

Studi Komparasi Model *Kerner Konhauser* terhadap Model Regresi Linear pada Variabel Kecepatan Kendaraan dan Kepadatan Arus Lalu Lintas

Yessy Yusnita

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Padang, Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo,
Padang – 25 143, Indonesia

Email: yessyyusnita14@gmail.com

Dikirim: 21 November 2019

Direvisi: 30 Desember 2019

Diterima: 27 Januari 2020

ABSTRAK

Kondisi macet yang terjadi pada lalu lintas di jalan raya disebabkan oleh kecepatan kendaraan, kepadatan arus lalu lintas dan arus lalu lintas. Penyebab kemacetan lalu lintas juga dapat dipengaruhi oleh posisi kendaraan dan waktu tempuh kendaraan. Simulasi arus lalu lintas dengan menggunakan kecepatan Model *Kerner Konhauser* telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Dari simulasi pertama dan kedua Model *Kerner Konhauser* diperoleh kecepatan kendaraan berjumlah 33 data dan kepadatan arus lalu lintas berjumlah 21 data. Pada penelitian ini, kecepatan kendaraan mewakili variabel V dan kepadatan arus lalu lintas mewakili variabel D. Penelitian ini bertujuan: 1). Menilai tingkat korelasi antara variabel kecepatan kendaraan (V) terhadap variabel kepadatan arus lalu lintas (D); 2). Menganalisis komparasi Model *Kerner Konhauser* terhadap model regresi linear pada variabel kecepatan kendaraan (V) dan kepadatan arus lalu lintas (D) menggunakan teknik regresi *non linier* dibantu dengan *tools* SPSS. Hasil analisis regresi *non linear* menunjukkan adanya korelasi yang kuat pada data simulasi pertama antara variabel V dengan variabel D ($r = 0,793$) dan korelasi yang sedang pada data simulasi kedua ($r = 0,520$). Model analisis *non linear* terbaik yang dihasilkan adalah $V = 125,336e^{-0,013D}$, dengan nilai $R^2 = 0,628$. Hal ini menunjukkan bahwa jika kepadatan arus lalu lintas menurun maka kecepatan kendaraan akan meningkat, begitu juga sebaliknya jika kepadatan arus lalu lintas meningkat maka kecepatan kendaraan akan menurun di jalan raya.

Kata kunci: kecepatan kendaraan, kepadatan arus lalu lintas, model *kerner konhauser*, analisis regresi

1. PENDAHULUAN

Arus lalu lintas terbentuk berdasarkan interaksi kendaraan-kendaraan pada suatu jalan raya. Interaksi yang terjadi antara kendaraan yang satu dengan kendaraan lainnya mengakibatkan arus lalu lintas di jalan raya bisa lancar dan tidak lancar. Akibat dari tidak lancarnya arus lalu lintas maka menimbulkan kemacetan di jalan raya. Masalah arus lalu lintas di jalan raya dipengaruhi oleh karakteristik umum dari pergerakan lalu lintas sering dinyatakan oleh volume lalu lintas, kecepatan dan kepadatan lalu lintas. Volume lalu lintas, kecepatan dan kepadatan lalu lintas saling berhubungan satu sama lain dalam operasional (pergerakan) lalu lintas di jalan.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Yusnita, 2016) menyatakan bahwa hasil simulasi arus lalu lintas dengan menggunakan kecepatan Model *Kerner Konhauser* menunjukkan bahwa kecepatan kendaraan akan meningkat jika kepadatan arus lalu lintas menurun dan sebaliknya, jika kecepatan kendaraan menurun maka kepadatan arus lalu lintas meningkat. Menurut penelitian yang dilakukan (Roza, dkk., 2019) adanya keterkaitan antara variabel yang satu dengan variabel yang lainnya. Untuk melihat tingkat hubungan antar variabel dapat dianalisis dengan menggunakan teknik analisis regresi (Saputra, dkk., 2017).

Berdasarkan permasalahan yang terjadi pada arus lalu lintas di jalan raya, penelitian ini bertujuan untuk menilai tingkat korelasi antara kecepatan kendaraan terhadap kepadatan arus lalu lintas dan menganalisis komparasi Model *Kerner Konhauser* terhadap model regresi linear pada variabel kecepatan kendaraan dan kepadatan arus lalu lintas dengan menggunakan teknik analisis regresi.

