

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jalan Luar Kota

Berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, segmen jalan luar kota tidak memiliki perkembangan yang menerus pada sisi jalan manapun, meskipun terdapat perkembangan permanen yang sebentar-sebentar terjadi, seperti rumah makan, pabrik, atau perkampungan, dengan catatan bahwa kios kecil dan kedai yang berada pada sisi jalan bukan merupakan jenis perkembangan permanen. Dibandingkan dengan jalan perkotaan atau semi perkotaan, karakteristik arus lalu lintas puncak secara umum tidak terjadi pada pagi dan sore hari.

Untuk tipe jalan dua lajur dua arah tak terbagi (2/2 UD), keadaan dasar dari tipe jalan ini menurut kriteria jalan luar kota adalah sebagai berikut (MKJI, 1997):

- a. Lebar jalur lalu lintas efektif adalah 7 meter
- b. Lebar efektif bahu 1,5 m pada masing-masing sisi (bahu tak diperkeras, tidak sesuai untuk lintasan kendaraan bermotor)
- c. Tidak ada median
- d. Pemisahan arah lalu lintas 50 – 50
- e. Tipe alinyemen: Datar
- f. Guna lahan: tidak ada pengembangan samping jalan
- g. Kelas hambatan samping: Rendah (L)
- h. Kelas jarak pandang: A

2.2 Karakteristik Arus Lalu Lintas

Dalam arus lalu lintas, terjadi interaksi antara pengendara, kendaraan, dan kondisi jalan. Interaksi yang terjadi melibatkan beberapa elemen-elemen dasar dalam arus lalu lintas, di antaranya kecepatan (*speed*), volume dan kepadatan lalu lintas (*density*). Analisis yang melibatkan tiga komponen tersebut merupakan analisis secara makroskopik.

2.2.1 Kecepatan Lalu Lintas (*Speed*)

Kecepatan adalah jarak yang ditempuh persatuan waktu yang dipakai untuk melintasi jarak tersebut (km/jam). Berdasarkan MKJI (1997), Kecepatan tempuh didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata ruang dari kendaraan sepanjang segmen jalan. Kecepatan dirumuskan sebagai berikut:

$$V = L/TT \quad (2.1)$$

Dimana:

V = Kecepatan rata-rata kendaraan (km/jam)

L = Panjang Segmen (km)

TT = waktu tempuh rata-rata kendaraan sepanjang segmen, t_2-t_1 (jam)

2.2.2 Kecepatan Rata-Rata Ruang (*Space Mean Speed*)

Kecepatan rata-rata ruang atau sering disebut *Space Mean Speed* (SMS) merupakan kecepatan rata-rata harmonik dari kendaraan yang melintasi suatu titik tinjauan dan berada dalam ruas jalan pada waktu tertentu (Garber, 2009). Sederhananya, kecepatan yang diperoleh adalah kecepatan kendaraan yang menempati suatu penggalan ruas jalan berdasarkan durasi waktu tempuhnya dalam ruas tersebut. Untuk memperoleh besar SMS, digunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \bar{u}_s &= \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{u_i} \right)} \\ \bar{u}_s &= \frac{nL}{\sum_{i=1}^n t_i} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Dimana:

\bar{u}_s = *space mean speed*, (ft/sec, km/jam)

n = jumlah kendaraan yang ditinjau

t_i = durasi kendaraan ke-i menempuh penggalan ruas jalan, (jam)

\bar{u}_i = kecepatan kendaraan ke-i, (km/jam)

L = panjang ruas jalan yang ditinjau, (km)

2.2.3 Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas merupakan jumlah kendaraan yang melintasi suatu titik pengamatan dalam satu satuan waktu (hari, jam, menit) yang biasa dinyatakan dalam (kend/jam) atau (smp/jam) (Sukirman, 1994). Adapun persamaan untuk memperoleh volume lalu lintas adalah sebagai berikut (MKJI, 1997):

$$Q = \frac{N}{T} \quad (2.3)$$

Dimana:

- Q = Volume lalu lintas (kend/jam)
- N = Jumlah kendaraan yang melintas selama pengamatan (kend)
- T = Waktu pengamatan (jam)

Menurut MKJI (1997), nilai arus lalu-lintas (Q) mencerminkan komposisi lalu-lintas, dengan menyatakan arus dalam satuan mobil penumpang (smp). Semua nilai arus lalu-lintas (per arah dan total) dikonversikan menjadi satuan mobil penumpang (smp) dengan menggunakan ekivalensi mobil penumpang (emp).

