshield

Selanjutnya, hubungan matematis antara arus dengan kepadatan dapat diturunkan dengan menggunakan persamaan dasar  $Q = D.U$ . Berikut hubungan arus kepadatan arah Bogor – Jakarta.

$$Q = Uf \cdot D - \frac{Uf}{D_j} D^2$$

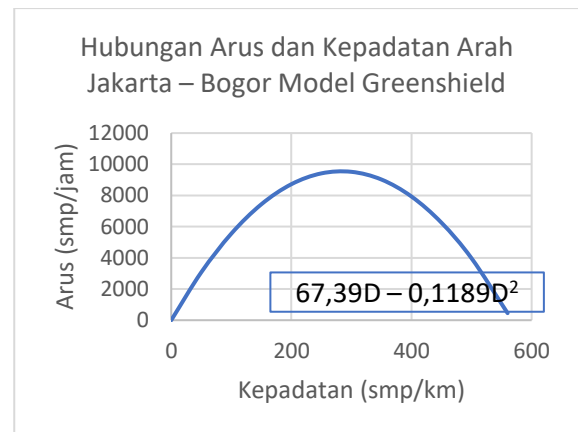
$$Q = (68,59D - 0,1163D) D$$

$$Q = 68,59D - 0,1163D^2$$

Hubungan arus dan kepadatan arah Jakarta – Bogor.

$$Q = (68,59D - 0,1163D) D$$

$$Q = 68,59D - 0,1163D^2$$



#### b. Model Underwood

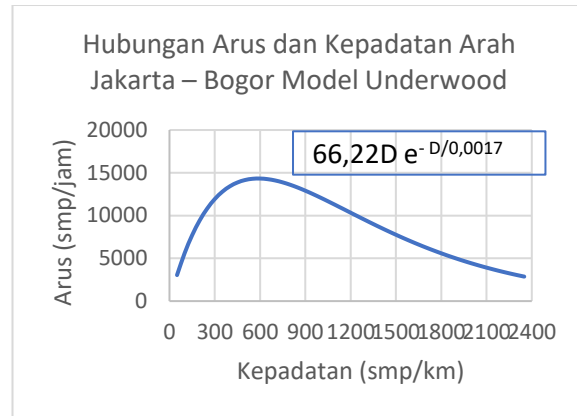
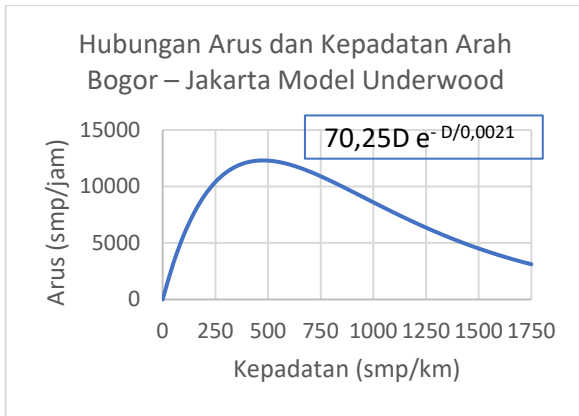
Selanjutnya, hubungan matematis antara arus dengan kepadatan dapat diturunkan dengan menggunakan persamaan dasar  $Q = D.U$ . Berikut hubungan arus dan kepadatan arah Bogor – Jakarta.

$$Q = Uf D \cdot e^{-\frac{D}{D_m}} \text{ (Hubungan antara arus -kepadatan)}$$

$$Q = 70,25D e^{-D/0,0021}$$

Hubungan arus dan kepadatan arah Jakarta – Bogor.

$$Q = 66,22D e^{-D/0,0017}$$



### Kapasitas Jalan

#### a. Kapasitas Jalan Menurut PKJI 2022

Tipe jalan Tol Jagorawi km 19+600 adalah 8 lajur 2 arah terbagi dengan tipe aliyemen datar. Kapasitas dasar untuk tipe aliyemen datar menurut PKJI 2023 adalah 2500 smp/jam/lajur. Jumlah lajur lalu lintas segmen jalan tol Jagorawi Km 19+600 Bogor – Jakarta dan Jakarta – Bogor yaitu 8 lajur 2 arah terbagi. Lebar per lajur adalah 3,75 m sehingga digunakan  $FC_{LE} = 1,03$ .