2. METODOLOGI

2.1 Tahapan Penelitian

1. Penelitian ini dimulai dengan membahas mengenai Model *Kerner Konhauser*. Penyelesaian untuk Model *Kerner Konhauser* menggunakan metode aproksimasi *finite difference* sedangkan hasil perhitungan kecepatan yang diperoleh dari Model *Kerner Konhauser* akan digunakan pada proses penyelesaian persamaan konservasi.
2. Nilai kecepatan yang diperoleh dari Model *Kerner Konhauser* akan digunakan dalam perhitungan kepadatan arus lalu lintas dengan menggunakan metode *MacCormack*.
3. Nilai kecepatan dan kepadatan pada Model *Kerner Konhauser* akan dikomparasi terhadap model regresi linier.

2.2 Model Kerner Konhauser

Model *Kerner Konhauser* diperoleh dengan mengaplikasikan persamaan *Navier Stokes*. Sehingga Model *Kerner Konhauser* dinyatakan dengan persamaan berikut (Yusnita, 2016):

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\tau} (V_e(\rho) - V) \dots\dots\dots(1)$$

dimana tekanan arus lalu lintas (*P*) dinyatakan sebagai persamaan berikut

$$P(x, t) = \rho\Theta - \eta_0 \frac{\partial V}{\partial x} \dots\dots\dots(2)$$

dengan Θ dan η_0 diasumsikan sebagai konstanta.

2.3 Penyelesaian Model Kerner Konhauser Menggunakan Metode Finite Difference

Dalam menyelesaikan Model *Kerner Konhauser* jenis metode aproksimasi *finite difference* yang digunakan adalah *center difference*. Pada persamaan (1) terdapat turunan parsial $P(x, t)$ yaitu $\frac{\partial P}{\partial x}$, maka jika persamaan (2) diturunkan terhadap *x*, diperoleh :

$$\begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial x} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho\Theta - \eta_0 \frac{\partial V}{\partial x} \right) \\ \frac{\partial P}{\partial x} &= \Theta \frac{\partial \rho}{\partial x} - \eta_0 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \dots\dots\dots 3) \end{aligned}$$

Pada persamaan (1) dan (3) terdapat turunan-turunan parsial, dimana persamaan pada *center difference* akan disubstitusi ke turunan-turunan parsial tersebut untuk menghitung kecepatan arus lalu lintas. Hasil turunan parsial dengan menggunakan persamaan *center difference* ini akan disubstitusikan kembali ke persamaan (1) berikut:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\tau} (V_e(\rho) - V)$$

dimana substitusi dilakukan sesuai dengan turunan yang ada pada persamaan (1) tersebut. Sehingga persamaan (1) diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &\frac{V_i^{j+1} - V_i^{j-1}}{2k} + V_i^j \frac{V_{i+1}^j - V_{i-1}^j}{2h} \\ &= -\frac{1}{\rho_i^j} \left(\Theta \frac{\rho_{i+1}^j - \rho_{i-1}^j}{2h} - \eta_0 \frac{V_{i+1}^j - 2V_i^j + V_{i-1}^j}{h^2} \right) + \frac{1}{\tau} (V_e(\rho_i^j) - V_i^j) \end{aligned}$$

yang jika disederhanakan diperoleh:

$$V_i^{j+1} = 2k \left[-\frac{1}{\rho_i^j} \left(\Theta \frac{\rho_{i+1}^j - \rho_{i-1}^j}{2h} - \eta_0 \frac{V_{i+1}^j - 2V_i^j + V_{i-1}^j}{h^2} \right) + \frac{1}{\tau} (V_e(\rho_i^j) - V_i^j) - V_i^j \frac{V_{i+1}^j - V_{i-1}^j}{2h} \right] + V_i^{j-1}$$

2.4 Metode MacCormack

Metode *MacCormack* yang terdiri dari dua langkah yaitu Langkah Prediktor dan Langkah Korektor. Jika posisi $x = x_i$ dimana x_i dinyatakan dengan i dan waktu $t = t_j$ dimana t_j dinyatakan dengan j , maka Langkah Prediktor dan Langkah Korektor dapat dinyatakan kembali sebagai berikut :

• Langkah Prediktor:

Pada langkah prediktor, nilai ρ di posisi i pada waktu $j + 1$ ditunjukkan dengan ρ_i^{j+1} dinyatakan dengan:

$$\rho_i^{j+1} = \rho_i^j - V_i^{j+1} \frac{\Delta t}{2\Delta x} (\rho_{i-1}^j - \rho_i^j)$$

• Langkah Korektor :

Dalam langkah korektor, nilai prediksi ρ_i^{j+1} digunakan untuk menghitung ρ_i^{j+1} dan dinyatakan dengan:

$$\rho_i^{j+1} = \frac{\rho_i^j + \rho_i^{j+1}}{2} - V_i^{j+1} \frac{\Delta t}{2\Delta x} (\rho_i^{j+1} - \rho_{i-1}^{j+1})$$

dimana $i = 0, 1, 2, \dots, N$ dan $j = 0, 1, 2, \dots, M$.