2.2.4 Kepadatan Lalu Lintas (*Density*)

Kepadatan adalah jumlah kendaraan yang menempati suatu jalan per satuan panjang dalam waktu yang sama. Satuan yang digunakan dalam menyatakan kepadatan adalah setiap kendaraan yang berada dalam 1 mil (kend/mil, veh/mi) (Garber, 2009). Adapun persamaan yang digunakan dalam menentukan nilai kepadatan adalah sebagai berikut:

$$k = \frac{N}{L} \quad (2.4)$$

Dimana:

- k = Kepadatan arus lalu lintas, (kend/mil, kend/km)
- N = Jumlah kendaraan yang melintas, (kend)
- L = Panjang segmen jalan, (km, mil)

2.2.5 Space Headway

Jarak antara kendaraan atau *space headway* merupakan jarak yang diukur dari bagian depan suatu kendaraan ke bagian depan kendaraan berikutnya, baik

kendaraan di depan maupun di belakangnya dalam posisi beriringan dalam satu waktu yang sama. Menurut Rusdiansyah dan Nugroho (2006), *Space Headway* dapat menentukan kapan seorang pengemudi harus mengurangi kecepatan maupun mempercepat kendaraannya. Persamaan yang digunakan untuk mencari nilai *Space Headway* adalah sebagai berikut (Nugroho, 2010):

$$s = \frac{1000}{D} \quad (2.6)$$

Dimana:

- s = *Space Headway*, (m/smp)
 D = Kepadatan Kendaraan, (smp/km)

2.3 Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana (V_R) pada suatu ruas jalan adalah kecepatan yang dipilih sebagai dasar perencanaan geometrik jalan yang memungkinkan kendaraan-kendaraan bergerak dengan aman dan nyaman dalam kondisi cuaca yang cerah, lalu lintas yang lengang, dan pengaruh samping jalan yang tidak berarti. Dalam keadaan kondisi medan yang sulit, V_R suatu segmen jalan dapat mengalami perubahan dengan syarat bahwa penurunan tersebut tidak lebih dari 20 km/jam (Tata Perencanaan Geometrik Jalan Luar Kota, 1997). Nilai kecepatan rencana diperoleh menggunakan Tabel 2.7 berikut.

Tabel 2.1 Kecepatan Rencana

Fungsi	Kecepatan Rencana (V_R), (km/jam)		
	Datar	Bukit	Pegunungan
Arteri	70 - 120	60 - 80	40 - 70
Kolektor	60 - 90	50 - 60	30 - 50
Lokal	40 - 70	30 - 50	20 - 30

Sumber: *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Luar Kota (1997)*

2.4 Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan Lalu Lintas

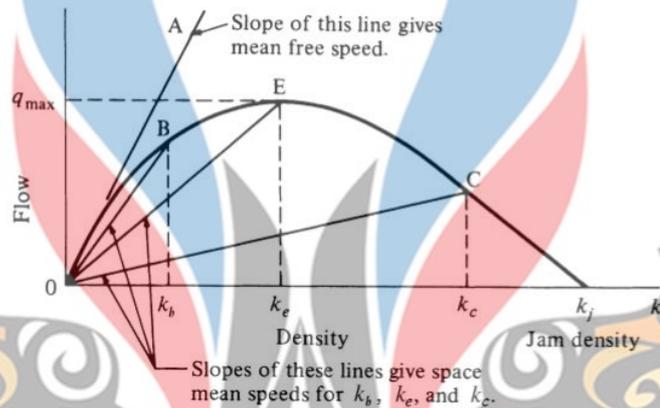
Hubungan antara volume, kecepatan dan kepadatan dalam lalu lintas adalah saling berkaitan satu sama lain. Hubungan tersebut terbagi atas 3 (tiga), hubungan volume – kepadatan, hubungan kecepatan – kepadatan, dan hubungan kecepatan –

volume dengan menggunakan persamaan matematis. Persamaan umum yang menyatakan hubungan arus, kepadatan dan kecepatan adalah sebagai berikut:

$$q = k \bar{u}_s \quad (2.7)$$

Dimana:

- q = Arus / Volume lalu lintas, (kend/jam)
 k = kepadatan lalu lintas, (kend/km)
 \bar{u}_s = *space mean speed*, (km/jam)