Kapasitas jalan tol Jagorawi Km 19+600 Bogor – Jakarta dan Jakarta – Bogor untuk masing-masing arah adalah:

$$C = C_0 \times FC_{LE}$$

$$C_0 = 2500 \times 4 \text{ (Jumlah Lajur Arah Bogor – Jakarta)}$$

$$= 10000 \text{ smp/jam}$$

$$FC_{LE} = 1,03$$

$$C = 10000 \text{ smp/jam} \times 1,03$$

$$C = 10300 \text{ smp/jam}$$

#### b. Pemilihan Model Arus – Kecepatan – Kepadatan

##### 1. Perhitungan kapasitas Model *Greenshield*:

$$Q_{\text{maks Kapasitas}} = U_m \times D_m$$

Dimana

$Q_{\text{maks kapasitas}}$  : arus maksimum

$U_m$ : Kecepatan pada saat volume maksimum (km/jam)

$D_m$ : Kepadatan maksimum (smp/km)

- Arah Bogor – Jakarta:  
 $Q_{\text{maks Kapasitas}} = 295,018 \times 34,295$   
 $Q_{\text{maks Kapasitas}} = 10.118 \text{ smp/jam}$
- Arah Jakarta – Bogor:  
 $Q_{\text{maks Kapasitas}} = 283,385 \times 32,695$   
 $Q_{\text{maks Kapasitas}} = 9265 \text{ smp/jam}$

##### 2. Perhitungan kapasitas Model *Underwood*:

$$Q_{\text{max kapasitas}} = D_m \times U_f / e^{-1}$$

Dimana

$D_m$  = Kepadatan maksimum (smp/km)

$U_f$  = Kecepatan arus bebas (km/jam)

1. Arah Bogor – Jakarta:  
 $Q_{\text{max kapasitas}} = 476,19 \times 70,25 / e^{-1}$   
 $Q_{\text{max kapasitas}} = 12306 \text{ smp/jam}$
2. Arah Jakarta – Bogor:  
 $Q_{\text{max kapasitas}} = 588,23 \times 66,22 / e^{-1}$   
 $Q_{\text{max kapasitas}} = 14330 \text{ smp/jam}$

Contoh perhitungan selisih kapasitas PKJI dengan model *Greenshield* dan *Underwood* arah Bogor – Jakarta.

$$\text{Selisih absolut (\%)} = \frac{\text{kapasitas model matematis} - \text{kapasitas pkji}}{\text{kapasitas pkji}} \times 100\%$$

$$\text{Selisih Greenshield arah Bogor – Jakarta} = \frac{10118 - 10300}{10300} \times 100\% = 2\%$$

$$\text{Selisih Greenshield arah Jakarta – Bogor} = \frac{9265 - 10300}{10300} \times 100\% = -10\%$$

$$\text{Selisih Underwood arah Bogor – Jakarta} = \frac{12306 - 10300}{10300} \times 100\% = 19\%$$

$$\text{Selisih Underwood arah Jakarta – Bogor} = \frac{14330 - 10300}{10300} \times 100\% = 39\%$$

Dari hasil analisis perhitungan didapat kapasitas maksimum = 10300 smp/jam dalam pedoman PKJI. Maka pemilihan model matematis dengan selisih kapasitas maksimum yang paling mendekati dengan nilai PKJI adalah *Greenshield*.

### Derajat Kejenuhan

#### 1. Derajat Kejenuhan Bogor – Jakarta

Derajat kejenuhan pada Jalan Tol Jagorawi Km 19+600 arah Bogor – Jakarta di hitung berdasarkan periode waktu per jam. Jam sibuk untuk arah Bogor – Jakarta terjadi pada pukul 06.00 – 07.00 dengan arus lalu lintas sebesar 10020 smp/jam.