2.5 Teknik Analisis Regresi

Analisis regresi digunakan untuk mengukur besar pengaruh variabel bebas (D) terhadap variabel terikat (V) dan memprediksi variabel terikat dengan menggunakan variabel bebas (Harlan, 2018). Jika variabel bebas hanya satu, maka analisis regresi disebut regresi linear sederhana. Pada dasarnya terdapat dua macam analisis regresi, yaitu analisis regresi linier, yang dibagi menjadi analisis regresi linear sederhana dan analisis regresi linear berganda, serta analisis regresi *non linier* (Ofyar, 2013).

Penelitian ini menggunakan analisis regresi linear sederhana. Kemudian dilanjutkan menggunakan regresi *non linear* jika ada sifat regresi linear sederhana yang tidak terpenuhi. Melihat dari sifat data maka model regresi *non linear* yang digunakan yaitu model eksponensial (Yudiaatmaja, 2013). Rumus analisis regresi linear sederhana adalah sebagai berikut:

$$V = B_0 + B_1 \cdot D$$

Keterangan:

V = Variabel dependen,

D = Variabel independent,

B_0 = Konstanta,

B_1 = Koefisien estimasi.

Sedangkan rumus regresi *non linear* model eksponensial adalah sebagai berikut:

$$V = a \cdot b^D$$

Keterangan:

V = Variabel dependen,

D = Variabel independent,

a = Konstanta,

b = Koefisien estimasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi model kecepatan arus lalu lintas yang digunakan adalah Model *Kerner Konhauser*. Karena terdapat kendala dalam mencari solusi eksak untuk kecepatan arus lalu lintas pada Model *Kerner Konhauser*, maka digunakan metode numerik. Metode numerik yang digunakan adalah metode aproksimasi *finite difference*. Sedangkan untuk menghitung kepadatan arus lalu lintas dari persamaan konservasi dihitung dengan metode *MacCormack*. Dari simulasi yang dilakukan dengan menggunakan kecepatan Model *Kerner Konhauser* hasil yang diperoleh telah sesuai dengan prinsip dasar arus lalu lintas. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data kecepatan kendaraan dan kepadatan arus lalu lintas pada simulasi pertama dan simulasi kedua (Yusnita, 2016).

3.1 Data Kecepatan Kendaraan dan Kepadatan Arus Lalu Lintas Pada Simulasi Pertama

Simulasi pertama dilakukan untuk nilai yang akan diinput adalah Panjang jalan (L) = 90 km; Bilangan bulat sebagai nilai batas untuk i (N) = 10; Bilangan bulat sebagai nilai batas untuk j (M) = 12; Waktu tempuh arus lalu lintas (T) = 60/60 jam; Kecepatan maksimum arus kendaraan (V_o) = 120 km/jam; Kepadatan maksimum (ρ_{maks}) = 200 kendaraan/km; Waktu akhir tempuh arus lalu lintas (τ) = 0.5/60 jam; Variansi kecepatan arus kendaraan (Θ) = 45^2 (km/jam)²; Koefisien viskositas (η_o) = 600 km/jam; Kepadatan ekuilibrium (ρ_e) = 60 kendaraan/km; Kecepatan ekuilibrium (V_e) = 36 km/jam. Data kecepatan kendaraan dan kepadatan arus lalu lintas pada simulasi pertama dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 1: Data Kecepatan Kendaraan Pada Simulasi Pertama

$t_j \backslash x_i$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	36	45	54	63	72	81	90	99	108	117	126
1	32	46	68	95	117	120	120	120	120	120	120
2	110	62	120	120	120	129	120	120	120	120	120

Tabel 2: Data Kepadatan Arus Lalu Lintas Pada Simulasi Pertama

$t_j \backslash x_i$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	60	56	52	48	44	40	36	32	28	24	20
1	60	58	54	51	48	0	0	0	0	0	0
2	60	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.2 Data Kecepatan Kendaraan dan Kepadatan Arus Lalu Lintas Pada Simulasi Kedua