Gambar 2.1 Hubungan Arus (volume) dan Kepadatan

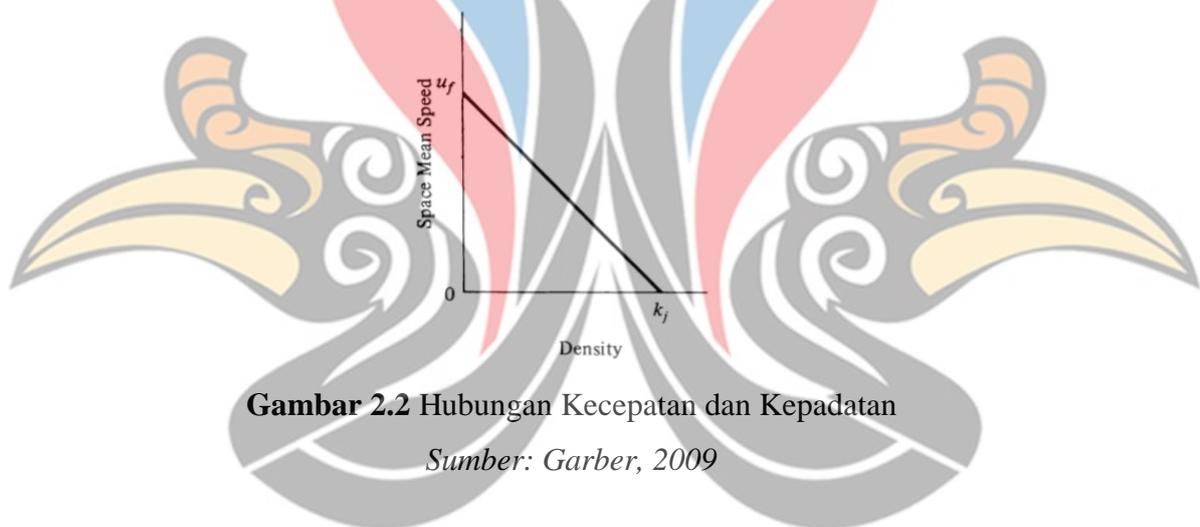
Sumber: Garber, 2009

Hubungan antara kepadatan (kend/mi) dan aliran lalu lintas (volume) yang sesuai di jalan raya umumnya disebut sebagai diagram fundamental arus lalu lintas. Teori berikut telah menggambarkan hubungan dengan bentuk kurva pada Gambar 2.1, bahwa hubungan ini (Garber, 2009):

- Ketika kepadatan di jalan raya adalah nol ($= 0$), maka volume/arus juga bernilai nol ($= 0$) karena seolah-olah tidak ada kendaraan di jalan raya.
- Saat kepadatan lalu lintas mengalami peningkatan, maka volume/arus juga akan meningkat. Pada saat tertentu, ketika kepadatan meningkat maka volume/arus menurun.
- Namun, ketika kepadatan mencapai maksimum, umumnya disebut sebagai kepadatan kondisi jenuh (k_j), maka volume/arus mendekati nol ($= 0$) karena kendaraan akan cenderung tidak dapat bergerak lagi.

Oleh karena itu ketika kepadatan meningkat dari nol ($= 0$), volume/arus awalnya juga akan meningkat dari nol ($= 0$) ke nilai maksimum. Peningkatan kepadatan yang terus menerus selanjutnya akan menyebabkan berkurangnya volume/arus secara kontinu, yang pada akhirnya akan menjadi nol ($= 0$) ketika kepadatannya sama dengan kepadatan kondisi jenuh.

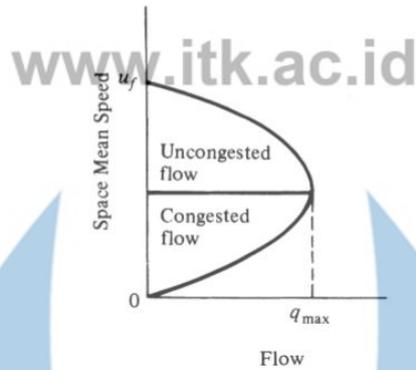
Dari Persamaan 2.7, diketahui bahwa kecepatan rata-rata ruang dihubungkan dengan kepadatan yang membuat kemiringan garis OB, OC, dan OE pada Gambar 2.1 mewakili kecepatan rata-rata ruang masing-masing pada kepadatan k_b , k_c , dan k_e . Kemiringan garis OA adalah kecepatan karena kerapatan cenderung ke 0 dan sedikit interaksi antara kendaraan. Kemiringan garis OE adalah kecepatan rata-rata ruang untuk arus maksimum. Arus maksimum ini adalah kapasitas jalan raya (Garber, 2009).



Gambar 2.2 Hubungan Kecepatan dan Kepadatan

Sumber: Garber, 2009

Besarnya kecepatan bebas rata-rata tergantung pada karakteristik fisik jalan raya. Berdasarkan Gambar 2.2, peningkatan volume/arus yang terus menerus akan menghasilkan penurunan kecepatan yang kontinu. Ketika kendaraan semakin bertambah, maka akan menghasilkan pengurangan jumlah kendaraan aktual yang melewati titik di segmen jalan (atau yang dimaksud, pengurangan volume/arus). Kondisi ini akan menghasilkan kemacetan, dan akhirnya kecepatan menjadi nol ($= 0$) (Garber, 2009).



Gambar 2.3 Hubungan Kecepatan dan Arus (volume)

Sumber: Garber, 2009

Hubungan mendasar antara kecepatan dan volume adalah dengan bertambahnya volume lalu lintas maka kecepatan rata-rata ruangnya akan berkurang sampai kepadatan kritis (volume maksimum) tercapai. Hubungan tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.3. Setelah kepadatan kritis tercapai, maka kecepatan rata-rata ruang dan volume akan berkurang. Lengan atas menunjukkan kondisi arus stabil dan lengan bawah menunjukkan kondisi arus padat (Julianto, 2010).

2.5 Model Hubungan Melalui Pendekatan Makroskopik

Pendekatan makroskopik adalah pendekatan yang mempertimbangkan arus lalu lintas dan pengembangan algoritma yang menghubungkan volume dengan kepadatan dan kecepatan rata-rata ruang (Garber, 2009). Dalam analisis melalui pendekatan makroskopik, digunakan 3 jenis model, yaitu model *Greenshields*, *Greenberg*, dan *Underwood*.