Derajat kejenuhan dengan menggunakan rumus.

$$D_s = Q/C$$

$$C = C_o \times FC_{LE}$$

$$C_o = 2500 \times 4 \text{ (Jumlah Lajur Arah Bogor – Jakarta)} \\ = 10000 \text{ smp/jam}$$

$$FC_{LE} = 1,03$$

$$C = 10000 \text{ smp/jam} \times 1,03$$

$$C = 10300 \text{ smp/jam}$$

$$D_s = 10020/10300$$

$$D_s = 0,97 \text{ (Pada jam puncak 06:00 – 07:00)}$$

#### 2. Derajat Kejenuhan Jakarta – Bogor

Derajat kejenuhan pada Jalan Tol Jagorawi Km 19+600 arah Bogor – Jakarta di hitung berdasarkan periode waktu per jam. Jam sibuk untuk arah Bogor – Jakarta terjadi pada pukul 11.00 – 12.00 dengan arus lalu lintas sebesar 9788 smp/jam.

Derajat kejenuhan dengan menggunakan rumus.

Derajat kejenuhan pada arus kendaraan Jalan Tol Jagorawi Km 19+600 arah Jakarta – Bogor di hitung berdasarkan periode waktu per jam. Derajat kejenuhan dengan menggunakan rumus.

$$D_s = Q/C$$

$$C = C_o \times FC_{LE}$$

$$C_o = 2500 \times 4 \text{ (Jumlah Lajur Arah Jakarta – Bogor)} \\ = 10000 \text{ smp/jam}$$

$$FC_{LE} = 1,03$$

$$C = 10000 \text{ smp/jam} \times 1,03$$

$$C = 10300 \text{ smp/jam}$$

$$D_s = 9788/10300$$

$$D_s = 0,95 \text{ (Pada jam puncak 11:00 – 12:00)}$$

### KESIMPULAN

1. Model karakteristik hubungan arus, kecepatan dan kepadatan lalu lintas pada ruas Jalan Tol Jagorawi km 19+600 arah Bogor – Jakarta yang terbaik adalah Model *Greenshield* dengan persamaan  $68,59 - 0,1163D$  diperoleh nilai kapasitas sebesar 10.118 smp/jam. Untuk Arah Jakarta-

Bogor yang terbaik adalah Model *Greenshield* dengan persamaan  $67,39 - 0,1189D$  diperoleh nilai kapasitas sebesar 9.265 smp/jam.

2. Derajat kejenuhan arah Bogor – Jakarta tertinggi terjadi pada periode pukul 06.00 – 07.00 yaitu sebesar 0,97. Sedangkan untuk arah Jakarta – Bogor tertinggi terjadi pada periode pukul 11.00 – 12.00 yaitu sebesar 0,95.

#### **SARAN**

Untuk lebih detail dalam pengamatan waktu tempuh dan golongan kendaraan didapatkan kecepatan dan arus kendaraan yang mendekati kondisi sebenarnya.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Adina Sari Lubis, Z. A. (2016). Media Komunikasi Teknik Sipil. *Pemodelan Hubungan Parameter Karakteristik Lalu Lintas*, 1-9.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2022). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta: PUPR.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2023). *Badan Pengatur Jalan Tol*. Diambil kembali dari Jalan Tol: <https://bpjt.pu.go.id/konten/jalan-tol/tujuan-dan-manfaat>
- Pustaka, G. (2013). *Galeri Pustaka*. Diambil kembali dari Arus Lalu Lintas: <http://www.galeripustaka.com/2013/05/jenis-arus-lalu-lintas.html>.
- Redi Aditya Yulianto, A. M. (2017). *PENENTUAN KAPASITAS JALAN BEBAS HAMBATAN*, 1-9.
- Tamin, O. Z. (2003). *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Bandung: ITB