Simulasi pertama dilakukan untuk nilai yang akan diinput adalah Panjang jalan (L) = 12 km; Bilangan bulat sebagai nilai batas untuk i (N) = 6; Bilangan bulat sebagai nilai batas untuk j (M) = 6; Waktu tempuh arus lalu lintas (T) = 30/60 jam; Kecepatan maksimum arus kendaraan (V_o) = 120 km/jam; Kepadatan maksimum (ρ_{maks}) = 200 kendaraan/km; Waktu akhir tempuh arus lalu lintas (τ) = 0.5/60 jam; Variansi kecepatan arus kendaraan (Θ) = 45^2 (km/jam)²; Koefisien viskositas (η_o) = 600 km/jam; Kepadatan ekuilibrium (ρ_e) = 60 kendaraan/km; Kecepatan ekuilibrium (V_e) = 36 km/jam. Data kecepatan kendaraan dan kepadatan arus lalu lintas pada simulasi kedua dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3: Data Kecepatan Kendaraan Pada Simulasi Kedua

$t_j \backslash x_i$	0	1	2	3	4	5	6
0	36	45	54	63	72	81	90
1	3	29	47	69	87	90	120
2	120	120	89	120	120	120	120

Tabel 4: Data Kepadatan Arus Lalu Lintas Pada Simulasi Kedua

$t_j \backslash x_i$	0	1	2	3	4	5	6
0	60	56	52	48	44	40	36
1	60	58	57	54	53	52	0
2	60	0	65	0	0	0	0

3.3 Hasil Analisis Regresi Antara Kecepatan kendaraan dan Kepadatan Arus Lalu Lintas Pada Data Simulasi Pertama dan Data Simulasi Kedua

Analisis dimulai dengan analisis regresi linear sederhana, lalu dilanjutkan dengan analisis regresi *non linear* apabila syarat-syarat untuk regresi linear sederhana ada yang tidak terpenuhi. Untuk rekapitulasi hasil analisis regresi linear sederhana antara kecepatan kendaraan dan kepadatan arus lalu lintas pada data simulasi pertama dan simulasi kedua dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5: Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi Linear Sederhana Antara Kecepatan Kendaraan dan Kepadatan Arus Lalu Lintas

Analisis Data	Simulasi Pertama	Simulasi Kedua
Jumlah data	33	21
Persamaan Regresi	$V = 122,762 - D$	$V = 120,087 - 1,040D$
Koefisien Korelasi (r)	0,836	0,742
Koefisien Determinasi (R^2)	0,669	0,550
Sig. t_{hitung}	0,000	0,000
F_{hitung}	72,075	23,245
F_{tabel}	4,16	4,32
Sig. Linearitas	0,672	0,957
Sig. Heteroskedastisitas	0,000	0,001
Sig. Normalitas	0,000	0,049
VIF Multikolinieritas	1	1
Durbin Watson	1,313	1,445

Berdasarkan Tabel 5, diketahui hasil uji statistik dari persamaan regresi linear sederhana ada yang tidak memenuhi syarat yaitu data tidak normal (Sig. Normalitas $\alpha = 5\%$). Selain itu terdapat uji heteroskedastisitas (Sig. Heteroskedastisitas $< \alpha = 5\%$). Karena hasil analisis data memiliki nilai yang tidak memenuhi syarat analisis regresi linear sederhana, maka analisis dilanjutkan dengan analisis regresi *non linear*. Untuk hasil Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi *Non Linear* Antara Variabel Kecepatan Kendaraan dan Kepadatan Arus Lalu Lintas dapat dilihat pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6: Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi *Non Linear* Antara Kecepatan Kendaraan dan Kepadatan Arus Lalu Lintas

Analisis Data	Simulasi Pertama	Simulasi Kedua
Jumlah Data	33	21
Persamaan Regresi	$V = 125,336e^{-0,013D}$	$V = 126,97e^{-0,017D}$
Sig Linearitas	0,672	0,957
Koefisien Korelasi (r)	0,793	0,520
Koefisien Determinasi (R^2)	0,628	0,271
F hitung	52,409	7,047
F tabel	4,16	4,32
t hitung	7,239	2,655
t tabel	1,684	1,721

Pada Tabel 6, terlihat model regresi *non linear* eksponensial yang diperoleh adalah $V = 125,336e^{-0,013D}$ untuk data Simulasi Pertama dan $V = 126,97e^{-0,017D}$ untuk data Simulasi Kedua. Kedua model menunjukkan bahwa semakin menurun kepadatan arus lalu lintas di jalan raya maka kecepatan kendaraan semakin meningkat. Sig. linearitas data simulasi pertama ($0,672 > 0,05$) dan Sig. linearitas data simulasi kedua ($0,957 > 0,05$), ini menunjukkan ada hubungan yang linear secara signifikan antara variabel kepadatan arus lalu lintas (D) dengan variabel kecepatan kendaraan (V).