2.5.1 Model *Greenshields*

Menurut Julianto (2010), Model ini adalah model yang paling awal dalam upaya mengamati perilaku lalu lintas. *Greenshields* yang melakukan studi pada jalan-jalan di luar kota Ohio, dimana kondisi lalu lintas memenuhi syarat karena tanpa gangguan dan bergerak secara bebas (*steady state condition*). *Greenshields* mendapatkan hasil bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan bersifat linier. Model ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\bar{u}_s = u_f - \frac{u_f}{k_j} k \quad (2.8)$$

Dari persamaan tersebut dapat disampaikan bahwa \bar{u}_s adalah kecepatan rata-rata ruang (km/jam), u_f adalah kecepatan pada kondisi arus bebas (km/jam), k adalah kerapatan (smp/km), k_j adalah kerapatan kondisi jenuh/macet (smp/km) dan q adalah arus lalu lintas (smp/jam).

Memperhatikan rumus di atas, pada dasarnya merupakan suatu persamaan linier, $Y = a + bX$, dimana dianggap bahwa u_f merupakan konstanta a dan $u_f / k_j = b$ sedangkan \bar{u}_s dan k masing-masing merupakan variabel Y dan X . Kedua konstanta tersebut dapat dinyatakan sebagai kecepatan bebas (*free flow speed*) dimana pengendara dapat memacu kecepatan sesuai dengan keinginan dan puncak kepadatan dimana kendaraan tidak dapat bergerak sama sekali.

Hubungan antara volume dan kepadatan didapat dengan mengubah Persamaan 2.7 menjadi $\bar{u}_s = q / k$ yang kemudian disubstitusikan pada Persamaan 2.8 sehingga diperoleh:

$$q = u_f k - \frac{u_f}{k_j} k^2 \quad (2.9)$$

Persamaan tersebut merupakan persamaan parabolik $q = f(k)$

Hubungan antara volume dan kecepatan didapat dengan mengubah Persamaan 2.7 menjadi $k = q / \bar{u}_s$ yang kemudian disubstitusikan pada Persamaan 2.8, maka akan diperoleh:

$$q = k_j \bar{u}_s - \frac{k_j}{u_f} \bar{u}_s^2 \quad (2.10)$$

Persamaan tersebut juga merupakan persamaan parabolik $q = f(\bar{u}_s)$.

Volume maksimum (q_{\max}) untuk model *Greenshields* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$q_{\max} = k_{\max} \times \bar{u}_{\max} \quad (2.11)$$

Dimana:

- q_{\max} = volume maksimum lalu lintas (kend/km)
- k_{\max} = kepadatan saat volume maksimum (kend/km)
- \bar{u}_{\max} = kecepatan pada saat volume maksimum (km/jam)

Kepadatan saat volume maksimum (k_{\max}) untuk model *Greenshields* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$k = k_{\max} = \frac{k_j}{2} \quad (2.12)$$

Kecepatan saat volume maksimum (\bar{u}_{\max}) untuk model *Greenshields* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\bar{u}_s = \bar{u}_{\max} = \frac{u_f}{2} \quad (2.13)$$

Apabila Persamaan 2.12 dan 2.13 disubstitusikan pada Persamaan 2.11, maka diperoleh volume maksimum dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_{\max} = \frac{k_j \times u_f}{4} \quad (2.14)$$

2.5.2 Model Greenberg

Menurut Julianto (2010), Model *Greenberg* adalah model kedua yang menganalisis hubungan kecepatan dan kepadatan pada aliran lalu lintas pada terowongan, dan menyimpulkan bahwa model non linier lebih tepat digunakan yakni fungsi eksponensial. Rumus dasar dari *Greenberg* adalah:

$$k = c e^{b \bar{u}_s} \quad (2.15)$$

Dengan c dan b merupakan nilai konstanta.

Dengan menggunakan analogi aliran fluida dia mengkombinasikan persamaan gerak dan kontinuitas untuk satu kesatuan dimensi gerak dan menurunkan persamaan:

$$\bar{u}_s = \bar{u}_{\max} \times \ln \left(\frac{k_j}{k} \right) \quad (2.16)$$

Pada model *Greenberg* ini diperlukan pengetahuan tentang parameter-parameter kecepatan optimum dan kepadatan kondisi jenuh/macet. Sama seperti model *Greenshields*, kepadatan kondisi jenuh sangat sulit diamati di lapangan dan estimasi terhadap kecepatan optimum lebih sulit diperkirakan daripada kecepatan bebas rata-rata.

Estimasi kasar untuk menentukan kecepatan optimum kurang lebih setengah dari kecepatan rencana. Kerugian lain dari model ini adalah kecepatan bebas rata-rata tidak bisa dihitung. Persamaan 2.16 tersebut di atas dapat ditulis ke dalam bentuk persamaan matematika lain, yaitu:

$$\bar{u}_s = \bar{u}_{\max} \cdot \ln(k_j) - \bar{u}_{\max} \cdot \ln(k) \quad (2.17)$$

Memperhatikan rumus di atas, pada dasarnya merupakan suatu persamaan linier, $Y = a + bX$, dimana dianggap bahwa $\bar{u}_{\max} \cdot \ln(k_j)$ merupakan konstanta a dan $(-\bar{u}_{\max}) = b$ sedangkan \bar{u}_s dan $\ln(k)$ masing-masing merupakan variabel Y dan X .

Hubungan antara volume dan kepadatan didapat dengan mengubah Persamaan 2.7 menjadi $\bar{u}_s = q / k$ yang kemudian disubstitusikan pada Persamaan 2.16 sehingga diperoleh:

$$q = \bar{u}_{\max} \times k \times \ln\left(\frac{k_j}{k}\right) \quad (2.18)$$

Hubungan antara volume dan kecepatan didapat dengan mengubah Persamaan 2.7 menjadi $k = q / \bar{u}_s$ yang kemudian disubstitusikan pada Persamaan 2.16, maka diperoleh:

$$q = \bar{u}_s \times k_j \times \exp\left(-\frac{\bar{u}_s}{\bar{u}_{\max}}\right) \quad (2.19)$$

Volume maksimum (q_{\max}) untuk model *Greenberg* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.11. Untuk menentukan konstanta k_{\max} dan \bar{u}_{\max} , maka Persamaan 2.18 dan 2.19 harus didiferensiasi masing-masing terhadap kepadatan dan kecepatan.

Kepadatan saat volume maksimum (q_{\max}) untuk model *Greenberg* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$k = k_{\max} = \frac{k_j}{e} \quad (2.20)$$

Kecepatan saat volume maksimum (\bar{u}_{\max}) untuk model *Greenberg* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\bar{u}_s = \bar{u}_{\max} \quad (2.21)$$

Apabila Persaman 2.20 dan 2.21 disubstitusikan pada Persamaan 2.11, maka volume maksimum dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_{\max} &= k_{\max} \times \bar{u}_{\max} \\
 q_{\max} &= \frac{k_j}{e} \times u_{\max} \\
 q_{\max} &= \frac{k_j \times \bar{u}_{\max}}{e}
 \end{aligned}
 \tag{2.22}$$

2.5.3 Model Underwood

Menurut Julianto (2010), Model *Underwood* mengemukakan suatu hipotesis bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan adalah merupakan hubungan eksponensial dengan bentuk persamaan sebagai berikut:

$$\bar{u}_s = u_f \times \exp\left(-\frac{k}{k_{\max}}\right)
 \tag{2.23}$$

Untuk mendapatkan konstanta u_f dan q_{\max} , Persamaan 2.23 diubah persamaan linier, $Y = a + bX$, seperti di bawah ini:

$$\ln(\bar{u}_s) = \ln(u_f) - \left(-\frac{k}{k_{\max}}\right)
 \tag{2.24}$$

Dimana dianggap bahwa $\ln(u_f)$ merupakan konstanta a dan $(-1/q_{\max}) = b$ sedangkan $\ln(\bar{u}_s)$ dan q masing-masing merupakan variabel Y dan X .

Hubungan antara volume dan kepadatan didapat dengan mengubah Persamaan 2.7 menjadi $\bar{u}_s = q / k$ yang kemudian disubstitusikan pada Persamaan 2.23 sehingga diperoleh:

$$q = k \times u_f \times \exp\left(-\frac{k}{k_{\max}}\right)
 \tag{2.25}$$

Hubungan antara volume dan kecepatan didapat dengan mengubah Persamaan 2.5 menjadi $k = q / \bar{u}_s$ yang kemudian disubstitusikan pada Persamaan 2.23, maka akan diperoleh:

$$q = \bar{u}_s \times k_{\max} \times \exp\left(\frac{u_f}{\bar{u}_s}\right)
 \tag{2.26}$$

Apabila Persamaan 2.25 dan 2.26 disubstitusikan pada Persamaan 2.11, maka volume maksimum dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_{\max} &= k_{\max} \times \bar{u}_{\max} \\
 q_{\max} &= k_{\max} \times \frac{u_f}{e} \\
 q_{\max} &= \frac{k_{\max} \times u_f}{e} \quad (2.27)
 \end{aligned}$$

2.6 Pendekatan Mikroskopik (Aplikasi Vissim)

Vissim adalah alat simulasi Mikroskopik, berorientasi waktu, dan simulasi berbasis perilaku untuk memodelkan lalu lintas perkotaan dan pedesaan serta arus pejalan kaki. Selain transportasi pribadi (PrT), Vissim juga dapat memodelkan angkutan umum berbasis rel dan jalan (PuT). Aliran lalu lintas disimulasikan di bawah berbagai kendala distribusi jalur, komposisi kendaraan, kontrol sinyal, dan pencatatan kendaraan PrT dan PT. Vissim berguna untuk menguji dan menganalisis interaksi antara sistem jaringan, seperti kontrol sinyal adaptif dan rekomendasi rute (PTV Group, 2018).

2.6.1 Parameter Vissim

Dalam melakukan analisis menggunakan simulasi Mikroskopik Vissim, program yang telah dimodelkan selanjutnya perlu diinput beberapa parameter yang ada di program bantu tersebut. Parameter ini dapat diubah dan diatur sedemikian rupa agar permodelan program mendekati kondisi yang terjadi di lapangan. Adapun parameter-parameter tersebut menurut Albransyah (2018) adalah sebagai berikut:

- a. *Standstill Distance in Front of Obstacles*, yaitu parameter yang menunjukkan jarak aman ketika kendaraan akan berhenti akibat kendaraan yang berhenti atau melakukan perlambatan akibat hambatan dengan satuan meter (m).
- b. *Observed Vehicle in Front*, yaitu parameter yang menunjukkan jumlah kendaraan yang diamati oleh pengemudi ketika ingin melakukan pergerakan reaksi. Parameter ini memiliki nilai *default* yaitu satu, dua, tiga, dan empat dengan satuan unit kendaraan.
- c. *Minimum Headway*, yaitu parameter yang menunjukkan jarak minimum yang tersedia bagi kendaraan yang di depan untuk melakukan perpindahan

lajur atau menyiap. Parameter ini memiliki nilai *default* yang berkisar antara 0,5 hingga 0,3 detik.