Terlihat adanya korelasi yang kuat pada data simulasi pertama ($r = 0,793$) dan korelasi yang sedang pada data simulasi kedua ($r = 0,520$) antara variabel kepadatan arus lalu lintas (D) dengan variabel kecepatan kendaraan (V). Nilai koefisien determinasi (R^2) adalah sebesar 0,628 atau 62,8% pada data simulasi pertama dan koefisien determinasi (R^2) adalah sebesar 0,271 atau 27,1% pada data simulasi kedua. Hal ini menunjukkan bahwa persentase sumbangan pengaruh variabel kepadatan arus lalu lintas (D) terhadap variabel kecepatan kendaraan (V) pada data simulasi pertama adalah hanya sebesar 62,8% dan pengaruh

variabel kepadatan arus lalu lintas (D) terhadap variabel kecepatan kendaraan (V) pada data simulasi kedua adalah hanya sebesar 27,1%.

Sedangkan sisanya sebesar 37,2% pada data simulasi pertama dan 72,9% pada data simulasi kedua dipengaruhi atau dijelaskan oleh variabel lain yang tidak dimasukkan dalam model penelitian ini. $F_{hitung} (52,409) > F_{tabel} (4,16)$ pada data simulasi pertama dan $F_{hitung} (7,047) > F_{tabel} (4,32)$ pada data simulasi kedua ini berarti variabel kepadatan arus lalu lintas (D) secara simultan berpengaruh terhadap kecepatan kendaraan (V). Untuk $t_{hitung} (7,239) > t_{tabel} (1,684)$ pada data simulasi pertama dan $t_{hitung} (2,655) > t_{tabel} (1,721)$ pada data simulasi kedua ini berarti ada pengaruh variabel kepadatan arus lalu lintas (D) terhadap kecepatan kendaraan (V).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil kecepatan kendaraan dan kepadatan arus lalu lintas pada Model *Kerner Konhauser* untuk data simulasi pertama dan simulasi kedua menunjukkan bahwa jika kepadatan arus lalu lintas menurun maka kecepatan kendaraan akan meningkat di jalan raya, begitu juga sebaliknya, jika kepadatan arus lalu lintas meningkat maka kecepatan kendaraan akan menurun.
2. Hasil analisis regresi *non linear* pada data simulasi pertama menunjukkan adanya korelasi kuat ($r = 0,793$) antara variabel kepadatan arus lalu lintas (D) dengan variabel kecepatan kendaraan (V). Juga terdapat korelasi yang sedang ($r = 0,520$) pada data simulasi kedua antara variabel D dengan variabel V.
3. Model regresi *non linear* terbaik yang dihasilkan adalah:
$$V = 125,336e^{-0,013D}$$
Dimana,
V = Kecepatan kendaraan
D = Kepadatan arus lalu lintas

Model regresi *non linear* ini menunjukkan bahwa semakin menurun kepadatan arus lalu lintas maka semakin meningkat kecepatan kendaraan. Pada model ini nilai $R^2 = 0,628$ yang artinya bahwa persentase sumbangan pengaruh variabel kepadatan arus lalu lintas (D) dan terhadap variabel kecepatan kendaraan (Y) di jalan raya adalah hanya sebesar 62,8%. Sedangkan sisanya sebesar 37,2% dipengaruhi atau dijelaskan oleh variabel lain yang tidak dimasukkan dalam model penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Harlan, J. (2018). *Analisis Regesi Linear*. Penerbit : Gunadarma. Pp : 13-20.
- Ofyar Z & Tamrin. (2013). *Perencanaan dan Permodelan Transportasi*. Penerbit ; ITB Bandung.
- Roza, A., Yusnita, Y., Mandasari, W. (2019). Permodelan Tarikan Perjalanan Dengan Teknik Analisis Multiple Regression: Studi Kasus Kawasan Perbelanjaan Transmart Kota Padang. *ITP Open Conferences Systems, Seminar Nasional: Strategi Pengembangan Insfrastruktur (SPI)-4. 10 Oktober 2019*. Padang.
- Saputra, R., Anggraini, R., Isya, M. (2017). Analisa faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pemilihan Moda Menuju Tempat Kerja Menggunakan Metode Analytic Hierachy Process. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syah Kuala, 1(1)*, 199–218.
- Yudiatmaja, F. (2014). *Analisis Regresi dengan Menggunakan Aplikasi Komputer Statistik SPSS*. Penerbit : Gramedia Pustaka Utama.
- Yusnita, Y. (2016). Simulasi Arus Lalu Lintas Dengan Menggunakan Kecepatan Model Kerner Konhauser. *Jurnal Dimensi Universitas Riau Kepulauan, 1(2)*, 1–11.