- d. *Additive Factory Security*, yaitu nilai tambahan untuk menunjukkan parameter jarak aman kendaraan yang akan berhenti. Parameter ini memiliki nilai yang disarankan adalah sebesar 0,45 hingga 2.
- e. *Multiple Factor Security*, yaitu parameter yang menunjukkan faktor pengali jarak aman kendaraan saat akan berhenti. Parameter ini memiliki nilai *default* yang berkisar antara 1 hingga 3
- f. *Lane Charge Rule*, yaitu parameter yang menunjukkan model perilaku pengemudi pada saat melintas untuk lalu lintas heterogen sangat cocok menggunakan *Free Lane Change* yang memungkinkan kendaraan menyiap dengan bebas.
- g. *Overtake at Same Line*, yaitu parameter yang menunjukkan perilaku pengemudi kendaraan yang ingin menyiap pada lajur yang sama baik dari sisi sebelah kanan maupun sisi sebelah kiri.
- h. *Desired Lateral Position*, yaitu parameter yang menunjukkan posisi kendaraan pada saat berada di lajur artinya kendaraan dapat berada di samping kiri maupun samping kanan kendaraan.
- i. *Lateral Minimum Distance*, yaitu parameter yang menunjukkan jarak aman pengemudi pada saat berada di samping kendaraan yang lain. Untuk parameter ini, dibagi menjadi dua bagian yaitu jarak kendaraan ketika berada di kecepatan 0 km/jam dan 50 km/jam yang berarti nilai parameternya berbeda. Parameter ini memiliki nilai *default* yang berkisar antara 0,2m sampai 1 m.
- j. *Safety Distance Reduction*, yaitu parameter yang menunjukkan jarak aman antara kendaraan di depan dan di belakang atau jarak antar kendaraan. Hal ini merupakan parameter yang sangat menentukan karena tiap kondisi lalu lintas mempunyai nilai jarak aman yang berbeda. Parameter ini memiliki nilai *default* sebesar 0,6m.

2.6.2 Kalibrasi Simulasi Mikroskopik

Kalibrasi pada simulasi merupakan proses dalam membentuk nilai-nilai parameter yang sesuai sehingga model dapat mereplikasi lalu lintas hingga kondisi yang semirip mungkin pada kondisi di lapangan. Proses kalibrasi dapat dilakukan berdasarkan perilaku pengemudi daerah yang diamati. Metode yang digunakan adalah *trial and error* dengan mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya mengenai kalibrasi dan validasi menggunakan simulasi. Validasi pada simulasi merupakan proses pengujian kebenaran dari kalibrasi dengan membandingkan hasil observasi dan hasil simulasi. Proses validasi dilakukan berdasarkan jumlah volume arus lalu lintas. Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan rumus dasar *Chi-squared* berupa rumus statistik *Geoffrey E. Havers* (GEH). GEH merupakan rumus statistik modifikasi dari *Chi-squared* dengan menggabungkan perbedaan antara nilai relatif dan mutlak (Septiawan, 2019). Berikut ini merupakan rumus statistik *Geoffrey E. Havers* (GEH) sebagai berikut:

$$GEH = \sqrt{\frac{(q_{simulated} - q_{observed})^2}{0.5 \times (q_{simulated} + q_{observed})}} \quad (2.28)$$

Dimana:

q = data volume arus lalu lintas (kend/jam, smp/jam)

$q_{simulasi}$ = volume hasil simulasi (kend/jam, smp/jam)

$q_{observasi}$ = volume hasil pengamatan langsung (kend/jam, smp/jam)

Ketentuan khusus dari rumus GEH untuk nilai error yang dihasilkan seperti pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Kesimpulan dari Hasil Perhitungan Rumus Statistik *Geoffrey E. Havers*

Parameter	Kesimpulan
$GEH < 5,0$	Diterima
$5,0 \leq GEH \leq 10,0$	Peringatan: kemungkinan model <i>error</i> atau data buruk
$GEH > 10,0$	Ditolak

Sumber: Septiawan, 2019

2.7 Penelitian Terdahulu

Dalam penyusunan tugas akhir ini, tinjauan pustaka juga dilakukan dengan menggunakan referensi penelitian-penelitian terdahulu. Penelitian terdahulu digunakan sebagai bahan untuk membandingkan metode dan analisis yang serupa. Berikut adalah rekapan penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai referensi ditunjukkan pada Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No.	Nama, Tahun Publikasi	Judul Penelitian	Hasil
1	Eko Nugroho Julianto, 2010	Hubungan Antara Kecepatan, Volume dan Kepadatan Lalu Lintas Ruas Jalan Siliwangi Semarang	Metode: Model Linier <i>Greenshields</i> , Logaritmik <i>Greenberg</i> , Eksponensial <i>Underwood</i> . Hasil: Diperoleh bahwa hubungan paling erat antara kecepatan dan kerapatan menggunakan model <i>Underwood</i> dengan nilai $r = 0.879$, dengan model $U_s = 68.20 \times \exp(-D/-15.05)$, sedangkan volume tertinggi didapat dengan menggunakan model <i>Underwood</i> sebesar 377,705 smp/jam. Hasil lainnya adalah diperoleh nilai $r = 0.859$ atau $D = 0.737$ yang berarti model tersebut sebesar 73,70% dapat dipercaya menggambarkan hubungan antara kecepatan dan kerapatan.
2	Yupiter Indrajaya dkk, 2003	Pengaruh Penyempitan Jalan Terhadap Karakteristik Lalu Lintas (Studi Kasus pada Ruas Jalan Kota Demak-Kudus Road, Km. 5)	Metode: Model Linier <i>Greenshields</i> , Logaritmik <i>Greenberg</i> , Eksponensial <i>Underwood</i> , Penentuan Model Terpilih, dan Gelombang Kejut. Hasil: Dari hasil analisa dan perhitungan pada kondisi jalan menyempit diperoleh analisa regresi untuk koefisien determinasi, baik pada metode <i>Greenshield</i> ($R^2 = 0.5519$), <i>Greenberg</i> ($R^2 = 0.5415$), and <i>Underwood</i> ($R^2 = 0.5504$), lebih besar dibandingkan pada kondisi jalan normal (<i>Greenshield</i> $R^2 = 0.405$, <i>Greenberg</i> $R^2 = 0.4163$, and <i>Underwood</i> $R^2 = 0.4092$) ataupun pada kondisi pertemuan jalan normal dan menyempit. (<i>Greenshield</i> $R^2 = 0.4498$, <i>Greenberg</i> $R^2 = 0.4999$, and <i>Underwood</i> $R^2 = 0.4182$). Pada kondisi penggal jalan menyempit diperoleh hasil <i>Greenshield</i> : ($U_f = 56.96$ Km/jam; $D_j = 71.46$ smp/km; $V_{maks} = 1017.51$ smp/jam/arah), <i>Underwood</i> : ($U_f = 60.58$ Km/jam; $D_m = 50$ smp/km; $V_{maks} = 1114.23$ smp/jam/arah), sementara pada model <i>Greenberg</i> ($U_m = 15.39$ Km/jam; $D_j = 276.28$ Smp/Km; $V_{maks} = 1564.43$ smp/jam/arah).
3	Andhika Fajar Septiawan, 2019	Analisis Dampak Geometrik Jalan terhadap Kinerja Jalan pada Ruas Jalan Trans Samarinda-Bontang Km 3-Km 8	Metode: Analisis Mikroskopik dengan VISSIM Hasil: dilakukan pemodelan program sesuai kondisi eksisting dan diinput nilai parameter yang terjadi pada saat jam puncak dengan cara <i>trial and error</i> untuk mendapatkan hasil yg sesuai. Setelah melakukan <i>input</i> nilai parameter, langkah selanjutnya adalah kalibrasi program simulasi. Untuk mendapatkan kesesuaian antara nilai simulasi dan data yang diamati dibutuhkan kalibrasi untuk proses menyesuaikan parameter. Hal ini disesuaikan antara data volume pengamatan dari masing-masing jam puncak kendaraan dengan hasil dari program

simulasi mikroskopik. *Running* program dilakukan sebanyak 10 kali dan dilakukan dalam waktu 1 jam. Diperoleh volume observasi adalah 820 smp/jam dan volume simulasi adalah 881 smp/jam. Sehingga, nilai uji GEH < 5 dan nilai nya diterima.

Sumber: Penulis, 2019

2.7.1 Hubungan Antara Kecepatan, Volume dan Kepadatan Lalu Lintas Ruas Jalan Siliwangi Semarang (Jurnal Eko Nugroho Julianto Tahun 2010 Universitas Negeri Semarang)

Penelitian hubungan antara kecepatan, volume dan kepadatan lalu lintas ini menggunakan studi kasus ruas Jalan Siliwangi Semarang. Penelitian dilakukan dikarenakan volume perjalanan lalu lintas pada ruas jalan Siliwangi mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Hal ini disebabkan perkembangan di daerah tersebut. Maka dilakukan penelitian untuk menganalisis karakteristik lalu lintas dan model hubungannya. Metode survei yang dilakukan menggunakan metode *manual count* terhadap kendaraan tiap 15 menit untuk mencari volume, kecepatan dan kepadatan kendaraan.

Dari penelitian tersebut, digunakan metode analisis menggunakan model *Greenshields*, *Greenberg*, dan *Underwood*. Hasil dari penelitian tersebut diperoleh bahwa hubungan paling erat antara kecepatan dan kerapatan menggunakan model *Underwood* dengan nilai $r = 0.879$, dengan model $U_s = 68.20 \times \exp(-D/-15.05)$, sedangkan volume tertinggi didapat dengan menggunakan model *Underwood* sebesar 377,705 smp/jam. Hasil lainnya adalah diperoleh nilai $r = 0.859$ atau $D = 0.737$ yang berarti model tersebut sebesar 73,70% dapat dipercaya menggambarkan hubungan antara kecepatan dan kerapatan.

2.7.2 Pengaruh Penyempitan Jalan Terhadap Karakteristik Lalu Lintas (Studi Kasus Pada Ruas Jalan Kota Demak-Kudus Road, Km. 5) (Jurnal Yupiter Indrajaya dkk Tahun 2003 Universitas Diponegoro Semarang)

Penelitian dilakukan dikarenakan terdapat perbedaan kecepatan perjalanan yang cukup mendasar pada ketiga kondisi jalan yang disebabkan perbedaan karakteristik geometrik jalan, seperti dari kondisi jalan 2 lajur menjadi 1 lajur, pada kondisi jalan normal kecepatannya lebih besar dibandingkan dengan kondisi jalan.

Dengan medan topografi datar, pengaruh gangguan samping relatif kecil dan hampir tidak ada, serta kondisi perkerasan relatif baik, sehingga pengaruh lalu lintas yang terjadi murni karena penyempitan jalan. Metode survei yang dilakukan yaitu mencatat jumlah kendaraan sebenarnya di lapangan pada penggal jalan menyempit dan pertemuan antara jalan menyempit dan normal masing-masing untuk arah ke Demak dan arah ke Kudus untuk time slice 5 menit kemudian data tersebut dapat diolah untuk memperoleh nilai volume, kecepatan, dan kepadatan.

Metode analisis yang digunakan analisis model *Greenshields*, *Greenberg*, dan *Underwood*, serta analisis Gelombang Kejut dengan Penentuan Model Terpilih. Hasil dari penelitian tersebut diperoleh Dari hasil analisa dan perhitungan pada kondisi jalan menyempit diperoleh analisa regresi untuk koefisien determinasi, baik pada metode *Greenshield* ($R^2 = 0.5519$), *Greenberg* ($R^2 = 0.5415$), and *Underwood* ($R^2 = 0.5504$), lebih besar dibandingkan pada kondisi jalan normal (*Greenshield* $R^2 = 0.405$, *Greenberg* $R^2 = 0.4163$, and *Underwood* $R^2 = 0.4092$) ataupun pada kondisi pertemuan jalan normal dan menyempit. (*Greenshield* $R^2 = 0.4498$, *Greenberg* $R^2 = 0.4999$, and *Underwood* $R^2 = 0.4182$). Pada kondisi penggal jalan menyempit diperoleh hasil *Greenshield* : ($U_f = 56.96$ Km/jam; $D_j = 71.46$ smp/km; $V_{maks} = 1017.51$ smp/jam/arah), *Underwood* : ($U_f = 60.58$ Km/jam; $D_m = 50$ smp/km; $V_{maks} = 1114.23$ smp/jam/arah), sementara pada model *Greenberg* ($U_m = 15.39$ Km/jam; $D_j = 276.28$ Smp/Km; $V_{maks} = 1564.43$ smp/jam/arah).

2.7.3 Analisis Dampak Geometrik Jalan terhadap Kinerja Jalan pada Ruas Jalan Trans Samarinda-Bontang Km 3-Km 8 (Tugas Akhir Andhika Fajar S. Tahun 2019 Institut Teknologi Kalimantan)

Penelitian ini dilakukan dikarenakan dari uraian hipotesis yang diberikan diperoleh bahwa kinerja jalan tidak hanya berpengaruh terhadap faktor-faktor dari kapasitas jalan, hambatan samping, volume arus lalu lintas, bahu jalan, lebar jalan. Tetapi selain itu faktor yang mempengaruhi adalah berupa kerusakan jalan dan kondisi geometrik jalan. Maka penelitian tersebut lebih difokuskan kepada pengaruh dari geometrik jalan (alinyemen horisontal dan alinyemen vertikal). Metode analisis yang digunakan adalah Analisis MKJI (1997) dan simulasi program bantu Mikroskopik.

Dari penelitian tersebut, diperoleh pembahasan untuk simulasi program bantu Mikroskopik berupa VISSIM yaitu dilakukan pemodelan program sesuai kondisi eksisting dan diinput nilai parameter yang terjadi pada saat jam puncak dengan cara *trial and error* untuk mendapatkan hasil yg sesuai. Setelah melakukan *input* nilai parameter, langkah selanjutnya adalah kalibrasi program simulasi. Untuk mendapatkan kesesuaian antara nilai simulasi dan data yang diamati dibutuhkan kalibrasi untuk proses menyesuaikan parameter. Hal ini disesuaikan antara data volume pengamatan dari masing-masing jam puncak kendaraan dengan hasil dari program simulasi mikroskopik. *Running* program dilakukan sebanyak 10 kali dan dilakukan dalam waktu 1 jam. Diperoleh volume observasi adalah 820 smp/jam dan volume simulasi adalah 881 smp/jam. Sehingga, nilai uji GEH < 5 dan nilai nya diterima.



www.itk.ac.id